

НЕ БУДЕТ ПРЕУВЕЛИЧЕНИЕМ СКАЗАТЬ,
ЧТО ЧЕЛОВЕЧЕСТВО ПЕРЕЖИВАЕТ
ВЕЛИКИЙ ПЕРЕВОРОТ В СВОЕЙ ИСТОРИИ.
КАК ПРЕКРАСНО ЖИТЬ И РАБОТАТЬ
В ТАКУЮ ЭПОХУ!

Ф. Жолио-Кюри

ВСЕСОЮЗНОЕ
ОБЩЕСТВО
«ЗНАНИЕ»

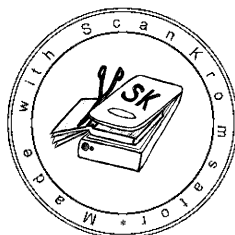
АКАДЕМИЯ
НАУК
СССР

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЗНАНИЕ»

НАУКА
И
ЧЕЛОВЕ-
ЧЕСТВО
1967

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ЕЖЕГОДНИК
ДОСТУПНО
И ТОЧНО
О ГЛАВНОМ
В МИРОВОЙ
НАУКЕ

•



Scan AAW

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ
академик (председатель)

А. И. БЕРГ
академик (заместитель председателя)

И. И. АРТОВОЛЕВСКИЙ
академик

Н. Н. БЛОХИН
действительный член Академии
медицинских наук СССР

Д. И. БЛОХИНЦЕВ
член-корреспондент Академии
наук СССР

Б. В. ГНЕДЕНКО
академик Академии наук УССР

В. Н. ЗАЙЧИКОВ
общественный деятель

М. В. КЕЛДЫШ
академик

В. А. КИРИЛЛИН
академик

В. В. КОРТУНОВ
общественный деятель

А. С. МОНИН
профессор

А. Н. НЕСМЕЯНОВ
академик

В. В. ПАРИН
академик

П. А. РЕВИНДЕР
академик

Н. Н. СЕМЕНОВ
академик

В. И. СНАСТИН
общественный деятель

В. А. ФОК
академик

Г. П. ФРАНЦОВ
академик

В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ
академик

Ответственный редактор
Е. Б. ЭТИНГОФ

М. В. КЕЛДЫН
П. Н. ФЕДОСЕЕВ
Д. М. ГВИШИАНИ

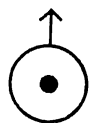


Б. В. ПЕТРОВСКИЙ
Д. Ф. ЧЕБОТАРЕВ
Д. Г. МАРТИН
Н. Н. ВОРОНИН
В. И. АНТОНОВА



А. В. СИДОРЕНКО
Ж. И. КУСТО
А. Ф. ТРЕШНИКОВ
С. СТАНКОВИЧ
А. ГУСТАФССОН

Н. Н. СЕМЕНОВ
М. ДАНЫШ
Е. ПНЕВСКИЙ
НГУЕН ВАН ХЪЕН
М. Я. АЗБЕЛЬ
И. М. ЛИФШИЦ
М. С. МЕЗЕЛЬСОН
Г. У. ФЛОРИ



К. П. ФЕОКТИСТОВ
М. ШТЕЕНБЕК
Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ



Л. В. КАНТОРОВИЧ
А. Б. ГОРСТКО
С. В. ВОНСОВСКИЙ
В. И. ПОПКОВ
А. Д. ФОРТУШЕНКО

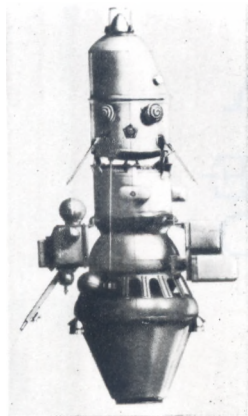




НАУКА
И
ЧЕЛОВЕ-
ЧЕСТВО
1967

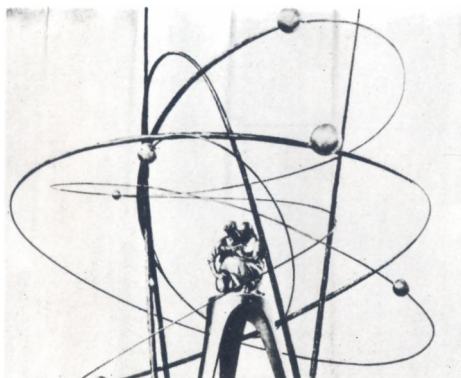


КАЛЕН- ДАРЬ НАУКИ



Автоматическая станция «Луна-10»

1967



«XX век» Интерпрессфотго 66. автор А. Рюльман (Бельгия)

3 АПРЕЛЯ

В 21 час. 44 мин. по московскому времени автоматическая станция «Луна-10», запущенная 31 марта, была выведена на селеноцентрическую орбиту и стала первым в мире искусственным спутником Луны.

Вывод станции на селеноцентрическую орбиту был обеспечен успешно проведенной 1 апреля сего года коррекцией траектории полета станции и точно осуществленным маневром при ее подлете к Луне по командам с Земли.

3 АПРЕЛЯ

Французский биофизик А. Гудо сделала открытие, которое поддерживает теорию вирусного происхождения рака. Гудо установила, что вирусная ДНК при введении в живую клетку может вытеснить первоначальную ДНК клетки и повести к анархическому размножению клеток, являющемуся основной особенностью раковых заболеваний.

8 АПРЕЛЯ

Закончил работу XXIII съезд Коммунистической партии Советского Союза. Заслушав и обсудив Отчетный доклад ЦК КПСС, съезд целиком и полностью одобрил политическую линию и практическую деятельность ЦК КПСС. На съезде единогласно приняты Резолюция по Отчетному докладу ЦК КПСС, Директивы по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 гг., Постановление о частичных изменениях в Уставе КПСС, избраны центральные органы партии.

10 АПРЕЛЯ

В Томске начал работать новый бетатрон — уникальная установка с двумя ускорительными камерами, генерирующая два скрещивающихся пучка лучей. Имя бетатрона — «Зенит».

16 АПРЕЛЯ

В Брукхейвенской национальной лаборатории (США) разработан проект радиочастотного сепаратора атомных частиц со временем срабатывания $0,33 \cdot 10^{-9}$ сек. Предполагается, что прибор найдет применение в проектируемом ускорителе на 200 млрд. эв.

18 АПРЕЛЯ

В Аргонской национальной лаборатории (США) открыта новая ядерная частица, которая почти в 4 раза тяжелее протона.

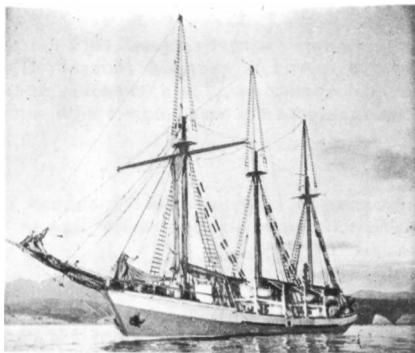
Частица получила название $N = 3245$. Она представляет собой протон в возбужденном состоянии. Время ее жизни — 10^{-22} сек.

22 АПРЕЛЯ

Состоялось присуждение Ленинских премий 1966 г. Премиями отмечены двадцать наиболее выдающихся работ в области науки, техники и освоения космического пространства.

В области науки Ленинские премии присуждены академикам В. Л. Гинзбургу, А. Н. Несмеянову, Н. П. Дубинину, члену-корреспонденту АН СССР А. А. Абрикосову, Л. П. Горькову, Н. В. Ефимову, А. Н. Тихонову, академикам АН УССР А. С. Давыдову, А. Ф. Прихотько и другим видным советским ученым. Всего высокой награды удостоено восемь работ в области науки.

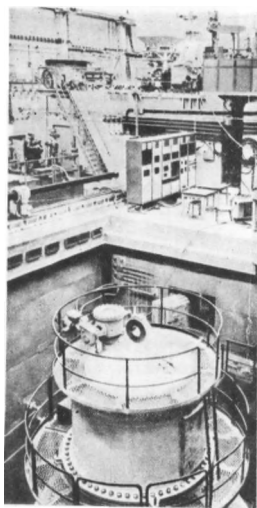
Десять коллективов ученых и специалистов научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро,



Туапсе. Парусно-моторная шхуна «Заря» перед выходом в море



Снимки дна океана, сделанные советским экспедиционным судном на глубине 4100 и 5718 метров



Реакторный зал первой атомной электростанции ГДР

заводов и комбинатов удостоены Ленинской премии за создание новых машин, технологий, открытие ценных полезных ископаемых и другие выдающиеся достижения в области техники.

За замечательные успехи, достигнутые в области освоения космического пространства, Ленинские премии присуждены двум коллективам ученых, конструкторов и производственников, принимавшим участие в создании, изготовлении и запуске кораблей-спутников «Восход-1», «Восход-2» и автоматических станций «Луна-9» и «Луна-10».

25 АПРЕЛЯ

В Советском Союзе запущен на высокоэллиптическую орбиту очередной спутник связи «Молния-1». Основная задача запуска — отработка и дальнейшее совершенствование системы радиосвязи и телевидения с использованием искусственных спутников Земли — активных ретрансляторов.

26 АПРЕЛЯ

После восьмого научно-исследовательского рейса в Лиепайский порт прибыла единственная в мире немагнитная шхуна «Заря». Советские ученые исследовали огромные пространства в Атлантике. Они занимались магнитной съемкой океана, изучали взаимосвязь магнитного поля Земли с геологией и структурой морского дна, наблюдали за космическими лучами.

27 АПРЕЛЯ

В Канаде сконструирован прибор, с помощью которого врачи смогут прослушивать сложные электрические сигналы, издаваемые мозгом человека. Низкочастотные сигналы мозга преобразуются в слышимые, что позволяет врачу улавливать эти сигналы с помощью микрофона.

5 МАЯ

Группа калифорнийских ученых определила полную химическую структуру ростового гормона человека. Это открытие является крупным шагом на пути понимания того, как действует стимулирующий рост гормон, и получения его синтетическим путем.

Ростовой гормон человека состоит из 188 аминокислот, объединенных в очень сложные молекулы.

6 МАЯ

Биологи Гарвардского университета (США) обнаружили в осадочных породах близ Барбертона (Южная Африка) ископаемые бактерии, существовавшие по меньшей мере 3,1 млрд. лет назад. Эти бактерии на миллиард лет старше любых других известных до этого ископаемых бактерий.

9 МАЯ

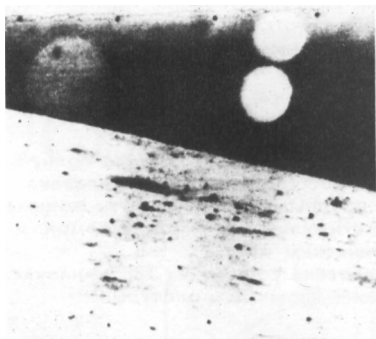
В Рейнсберге (ГДР) начала работать первая в стране атомная электростанция мощностью 70 тыс. квт, построенная с помощью Советского Союза.

12 МАЯ

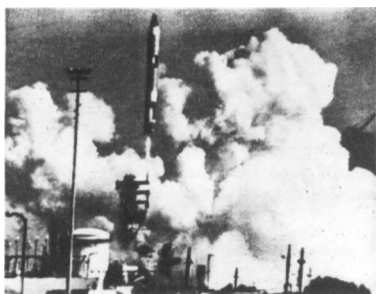
В Румынии выведена новая линия ячменя, созревающего почти на 30 дней раньше других сортов. Это дает возможность собирать с одной и той же площади два урожая в год, так как после ячменя можно сеять гибридную кукурузу.



Научно-исследовательская подводная лодка «Северянка» всплывает на поверхность



Снимок лунной поверхности, переданный на Землю «Сервейером-1»



Запуск американского космического корабля «Джемини-9» с мыса Кеннеди (США)

16 МАЯ

В США завершено изготовление антенного зеркала диаметром 210 футов в пустыне Мохаве. С помощью новой антенны можно выделять сигналы космического корабля, находящегося у края солнечной системы.

18 МАЯ

Спутник «Молния-1», запущенный 25 апреля сего года, передал телевизионное изображение Земли с высоты 30—40 тыс. км.

25 МАЯ

В болгарском Институте усовершенствования врачей разработан новый метод лечения невралгии тройничного нерва лица. Метод не предусматривает операции мозга. Он состоит в том, что с помощью специальной иглы лекарство вливается непосредственно в ствол больного нерва.

28 МАЯ

Началась первая пробная передача цветной телепрограммы из Парижа в Москву через спутник «Молния-1». Подробнее о цветном телевидении и передаче его через спутники «Молния-1» см. в статье А. Д. Фортуненко, опубликованной в этом томе ежегодника.

30 МАЯ

В Актовом зале МГУ на Ленинских горах начал свою работу II Международный океанографический конгресс. Здесь собралось около 1800 ученых почти из 60 стран.

2 ИЮНЯ

Американский космический аппарат «Сервейер-1», запущенный 30 мая, совершил мягкую посадку на Луну в районе Океана Бурь.

4 ИЮНЯ

В Калифорнийском университете (США) открыты двойные гиперядра гелия. Подробнее о гиперядрах см. статью М. Даныша и Е. Пневского «Гиперядра», опубликованную в этом томе ежегодника.

6 ИЮНЯ

После трехдневного полета в космосе американский космический корабль «Джемини-9» с космонавтами Томасом Стаффордом и Юджином Сернаном на борту совершил посадку в Атлантическом океане. Агентство ЮПИ отмечает, что полет можно назвать успешным на 50—60%, поскольку не удалось провести стыковку между кораблем и спутником-мишенью «Атда».

13 ИЮНЯ

На архипелаг Шпицберген с ледокола «Киев» высадились экспедиция гляциологов АН СССР. Шпицберген — уникальное место для изучения взаимодействия оледенения и климата: здесь имеются почти все типы существующих на планете ледников.

16 ИЮНЯ

Близ древнего городища Артык в Южном Казахстане найден сырцовый кирпич с миниатюрной надписью. Специалисты по древнетюркской письменности расшифровали ее: «Дом Сабука-старшего насчитывал в то

время шесть потомков». Надпись сделана, как полагают, в VIII в.

Находка, по мнению ученых, представляет большой интерес, поскольку это первый памятник древнетюркской письменности, обнаруженный на берегах Сыр-Дарьи. Ее назвали сыр-дарьинским автографом.

20 ИЮНЯ

В Национальной физической лаборатории (Англия) обнаружены четыре вида микроорганизмов величиной чуть больше 0,0001 мм, которые, поедая пластмассу, действуют на нее, как ржавчина на сталь.

23 ИЮНЯ

Радиозавод им. Руди Чаеваца (Югославия) выпустил опытный образец радиолокатора для измерения скорости движения автомашин.

Прибор весит 14 кг и помещается в кабине или багажнике автомашины. Его можно устанавливать и на обочине дорог.

26 ИЮНЯ

Специалисты Горьковского научно-исследовательского института химии доказали, что живые организмы способны заменить сложную аппаратуру для определения чистоты вещества. В качестве аналитических индикаторов ученые применили нематодных червей.

26 ИЮНЯ

В Вене открылся VII Международный геронтологический конгресс. В работе конгресса принимают участие ученые 44 стран.

27 ИЮНЯ

В Московском доме ученых открылось общее собрание Академии наук СССР. Оно посвящено задачам, поставленным перед советской наукой майским Пленумом ЦК КПСС. С вступительной речью «Наука и прогресс» выступил президент АН СССР М. В. Келдыш.

1 ИЮЛЯ

Впервые на территории Киргизии обнаружено древнейшее производство — три «металлургических завода», расположенных на высоте 3 тыс. м на стыке Алайского и Туркестанского хребтов в Ошской области. Найденные при раскопках плавильная печь, глиняные трубки для дутья, остатки шлака и руды относятся, по-видимому, к V—VII вв. н. э.

1 ИЮЛЯ

С мыса Кеннеди с помощью ракеты «Дельта» запущена в сторону Луны автоматическая космическая станция «Лунар эксплорер». Научная аппаратура станции предназначена для измерения магнитного поля Земли в окололунном пространстве и для изучения гравитационного поля Луны и лунной ионосферы.

2 ИЮЛЯ

Специалисты Горьковского института инженеров водного транспорта разработали проект так называемого оболочечного нефтеналивного судна, призванного заменить нынешние танкеры и баржи.

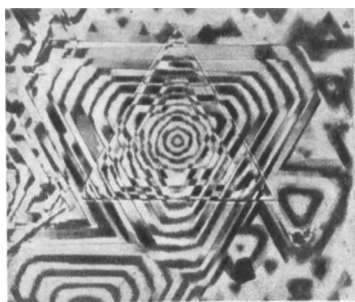
У нового судна нет ни палубы, ни корпуса. Вместо них — соединенные днищем корабля стальные ци-



Аксакалы



Общее собрание Академии наук СССР открывает президент Академии М. В. Келдыш



Экспонат выставки научной фотографии, работавшей во время VII Международного конгресса кристаллографов



Подъем американского космонавта Джона Янга на борт вертолета после приводнения «Джемини-10». Внизу видны аквалангисты, спущенные с вертолета и помогавшие космонавтам



Астрофизический институт Академии наук Казахстана. В большом павильоне расположен телескоп с диаметром зеркала 70 сантиметров



Изобретатель сейсмостанции «Сахалин» инженер А. И. Верченко и старший техник-конструктор Т. А. Еремина за настройкой приборов

линдры, или оболочки, диаметром 7 м, которые служат емкостями для нефти. Оболочечные судна значительно прочнее обычных, исключают потери нефтепродуктов от испарения, снижают стоимость перевозок.

6 ИЮЛЯ

В Советском Союзе осуществлен запуск тяжелой космической станции «Протон-3». Станция оборудована специальной научной аппаратурой для продолжения комплексных исследований космических лучей.

12 ИЮЛЯ

В Москве, в Кремлевском Дворце съездов открылся VII Международный конгресс кристаллографов. Вступительную речь произнес председатель организационного комитета конгресса член-корреспондент АН СССР Б. К. Вайнштейн.

21 ИЮЛЯ

Американские космонавты Джон Янг и Майкл Коллинз завершили трехдневное космическое путешествие на «Джемини-10». За трое суток им удалось осуществить ряд сложных и интересных экспериментов. В их числе — стыковка с ракетой-мишенью, переход на другую орбиту, выход Коллинза в открытый космос, во время которого он сблизился с ракетой «Аджена-8» и снял с нее научный прибор.

24 ИЮЛЯ

В Москве начал работу IX Международный конгресс микробиологов, собравший свыше 5000 ученых из 55 стран.

27 ИЮЛЯ

Началось строительство самой высокогорной в нашей стране обсерватории Астрофизического института Академии наук Казахской ССР. Расположена она на высоте 3 тыс. м над уровнем моря в горах Заилийского Алатау.

Здесь будут установлены уникальные горизонтальные телескопы для наблюдения магнитных полей Солнца, коронографы больших размеров, метровая фотокамера и другие приборы, позволяющие проводить исследования небесных тел.

29 ИЮЛЯ

В конструкторском бюро Сахалинского комплексного научно-исследовательского института Сибирского отделения АН СССР закончены испытания сейсмостанции «Сахалин». Она предназначена для оперативного прогнозирования цунами.

30 ИЮЛЯ

На Ереванском заводе «Электрон» заканчивается изготовление первого образца новой вычислительной машины «Раздан-3», созданной коллективом Ереванского института математических машин. «Раздан-3» предназначен для решения широкого круга научных, инженерно-технических и статистических задач.

2 АВГУСТА

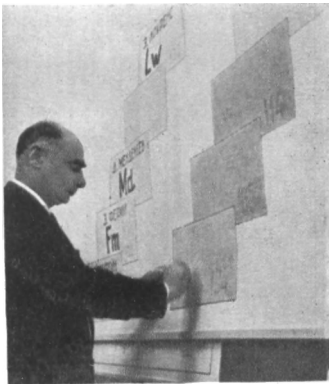
В одном из научно-исследовательских институтов Исогама (Япония) получена синтетическая смола, выдерживающая температуру до 4000° Цельсия.



«Гроза». Интерпрессфото-66, автор А. Бушкин (СССР)



Старший научный сотрудник Ленинградского научно-исследовательского института полимеризационных пластмасс В. И. Бейлина с образцами изделий, полученных из вспенивающего полистирола



Директор Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ член-корреспондент АН СССР Г. Н. Флеров вписывает в квадрат таблицы Менделеева название 104-го элемента — курчатовий

6 АВГУСТА

Опыты на крысах, поставленные доктором П. К. Дей (Калькуттский университет, Индия), показали, что инъекции витамина С или аскорбиновой кислоты предотвращают смерть от столбняка.

7 АВГУСТА

Группа сотрудников Сибирского института автоматики и электрометрии создала аппаратуру, которая отыскивает аномалии в строении земной коры, используя дальние грозовые разряды.

Как известно, над нашей планетой постоянно проносятся грозы, каждую секунду сверкают многочисленные вспышки молний. Вместе они создают очень слабое электромагнитное поле, которое охватывает всю Землю. Над залежами угля, рудными телами и другими образованиями в недрах земли это поле меняет свои характеристики. Такие изменения фиксирует чувствительная аппаратура, разработанная в сибирском Академгородке.

10 АВГУСТА

В Ленинградском научно-исследовательском институте полимеризационных пластмасс созданы новые материалы. Так, по ленинградской технологии начал выпускаться вспенивающийся полистирол. Кубический метр такого материала весит всего 15 кг. Освоен выпуск и другой новинки — самозатухающего полистирола, не поддерживающего горения.

12 АВГУСТА

Национальный институт радиологической медицины (Япония) разработал препарат, способный излечивать живой организм от последствий облучения дозой, вдвое превышающей смертельную. Новый препарат (5-гидрокситриптофан) получен из тромбоцитов. Его можно изготовлять в очень больших количествах.

13 АВГУСТА

Группа астрономов из университета штата Огайо (США) сообщила, что огромные облака газообразного нейтрального водорода приближаются к Земле со скоростью, достигающей 500 тыс. миль в час.

Это открытие впервые показало, что облака нейтрального водорода охватывают большую область неба, а не находятся только в его определенных районах, как считали ранее.

14 АВГУСТА

В Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) подведены итоги работы по синтезу и изучению физических и химических свойств нового, 104-го элемента периодической системы Д. И. Менделеева. Совет института поддержал предложение группы ученых, создавших этот элемент, назвать его именем Игоря Васильевича Курчатова — курчатовием.

14 АВГУСТА

Профессор глазной клиники города Скопле (Югославия) Дмитрий Миовский разработал метод пересадки роговой оболочки глаза, в значительной степени устраняющий отрицательную иммунологическую реакцию организма.

Предварительно с роговицы удаляется наружный слой — эпителий. Кроме того, роговица (она берется у мертвых) перед операцией помещается в сыворотку,

полученную из крови пациента, которому производится пересадка. Таким образом роговица до пересадки приспосабливается к новому организму и частично оживает.

16 АВГУСТА

В Кремлевском Дворце съездов открылся Международный конгресс математиков, собравший свыше 4500 ученых более чем из 50 стран.

17 АВГУСТА

В США запущена в сторону Солнца межпланетная космическая станция «Пионер-7». Станция должна выйти на околосолнечную орбиту, расположенную между орбитами Земли и Марса. Предполагаемый срок активной службы станции — три года.

18 АВГУСТА

Запущенный 25 июня сего года искусственный спутник Земли «Космос-122» начал передачу на Землю съемок облачного покрова Земли. На спутнике установлены также камеры для съемки облаков в инфракрасных лучах на дневной и ночной стороне Земли и приборы для измерения радиации в системе Земля — атмосфера.

24 АВГУСТА

В 11 час. 3 мин. по московскому времени в Советском Союзе на траекторию полета к Луне выведена автоматическая станция «Луна-11». 26 августа в 22 час. 2 мин. в соответствии с программой была осуществлена коррекция ее движения.

При подлете к Луне 28 августа в 00 час. 49 мин. проведено торможение станции «Луна-11». В результате успешного проведенного маневра автоматическая станция вышла на селеноцентрическую орбиту и стала вторым советским искусственным спутником Луны.

25 АВГУСТА

В Норвегии разработан проект танкера водоизмещением 500 тыс. т. Длина танкера 400 м, ширина — 65 м, осадка — 28 м. Сейчас еще не существует верфей, на которых можно было бы построить такое судно.

31 АВГУСТА

В Москве открылась X Международная конференция по физике низких температур. В ней принимают участие более тысячи ученых-физиков из 27 стран.

5 СЕНТЯБРЯ

Ученые Института электросварки АН УССР предложили применять для проверки непроницаемости сварных соединений вакуум.

Новый способ позволяет проводить испытания непосредственно после сварки, не ожидая, пока будет изготовлена вся конструкция. Он, кроме того, дает возможность ускорить процесс контроля, повысить его надежность.

6 СЕНТЯБРЯ

В ЦЕРНе (Европейский центр ядерных исследований) получены результаты, которые не подтверждают открытие ядерной асимметрии. Вывод о существовании такой асимметрии был сделан в Колумбийском университете (США) при изучении распада γ -мезона. Группа

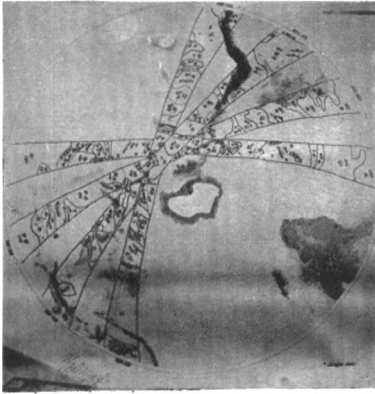


Схема трасс пролета «Космоса-122» над Южным полушарием 7 сентября 1966 года. Вдоль каждой трассы показано распределение облачности, полученное с помощью аппаратуры спутника



На международной конференции по физике низких температур. Председатель Лондонской комиссии профессор Н. А. Боорзе (США) (справа) вручает Международную премию Фритца Лондона профессору С. Гортену (Нидерланды)

физиков в ЦЕРНе исследовала 10665 фотографий распада η -мезона и не обнаружила достаточных доказательств отсутствия симметрии.

8 СЕНТЯБРЯ

Американские ученые проводят эксперименты по управлению поведением обезьян по радио.

Оказывается, обезьян можно заставить дрожать, сердиться, есть, пить, кричать и даже спариваться по команде радиосигналов, поступающих на электроды, введенные в мозг. Эти исследования помогают глубже понять роль мозга в управлении поведением, дают возможность изучить структуру и функции мозга — расположение мозговых центров, управляющих теми или иными чувствами и движениями, а также открывают путь для лечения инсульта и эпилепсии.

12 СЕНТЯБРЯ

В США осуществлен запуск космического корабля «Джемини-11» с двумя космонавтами на борту. Экипаж корабля — Чарльз Конрад и Ричард Гордон — произвел стыковку «Джемини-11» с заранее запущенной на орбиту ракетой «Аджена». Космонавт Ричард Гордон на 35 минут выходил в открытый космос и соединил 30-метровым специальным тросом «Джемини-11» со стыкованной с ним «Адженой». Был произведен также маневр в космосе и достигнута орбита с апогеем 1365 км. 15 сентября корабль благополучно приво-дился в Атлантическом океане.

16 СЕНТЯБРЯ

В СССР получена первая партия крупных кристаллов искусственных алмазов.

17 СЕНТЯБРЯ

Количество стронция-90, содержащегося в зубах японских детей, резко увеличилось со времени проведения ядерных испытаний США над атоллom Бикини в 1954 г. Увеличение количества стронция в организме людей может привести к серьезным последствиям.

21 СЕНТЯБРЯ

Самую большую из всего множества скульптур Будды, известных в Средней Азии, извлекли из земли археологи Академии наук Таджикской ССР. Длина всей фигуры 11 м, одна лишь ступня глиняного колосса достигает почти 2 м. Этот удивительный памятник истории и культуры легендарного «царства тохаров» — Тохаристана был найден при раскопках древнего буддийского монастыря конца VII — начала VIII в. н. э.

21 СЕНТЯБРЯ

На высоте почти 1500 м над уровнем моря в Шемахинской астрофизической обсерватории в Азербайджане начал работать один из крупнейших в мире телескопов. Его двухметровый рефлектор по диаметру зеркала — второй в стране. Изготовлен он на предприятии «Карл Цейсс Иена» (ГДР).

26 СЕНТЯБРЯ

Совместный эксперимент, поставленный недавно несколькими европейскими лабораториями, подтвердил существование новой элементарной частицы, известной под названием Λ -мезон. Эта частица с массой, соответствующей массе почти двух протонов, была получена



Воскрешение Будды

при бомбардировке ядер водорода отрицательными К-мезонами с энергией в 10 Гэв.

27 СЕНТЯБРЯ

В Обнинске вступила в строй первая опытная линия «поверхностной волны» для трансляции телевизионных передач.

Это особый волновод, состоящий из медного проводника, покрытого слоем диэлектрика. Подвешивается такой волновод на столбах обычной линии связи. Ультракороткие радиоволны удерживаются этим волноводом и пульсируют вокруг него, создавая поверхностную волну.

28 СЕНТЯБРЯ

В Англии разрабатывается проект баржи, конструкция которой предусматривает полное отделение части с двигателем от грузовой. Обе эти части могут совершенно независимо друг от друга держаться на воде. Вместо того чтобы задерживать все судно в порту на время разгрузки и погрузки, кормовая часть с двигателем будет отделяться и «прицепляться» к уже нагруженной носовой части, готовой к отплытию.

3 ОКТЯБРЯ

Коллектив исследователей Бухарестского биологического института во главе с академиком Николае Саладяну разработал способ выращивания водорослей с высоким содержанием белка.

Водоросли выращиваются на полиэтиленовых лентах, обработанных питательным раствором.

6 ОКТЯБРЯ

Судно идет по курсу, а спущенный с него в море прибор сообщает данные о глубине, особенностях рельефа дна, структуре пластов. Прибор этот — звуковой геолокатор — создан учеными Ленинграда.

7 ОКТЯБРЯ

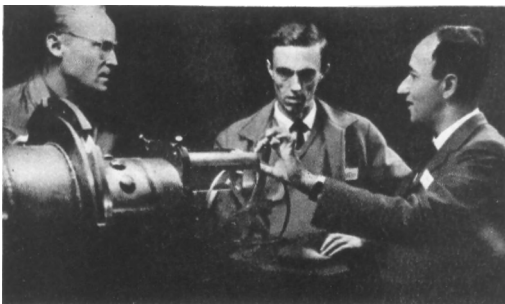
В Чехословакии началось производство транзисторных 12-канальных телевизоров «Кемпинг» с размером экрана по диагонали 25 см. Вес телевизора без батарей — 8 кг, с батареей — 12,5 кг. Телевизоры снабжены встроенной телескопической антенной.

10 ОКТЯБРЯ

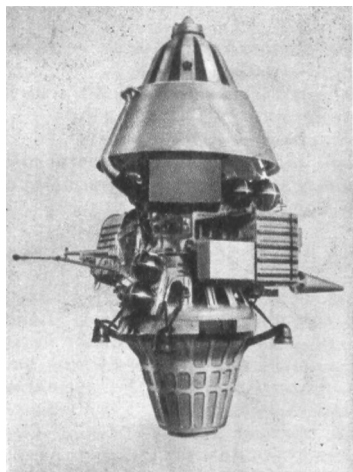
Американская компания «Дженерал-электрик» разработала метод фотографирования без применения химических. Фотоматериалом служит пластиковая пленка, электропроводность которой изменяется в зависимости от воздействия света. При фотографировании на пленке образуется невидимое электростатическое изображение. В результате быстрого нагревания и охлаждения пленки оно превращается в механическое и сохраняется в форме миниатюрных напряжений или ряби. Для проецирования изображения требуется специальное устройство. На пленке размером в 13 см² можно зафиксировать 144 фотографии.

13 ОКТЯБРЯ

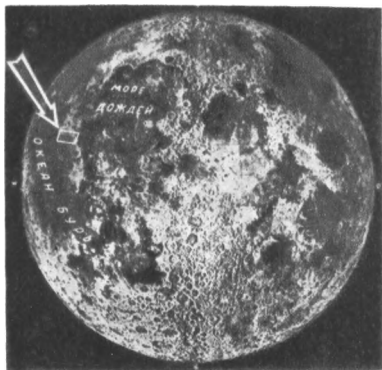
В Дубне открылась международная конференция по физике тяжелых ионов, организованная Объединенным институтом ядерных исследований. Ученые 17 стран обсуждают проблемы изучения ядерных реакций, происходящих при столкновении тяжелых атомных ядер.



Профессор А. Фридман (США) осматривает экспериментальную аппаратуру Лаборатории ядерных реакций. Слева — советские ученые старший инженер А. Домин и доктор физико-математических наук В. Друин



«Луна-12»



Видимая сторона Луны. Стрелкой показано место выброса вымпела

19 ОКТЯБРЯ

Ученые Японского научно-исследовательского института атомной энергии открыли, что микроорганизмы, попав в радиоактивные теплоносители атомных реакторов, начинают усиленно размножаться и препятствуют циркуляции воды в системах охлаждения реакторов. Было обнаружено, что микроорганизмы продолжали существовать несмотря на радиоактивность в несколько биологических рентген в час.

20 ОКТЯБРЯ

Запущен на высокоэллиптическую орбиту еще один спутник связи «Молния-1».

22 ОКТЯБРЯ

Научные сотрудники Гданьского политехнического института (Польша) сконструировали прибор, позволяющий быстро и с большой точностью определять на расстоянии координаты движущихся объектов. Новый пеленгационный прибор получил название «Попрад».

22 ОКТЯБРЯ

В Советском Союзе осуществлен запуск космической ракеты в сторону Луны. На борту ракеты установлена автоматическая станция «Луна-12». Назначение станции — дальнейшая обработка систем искусственного спутника Луны. 25 октября «Луна-12» вышла на селеноцентрическую орбиту и стала третьим советским искусственным спутником Луны. 30 октября в соответствии с программой научных исследований «Луна-12» произвела со своей орбиты фотографирование отдельных участков лунной поверхности.

28 ОКТЯБРЯ

На Международном противораковом конгрессе в Японии шведский ученый М. Шериф сообщил о возможности обнаружения рака за 4—5 лет до развития злокачественной опухоли. Доктор Шериф полагает, что рак вызывается специфическим изменением в молекуле рибонуклеиновой кислоты (РНК), которая видоизменяется в ненормально сложенную молекулу.

31 ОКТЯБРЯ

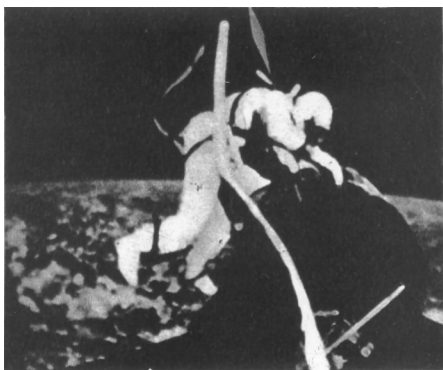
В Чехословакии разработан эффективный инсектицид, одного грамма которого достаточно для уничтожения миллиарда насекомых-вредителей. Инсектицид безвреден для человека и животных.

9 НОЯБРЯ

Советские ученые запустили в стратосферу аэростат с высотной автоматической астрономической станцией. Станция-автомат весом 7,6 т была поднята на высоту около 20 км. На станции установлен телескоп с высокой разрешающей способностью, снабженный различной аппаратурой для фотографирования Солнца. Запуск в стратосферу столь крупного и сложного астрономического комплекса осуществлен впервые в мире.

10 НОЯБРЯ

Американская автоматическая станция «Лунар орбитер-2», запущенная 6 ноября, вышла на орбиту вокруг Луны.



Американский космонавт Э. Олдрин в открытом космосе около ракеты «Аджена»

12 НОЯБРЯ

Полное солнечное затмение — одно из редких явлений природы — наблюдалось в Южной Америке вдоль узкой полосы, пересекающей в юго-восточном направлении территорию Перу, Чили, Боливии, Аргентины, Парагвая и Бразилии.

Ученые надеются в результате проводимых наблюдений найти ответ на ряд проблем, связанных со структурой Солнца.

15 НОЯБРЯ

Американский космический корабль «Джемини-12» с космонавтами Джеймсом Ловеллом и Эдвином Олдрином на борту завершил четырехсуточный полет, приводнившись в Атлантическом океане. 11 ноября корабль произвел стыковку с выведенной ранее на орбиту ракетой «Аджена». 13 ноября Олдрин на 2 час. 10 мин. покидал кабину корабля. Помимо выхода в пространство, космонавт Олдрин дважды высовывался из кабины, фотографируя Землю, звезды и восход Солнца.

17 НОЯБРЯ

Археологическая экспедиция Государственного музея Грузии сделала интересные находки в районе раскопок жилого холма (тепе) близ Шулавери, в Марнеульском районе республики. Археологи выявили здесь селище древнейших оседлых земледельцев Закавказья, относящееся к V—IV тысячелетиям до н. э. Ученые установили, что жители древнего Шулавери уже были знакомы с металлом — медью.

22 НОЯБРЯ

Биологи румынского Института ядерной медицины в Клуже разработали противорадиационный препарат имипрамин, который в опытах на животных, получивших смертельную дозу облучения, показал 80-процентную эффективность.

24 НОЯБРЯ

В Болгарии сконструирован волнодвигатель, преобразующий энергию морских волн в электрический ток. Мощность этого двигателя, названного «Ураган», составляет 1000 л. с.

3 ДЕКАБРЯ

В окрестностях Дарджилинга (Индия), откуда видны высочайшие вершины Гималаев, обнаружены памятники, сложенные из гигантских каменных монолитов трехметровой высоты. Это — своеобразный мавзолей, относящийся к эпохе неолита. До сих пор подобные памятники на территории Индии находили только в южных штатах.

Археологи считают, что это открытие вызовет пересмотр некоторых традиционных взглядов на возникновение и развитие цивилизации в Индии.

6 ДЕКАБРЯ

Группа сотрудников Института атомной физики румынской Академии наук установила, что в залегающей под землей нефти содержится дейтерий. Изменение концентрации дейтерия непосредственно зависит от перемещения слоев нефти. Это открытие легло в основу разработки нового метода точного определения нефтяных запасов.

10 ДЕКАБРЯ

На Каширской ГРЭС начато опробование энергетического блока, работающего при давлении пара в 300 атм. и температуре 650°. Пар таких параметров еще не применялся энергетиками ни в нашей стране, ни за рубежом.

12 ДЕКАБРЯ

Изучая окрестности лунного кратера Кеплер и участка залива Радуги, пулковский астроном Н. Петрова обнаружила в этом районе особое свечение. Выяснилось, что оно не может быть вызвано солнечными корпускулярными потоками. Многие из наблюдавшихся особенностей этого явления вполне объяснимы, если допустить возможность вулканической деятельности на Луне или выделения газов из ее недр.

19 ДЕКАБРЯ

В Советском Союзе осуществлен запуск очередного искусственного спутника Земли «Космос-136». С 31 марта 1966 года было запущено 23 спутника этой серии.

21 ДЕКАБРЯ

Из Калининграда в первый рейс отправился флагман экспедиционного флота Академии наук СССР «Академик Курчатов», построенный в этом году на верфях ГДР.

По оснащенной новейшей аппаратурой судно нет равных в мире. На его борту разместились 26 исследовательских лабораторий. Электронно-вычислительный центр моментально обрабатывает полученные данные.

22 ДЕКАБРЯ

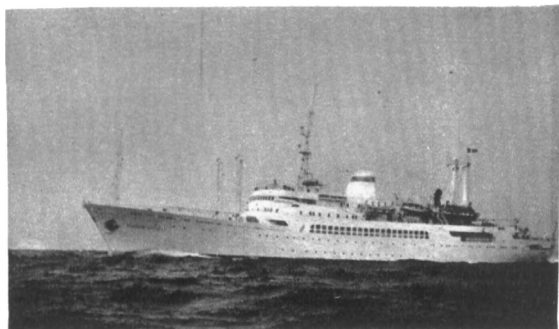
В Физическом институте АН СССР под руководством академика А. М. Прохорова создан новый тип мощного универсального лазера на основе кристаллов флюорита с добавкой диспрозия.

25 ДЕКАБРЯ

21 декабря 1966 г. в 13 час. 17 мин. московского времени в Советском Союзе осуществлен запуск космической ракеты с автоматической станцией «Луна-13» на борту.

22 декабря в 21 час. 41 мин. была успешно проведена коррекция траектории полета станции «Луна-13» с таким расчетом, чтобы обеспечить ее прилунение в заданном районе. При подлете к поверхности Луны на расстоянии 70 км была включена тормозная двигательная установка, и станция «Луна-13», погасив скорость, совершила мягкую посадку в районе Океана Бурь.

В 15 час. 15 мин. московского времени 25 декабря автоматическая станция «Луна-13» начала передавать изображение лунной панорамы. (Фотографии лунной поверхности помещены в статье К. П. Феокистова в этом же томе ежегодника).



Советское научно-исследовательское судно «Академик Курчатов» в Балтийском море



Карта видимой стороны Луны. Стрелкой показан район прилунения советской автоматической станции «Луна-13»



МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ (р. 1911) — специалист в области математики, механики и вычислительной техники, дважды Герой Социалистического Труда, академик, Президент Академии наук СССР, председатель Комитета по Ленинским и Государственным премиям при Совете Министров СССР, директор Института прикладной математики.

В 1931 окончил физико-математический факультет Московского университета. В 1938 ему была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук. В 1946 М. В. Келдыш был избран действительным членом Академии наук СССР. В 1961 избран Президентом Академии.

Работы М. В. Келдыша в области математики посвящены теории функций комплексного переменного, теории потенциала, теории эллиптических уравнений, приближенных методов интегрирования дифференциальных уравнений; вычислительной математике и теории автоматического управления. В области механики им установлены важные свойства гидроаэродинамических сил при неустановившемся движении, создана теория и методы расчета флаттера — явления внезапных колебаний крыла и оперения самолета, теория автоколебаний колеса с пневматиками, теория крыла, движущегося под водой. Дважды удостоен Государственной премии, лауреат Ленинской премии, награжден пятью орденами Ленина, тремя орденами Трудового Красного Знамени, а также медалями. М. В. Келдыш — депутат Верховного Совета СССР.

М. В. Келдыш является иностранным членом ряда зарубежных академий наук, почетным доктором многих университетов.

МСТИСЛАВ ВСЕВОЛОДОВИЧ КЕЛДЫШ

ОКТЯБРЬСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И НАУЧНЫЙ ПРОГРЕСС

Октябрьская революция освободила народы нашей страны от гнета эксплуататоров, обеспечила подлинную свободу и равенство людей и привела к созданию первого в мире социалистического государства. Октябрьская революция установила строй, при котором материальные блага и культурные ценности находятся в руках народа и призваны удовлетворять потребности всех людей, открыла возможности для создания нового, коммунистического общества, являющегося на протяжении веков идеалом лучших умов человечества.

За 50 лет, прошедших после Октябрьской революции, в нашей стране был построен социализм, достигнут высочайший уровень раз-

вития народного хозяйства, экономики, техники, науки и культуры. Это движение вперед с каждым годом все больше утверждает идеи социализма во всем мире.

На заре Советской власти, еще в огне гражданской войны, Коммунистическая партия приняла решительные меры к осуществлению всеобщего образования, к переводу отсталой, аграрной России на индустриальные рельсы. Уже весной 1918 года В. И. Ленин в статье «Очередные задачи Советской власти» указывал, что главной задачей победившей революции является созидательная работа по строительству нового, социалистического общества. Отмечая, что наша страна располагает всеми

необходимыми для этого естественными богатствами, Ленин писал, что «разработка этих естественных богатств приемами новейшей техники даст основу невиданного прогресса производительных сил». Выступления и труды В. И. Ленина пронизывает мысль о важнейшей роли науки в построении коммунизма. В. И. Ленин призывал превратить всю сумму накопленного капитализмом запаса знаний из орудия капитализма в орудие социализма. Ленинские идеи предусматривали индустриализацию страны, социалистическое кооперирование сельского хозяйства, осуществление культурной революции.

С первых дней существования Советского государства многие крупные ученые приняли активное участие в решении важнейших проблем строительства нового общества. В ответ на обращение Академии наук, весной 1918 года Ленин в своем знаменитом «Наброске плана научно-технических работ» выдвинул ряд важнейших народнохозяйственных задач, для решения которых требовалось привлечь ученых. Это были проблемы, связанные с рациональным размещением производства, обеспечением народного хозяйства сырьем, электрификацией промышленности, транспорта и сельского хозяйства. В то же время был принят ряд мер для развития науки в стране. Ленинский «Набросок» фактически стал первым перспективным планом научно-технических работ.

Октябрь явился поворотным этапом для Академии наук. Она превратилась в учреждение большого государственного значения. Опираясь на широкую систему своих институтов, научных учреждений академий наук союзных республик, лабораторий и кафедр высших учебных заведений, Академия наук СССР стала теперь центром, объединяющим фундаментальные исследования по естественным и общественным наукам в стране, ответственным за научный прогресс.

В изучение природных ресурсов и производительных сил всей страны, в освоение и развитие ее отдаленных районов большой вклад внесла созданная при Академии наук Комиссия по изучению естественных производительных сил. Еще в годы гражданской войны началось широкое изучение Курской магнитной аномалии, которое завершилось открытием огромных запасов железных руд. Экспедиционные исследования на Кольском полуострове привели к обнаружению колоссальных залежей апатитов и руд редких металлов. Был открыт Печорский угольный бассейн. Начатое в 1920 году комплексное изучение залива Кара-Богаз-Гол, а в дальнейшем — пустыни Кара-Кум, районов Средней Азии, Апшеронского полуострова, Урала и других районов позволило открыть богатейшие запасы

химического и металлургического сырья, топлива. Ученые принимали деятельное участие в развитии Кузнецкого и Карагандинского угольных бассейнов, в создании угольно-металлургических баз на востоке страны. В результате широких исследований на карту страны были нанесены новые месторождения нефти между Волгой и Уралом и в других районах страны.

Мероприятия молодого Советского государства по переустройству страны требовали широкого развития научно-технической мысли. Крупнейшее значение имел созданный по инициативе Ленина в 1920—1922 годах план электрификации России (ГОЭЛРО) — первый перспективный план развития народного хозяйства страны, сплотивший силы ученых и инженеров для ускоренного развития энергетики страны, основы народного хозяйства. Осуществление этого плана и все последующее развитие энергетики потребовало решения самых разнообразных задач экономики, техники и науки. Здесь и исследования наших геологов с целью открытия новых топливных ресурсов — угля, нефти и газа, и создание уникальных машин для тепловых и гидроэлектростанций, и сооружение уникальных линий электропередач, и исследование водных ресурсов. Такие энергетические гиганты, как Днепрогэс, Волжская ГЭС им. В. И. Ленина, Братская ГЭС, кольцевые энергетические системы, созданные в процессе развития социалистического государства, явились воплощением не только героического труда советского народа, но и прогресса нашей науки и техники.

Усилия партии по развитию образования и культуры нашли свое отражение и в особой поддержке В. И. Лениным радиотехнических исследований, поскольку радио, по его образному выражению, «газета без бумаги» и «без расстояний», обещало стать могучим средством распространения культуры по всей нашей необъятной стране. Уже в 1922 году у нас вступила в строй первая широкоэвещательная станция им. Коминтерна. С работами в области радио было связано создание крупных научных школ, которые внесли большой вклад в теорию распространения радиоволн, теорию нелинейных колебаний, вопросы автоматизации, электроники и во многие другие отрасли знания, которые вызвали рождение важнейших новых направлений технического прогресса.

Постоянная угроза социалистическому государству со стороны капиталистического мира вынуждала уделять огромное внимание обороне страны, одним из главных перспективных средств которой обещала быть авиация. С самого начала социалистического строительства и во все последующие годы советская наука, в первую очередь механика, многое сделала

для развития этого, тогда еще совсем нового дела и вписала замечательные страницы в историю авиации. Достаточно вспомнить блестящие дальние перелеты наших авиаторов и их полеты через Северный полюс в довоенные годы, роль советской авиации в Великой Отечественной войне, создание первых сверхзвуковых самолетов, все новейшие достижения в этой области. Ни в одной стране воздушные сообщения не развиты так широко, как в СССР.

Это лишь отдельные примеры того, как Советское государство сразу же стало ориентироваться на науку при решении важнейших народнохозяйственных вопросов. Расцвет многих других научных направлений в области математики и механики, физики и химии, биологии и геологии был органически связан с общим развитием страны.

Приходится изумляться, каким образом в тот очень трудный период партия нашла возможность поднять ряд новых отраслей науки и техники, важных для будущего нашей страны. В те годы были созданы такие научно-исследовательские центры, как Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ), сыгравший выдающуюся роль в развитии аэрогидродинамической науки и авиационной техники; Государственный оптический институт, заложивший технические основы оптической промышленности; Всесоюзный электротехнический институт, Институт прикладной химии, Институт прикладной минералогии, Научный институт по удобрениям, Институт по изучению платины, Всесоюзный институт растениеводства и ряд других институтов.

Глубокое понимание роли науки выразилось в том, что были не только организованы институты, связанные в зарождением и развитием новых отраслей промышленности, но и стала создаваться база для фундаментальной науки. В то время в составе Академии наук были созданы Ленинградский физико-технический институт и Физико-математический институт, из которого вскоре образовались Математический и Физический институты. Эти институты сыграли большую роль в развитии физики и математики. Были созданы также Институт физико-химического анализа, Радиевый институт, Биохимическая и Биогеохимическая лаборатории и многие другие замечательные исследовательские институты и лаборатории, внесшие большой вклад в развитие исследований в области естественных наук, которые привели к рождению ряда новых направлений техники.

В 1918 году основывается Социалистическая Академия общественных наук, которая положила начало созданию в стране гуманитарных научных учреждений, сыгравших большую

роль в развитии марксистско-ленинского мировоззрения и культуры.

Быстрыми темпами идет развитие высшей школы. Уже в годы гражданской войны открываются новые университеты: Среднеазиатский, Тбилисский, Азербайджанский, Ереванский, Белорусский, Иркутский и другие.

Дореволюционная Россия имела немногочисленные научные силы, хотя среди них были очень крупные ученые. После Октябрьской революции ученые, проявившие волю к участию в строительстве новой жизни, получили возможности для большого размаха своей творческой деятельности. Наряду с этим были открыты широкие пути к образованию и в науку народным талантам. Были организованы рабочие факультеты, подготавливавшие рабочих и крестьян для поступления в вузы. Непрерывно расширялись масштабы среднего и высшего образования. К настоящему времени число специалистов возросло с 200 тысяч до 13 миллионов человек. За годы Советской власти проходил лавинный процесс расширения научных исследований. Число научных работников в стране увеличилось в 70 раз и достигает сейчас 700 тысяч человек. Если в дореволюционной России было всего около 300 научных учреждений, главным образом небольших, то в настоящее время в Советском Союзе имеется более 4650 научно-исследовательских учреждений.

Ленинская национальная политика, сыгравшая громадную роль в укреплении нашего государства и в развитии всех народов страны, оказала сильнейшее влияние на прогресс науки и культуры в Советском Союзе. Ярким выражением этого явилось создание национальных научных центров. В 1919 году создается Академия наук Украины. В последующие годы с помощью Академии наук СССР, главным образом на основе ее филиалов и баз, в союзных советских республиках выросли свои академии наук, располагающие многочисленными научными учреждениями. В этих академиях сложились научные школы, которые теперь не только играют большую роль в развитии своих республик, но и вносят весомый вклад в отечественную и мировую науку. Достаточно напомнить об исследованиях по астрофизике в Армении, по механике и математике в Грузии, по химии алкалоидов в Узбекистане, по физике твердого тела и науке о материалах на Украине, по нефтехимии в Азербайджане, по тонкому органическому синтезу в Латвии. Многое сделано, особенно за последние годы, по развитию науки в Сибири и на Дальнем Востоке. Сибирское отделение Академии наук СССР с научным городком вблизи Новосибирска является ныне одним из крупнейших научных центров страны.

За прошедшие 50 лет советская наука принимала самое активное участие в развитии нашей страны на всех его этапах: в социалистическом строительстве в довоенные годы, в борьбе против немецкого фашизма во время Великой Отечественной войны, в период бурного послевоенного развития страны.

После победы над врагами революции в течение всего периода до второй мировой войны быстрыми темпами стала развиваться индустриализация страны и переустройство сельского хозяйства на социалистических началах. Это поставило перед наукой новые ответственные задачи. Важнейшим фактором, определившим возможность быстрого прогресса страны, явился плановый принцип развития всего народного хозяйства, заложенный ленинским планом ГОЭЛРО и развившийся в процессе создания и реализации первого и последующих пятилетних планов. В основу разработки этих планов был положен научный подход к решению вопросов экономического и технического прогресса. В этой громадной работе активное участие приняли деятели науки. Плановое решение вопросов социального, экономического и научно-технического развития, опирающееся на научную базу, завоевало себе признание во всем мире.

Советская наука оказала самое непосредственное содействие реализации этих планов, строительству новых крупнейших предприятий, электростанций, созданию новых отраслей промышленности: автомобильной, авиационной, тракторной. Развернувшиеся в это время широкие геологические исследования позволили во много раз увеличить сырьевую базу нашей промышленности. Достижения науки нашли отражение в создании таких гигантов первых пятилеток, как Магнитка, Кузнецкий комбинат, Днепрогэс. Исследования советских ученых имели важное значение для развития металлургии, машиностроения, химической промышленности, в частности, промышленности синтетического каучука. Быстро растущий промышленный потенциал страны обусловил возможность таких свершений, как освоение Северного морского пути и экспедиция на Северный полюс, полеты в стратосферу, наступление на пустыни, и других, имевших выдающееся значение для науки и покорения сил природы.

В нашу эпоху прогресс науки и развитие индустрии становятся все более взаимосвязанными процессами. Если истоки технического прогресса открывает наука, то сама она может успешно развиваться, только опираясь на достижения промышленности. Научные приборы

и такие крупнейшие установки, как телескопы, ускорители, аэродинамические трубы, средства геологической разведки и исследования океана, — являются сейчас необходимым оснащением исследований, обуславливающим дальнейшие успехи научной мысли. Индустриализация страны позволила успешно претворять в жизнь ленинские идеи о роли науки в социалистическом строительстве и необходимости ее быстрого развития. Особенно сильно сказалось это на экспериментальных направлениях науки. Однако нарастающая волна научных исследований захватила даже такие области, как математика, которая не требовала в то время ничего, кроме карандаша и бумаги. Быть может, именно в этой области традиции наших замечательных предшественников и расширившиеся контакты с другими бурно развивающимися областями науки и техники позволили советской науке раньше всего завоевать ведущее положение. Нельзя не сказать о фундаментальном вкладе советских ученых в теорию чисел, теорию функций, теорию вероятностей, теорию дифференциальных уравнений, алгебру, математическую логику.

Еще в довоенный период достигают расцвета и получают широкий размах исследования в области механики. Сюда следует отнести вклад в исследования по аэродинамике, в частности, по аэродинамике больших дозвуковых и сверхзвуковых скоростей, вклад в развитие теории прочности, теории упругости, теории пластичности, механику твердого тела, теорию колебаний, теорию гироскопов. Все эти исследования закладывали теоретические основы для развития самолетостроения, для развития машиностроения — основы индустриализации, в том числе создания новых уникальных машин, для подготовки развития ракетной техники.

В дореволюционное время в нашей стране исследования по физике велись лишь в небольших университетских лабораториях. С первых лет существования Советского государства развитию физических исследований стало уделяться большое внимание. Уже в начале 20-х годов началось интенсивное развитие радиофизики, исследования упругих и электрических свойств твердых тел. В период становления квантовой физики советские физики-теоретики приняли участие в разработке квантовой механики и квантовой теории поля. В ходе социалистического строительства неуклонно расширяются исследования в различных, в том числе новых, направлениях физики. С самого зарождения ядерной физики советские ученые активно участвуют в разработке методов исследования заряженных частиц, в развитии теоретических представлений о ядре, в экспериментальных исследованиях; уже в 30-е годы

у нас были открыты новые ядерно-физические явления. Начались исследования космических лучей.

В процессе исследований по физике твердого тела были получены важные результаты по физике прочности, кристаллофизике, по физике магнитных явлений. В нашей стране раньше, чем в других странах, задолго до широкого применения полупроводников в электронике, были начаты систематические исследования полупроводников; еще тогда нашими учеными были изучены явления прохождения электрического тока через полупроводник.

Большие успехи были достигнуты в области оптики. Работы по аномальной дисперсии в парах металлов, по люминесценции и спектроскопии, открытие комбинационного рассеяния света имели большое научное и прикладное значение. Исследования советских ученых способствовали развитию нашей оптической промышленности. Успешно разрабатывались исследования по физике низких температур. Советская физика уже в этот период обогатила мировую науку открытиями излучения «сверхсветового» электрона (черенковского излучения), сверхтекучести гелия, спонтанного деления ядра и других явлений.

К началу 40-х годов высокого уровня достигли исследования в ядерной физике, оптике, радиофизике, теории автоматического управления, в физике низких температур и в других областях, что в дальнейшем позволило нашей науке успешно решить важнейшие научно-технические проблемы.

В довоенные годы значительно расширились исследования по астрономии, в частности получили развитие звездная астрономия, изучение газовых туманностей, метеоритов, планет.

Быстро развивалась химия, которая унаследовала славные традиции отечественной науки, выдвинувшей целую плеяду талантливых ученых-химиков. Еще в довоенный период советские ученые многое сделали для развития теоретических основ химии, в частности теории химического строения, химической кинетики, механизма химических реакций, фотохимии. Наши ученые открыли разветвленные цепные реакции и создали теорию цепных реакций. На базе химической кинетики были разработаны основы современного учения о горении и взрывах. Большие успехи были достигнуты в области химии углеводородов и их взаимопревращений, легшие в основу нефтехимии, в учении о внутримолекулярных перегруппировках, в химии алкалоидов, в области гетерогенного катализа, в химии комплексных соединений, в электрохимической кинетике и в исследованиях поверхностных явлений. Важное значение для неорганической химии, металлургии и геолого-

31
минералогических исследований имело создание метода физико-химического анализа многокомпонентных систем. Все эти достижения послужили теоретической основой развития химической промышленности.

С первых лет Советской власти успешно велись исследования по биологии. Большое значение для развития отдельных направлений биологической науки имели такие достижения советских ученых, как создание учения о высшей нервной деятельности, работы по физиологии и биохимии растений, по химизму дыхания, изучению процессов переаминирования, биохимическому механизму работы мышцы; разработка принципов классической генетики и селекции, работы по агрохимии и почвоведению, по эволюционной морфологии, по паразитологии, по изучению растительного и животного мира. Результаты биологических исследований способствовали решению практических задач сельского хозяйства. Советские селекционеры в те годы создали сотни высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур и вывели высокопродуктивные породы сельскохозяйственных животных. Успехи советской биологии способствовали также развитию ряда отраслей пищевой и легкой промышленности, обусловили прогресс медицины и решение насущных задач здравоохранения, прежде всего в ликвидации многих инфекционных заболеваний. В нашей стране был создан первый в мире аппарат искусственного кровообращения, который явился по существу прототипом всех современных аппаратов «искусственное сердце—легкие»; были заложены и развиты основы глазной хирургии.

Советские ученые добиваются значительных успехов в геодезии и картографии: в короткие сроки была картографирована вся территория страны. В изучении геологии огромной территории нашей страны большую роль сыграли разработанные советскими учеными геофизические и геохимические методы исследования. Применение этих методов и развитие теоретических исследований в области геологии позволили выяснить многие вопросы строения и развития земной коры, открыть богатейшие месторождения полезных ископаемых. К началу 40-х годов наша страна вышла на первое место в мире по разведанным запасам ряда полезных ископаемых и была обеспечена необходимым минеральным сырьем.

Война с германским фашизмом явилась тяжелым испытанием для нашей страны. В Великой Отечественной войне советского народа решался вопрос о существовании социалистического государства, о судьбах всего человечества. Решающую роль в победе над гитлеровской Германией сыграла наша страна. Победа была завоевана ценой многих миллионов жиз-

ней советских людей, героической борьбой и напряженным трудом всего советского народа, сплоченного вокруг Коммунистической партии.

Советские ученые гордятся тем вкладом, который внесла советская наука в победу над фашистскими захватчиками. Напряженной работой ученых и инженеров и самоотверженным трудом рабочих создавалось первоклассное вооружение для нашей героической армии. Новейшие достижения научно-технической мысли нашли свое отражение в совершенной авиационной технике, в грозных гвардейских минометах, в мощных взрывчатых веществах, в танковой броне, оптических приборах, технике связи, в противоминных средствах. Во время войны были открыты новые залежи железа, марганца, меди, бокситов и других полезных ископаемых в восточных районах страны. Крупнейшие советские ученые входили в состав технического совета Государственного комитета обороны. Лозунг партии «Все для фронта, все для победы!» стал тогда для ученых, как и для всего советского народа, законом жизни. На фронтах Отечественной войны и в тылу широко использовались достижения медицинской науки. Новые эффективные методы восстановительной хирургии и новые препараты, профилактика эпидемических заболеваний, исключившая вспышки опасных эпидемий на фронте и в трудных условиях тыла, спасли миллионы жизней.

Великий вклад Советского Союза в победу над фашизмом завоевал симпатию к нему многих миллионов людей во всем мире, укрепил его международный авторитет. Многие страны встали на путь социалистического развития, стала бурно нарастать волна национально-освободительного движения в колониальных и зависимых странах. Поднялся новый вал борьбы пролетариата за свои права в странах капитализма. Исход войны принес громадную идеологическую победу Советскому Союзу.

Несмотря на то, что война нанесла большой ущерб народному хозяйству, что врагом были разорены многие районы страны, восстановительные работы были проведены в короткий срок и народное хозяйство стало развиваться еще быстрее. Ликвидация последствий войны и вместе с тем ускоренное техническое развитие страны требовали громадного напряжения всех сил, активного участия ученых в наращивании темпов использования природных ресурсов, в развитии передовой индустрии. Вместе с тем именно к исходу войны стало особенно ясно, что развитие науки за предшествующие десятилетия привело к открытию новых направлений техники, которые оказывают глубочайшее влияние на общественное развитие,

материальный и духовный прогресс человечества. Это прежде всего — осознанная в результате цепи величайших открытий в физике возможность освобождения энергии атомного ядра; эти открытия укрепили надежду человечества на овладение новыми неисчерпаемыми источниками энергии в мирных целях. Это — создание первых быстродействующих электронных вычислительных машин на основе идей математической логики и достижений электроники, импульсом для которого явилась необходимость проведения сложнейших технических расчетов, прежде всего для атомной техники, авиации и ракетной техники.

Появление электронных вычислительных машин дало толчок к необычайно бурному развитию исследований управляющих процессов в природе, технике и обществе, во все новых областях человеческой деятельности; оно открыло возможность создания систем, не только реализующих функции, казавшиеся ранее привилегией человеческого интеллекта, но и позволяющих овладеть многими новыми важнейшими процессами управления. Одна из самых абстрактных областей математики — математическая логика — вместе с теорией вероятности, уже давно игравшей большую роль в развитии естествознания, явились математической основой этих новых направлений, а электроника — основой их реализации. Можно без преувеличения сказать, что появление электронных вычислительных машин наложит не меньший отпечаток на развитие производительных сил, чем это было вызвано распространением станков и машин в эпоху промышленного переворота.

Химия высокомолекулярных соединений открыла возможность громадного расширения производства изделий, которые ранее создавались только из растительного и животного сырья.

Глубокое изучение физико-химических свойств живой материи открыло новые перспективы не только для медицины, но и для расширения и улучшения пищевых ресурсов.

Овладение новыми типами излучений открыло широчайшие перспективы для научных исследований, анализа структуры и процессов в живой и неживой материи, методов измерения и контроля, создания новых технологических процессов.

В авиации появление реактивных двигателей сломало так называемый звуковой барьер и дало возможность овладеть сверхзвуковыми скоростями, а создание первых ракет открывало, тогда еще туманные, перспективы осуществления полетов в космос.

Реализация возможностей, открытых наукой, требовала громадных усилий. Многие

научно-технические программы могли быть осуществлены только при тесном взаимодействии науки и многих отраслей промышленности. Социалистическая плановая система народного хозяйства дала возможность нашей стране занять ведущее положение в ряде основных новых направлений технического прогресса. В результате укрепились многие направления науки, выросли новые отрасли промышленности, усилились органические связи науки и производства, столь необходимые в наше время. И очень важно, что этот процесс создал атмосферу лучшего понимания технических возможностей, вытекающих из достижений науки.

Создание ядерного оружия было жизненной необходимостью для обороны нашей страны и всего социалистического лагеря при той политической обстановке, которая создалась вскоре после второй мировой войны; эта задача была решена в короткие сроки. Вместе с тем с самого начала мы направили большие усилия на работы по мирному использованию ядерной энергии. В 1954 году первая в мире советская атомная электростанция дала промышленный ток.

Сейчас широко развернута работа по атомной энергетике: в стране создаются крупные атомные электростанции, разработаны новые типы реакторов, в частности реакторы-размножители, открывающие большие перспективы развития атомной энергетики. Созданием атомного ледокола «Ленин» было положено начало использованию атомной энергии на транспорте; сейчас широко развернуты работы по транспортным ядерным двигателям различного назначения. Большое внимание уделяется применению изотопов, излучений и других результатов ядерно-физических исследований в медицине, промышленности и сельском хозяйстве.

Советские ученые выдвинули исходные идеи удержания высокотемпературной плазмы и добились значительных результатов в этом направлении, связанном с труднейшей, но открывающей столь большие перспективы проблемой управляемого термоядерного синтеза.

Новые направления техники, особенно атомная, авиационная и ракетно-космическая техника, предъявляют все более высокие требования к материалам, системам управления, индикаторам и логическим элементам для них. Все расширяющиеся, почти фантастические перспективы применения электронных вычислительных машин оказывают все возрастающее влияние на развитие средств электроники.

Технический прогресс требует все большей интенсификации энергетических систем, химической технологии, процессов обработки, совер-

шения средств связи. Все это привело к громадному расширению фронта исследований по конструкционным материалам, устойчивым в различных экстремальных условиях, по электромагнитным свойствам твердых тел и газов. Открытие электронного парамагнитного резонанса стало основой новых методов исследования строения вещества, широко применяемых во всем мире.

В решение этих проблем громадный вклад внесли физическая, неорганическая и радиационная химия, физика твердого тела. То широкое развитие, которое у нас получают работы по физике твердого тела, является чрезвычайно важным, так как именно эта область является неиссякаемым источником новых возможностей совершенствования и создания новых ценнейших материалов для электроники, методов преобразования энергии, приемников излучения. Следует особо отметить вклад советских физиков в развитие теории твердого тела.

Широким фронтом ведутся работы по изучению и использованию в технике новых диапазонов электромагнитных излучений. Возникновение квантовой электроники, основы которой были заложены советскими физиками,— одно из наиболее ярких событий в физике послевоенного периода. Уже на первом этапе своего развития квантовая электроника позволила создать новые высокоэффективные средства радиотехники и расширить доступный для радиотехники диапазон волн. Особенно большие перспективы создали оптические квантовые генераторы, открывшие богатейшие возможности для научных исследований и разнообразных областей техники.

Успехи в области новых средств управления получили свое ярчайшее выражение в управлении космическими объектами на расстоянии в миллионы километров. Автоматизация процессов управления все шире и быстрее проникает у нас в самые разнообразные области человеческой деятельности.

Советская наука внесла большой вклад в развитие математической логики, в теорию автоматов и теорию информации, которые являются основой создания современных сложных систем управления. Наряду с новыми большими достижениями в теоретической математике за последние десятилетия широкое развитие получили вычислительные методы, теория процессов управления. Созданная еще в довоенные годы теория линейного программирования и разработка экономических моделей лежат в основе использования вычислительной техники в управлении экономикой.

В послевоенное время все большие темпы набирает химическая промышленность. Широкую базу для развития получила химическая

наука, которая играет огромную роль в создании основ рациональной переработки природных ресурсов, новых веществ и материалов. Советские химики активно участвовали в создании нового раздела химической науки — элементоорганической химии, позволяющей на основе вовлечения многих химических элементов получать новые разнообразные соединения и материалы. Дальнейшее развитие химической кинетики позволяет разрабатывать новые важные технологические и металлургические процессы, совершенствовать процессы горения. Новое развитие получила химия комплексных соединений, особенно в применении к экстракционному извлечению металлов из природного сырья. Исследование структуры и кинетики образования полимеров дало ключи к созданию новых ценных пластических материалов, каучуков и волокон. В последние десятилетия начала быстро развиваться химия природных соединений.

Областью революционизирующих успехов стала в последние годы биология. Раскрытие строения белков и нуклеиновых кислот, расшифровка генетического кода, выяснение молекулярных основ биологического катализа, осуществление первых химических синтезов белковых молекул и приближение к такому же синтезу нуклеиновых кислот, являющихся материальными носителями наследственности, знаменует начало новой эпохи в изучении живого мира. Прогресс молекулярной биологии открывает новые перспективы развития генетики и вирусологии, биохимии и биофизики. Тем самым расширяются возможности их практического использования в медицине и сельском хозяйстве. Сейчас в научных учреждениях Академии наук СССР, Академии медицинских наук и республиканских академий, а также в университетах создается широкая база для этих исследований и уже получен ряд важных результатов.

Поддержка нашей партией идей межпланетных перелетов, организованная еще в довоенный период в Советском Союзе работа по развитию ракетной техники и опыт, накопленный при создании реактивного вооружения для нашей армии во время войны, позволило широко развернуть работы по реализации фантастической перспективы — полетов в космос. Пути к их осуществлению открывали созданные в нашей стране теоретические основы космических полетов и новейшие достижения многих новых направлений науки и передовых отраслей промышленности.

Десять лет назад первый искусственный спутник Земли, запущенный в Советском Союзе, открыл эру проникновения в космос. С тех пор волна космических исследований нарастает из года в год. Многочисленные научные исследова-

ния на спутниках создали новые представления об околоземном пространстве и космических воздействиях на Землю, играют все большую роль в изучении Вселенной. Уже сейчас спутники позволяют решать важнейшие практические проблемы в области дальней связи, метеорологии и навигации.

Всего за одно десятилетие мы стали свидетелями новых значительных этапов в исследовании космоса, проложенных Советским Союзом. Это — исследование Луны, начиная с первого полета к ней и кончая мягкой посадкой и созданием спутников Луны, что дало возможность получить фотографии ее невидимой стороны и лунного ландшафта, а также новые сведения о строении Луны и окружающем ее пространстве. Это — полеты космических станций к планетам Венера и Марс. Это — осуществление полетов человека в космическое пространство, представляющих решающий шаг на пути осуществления межпланетных путешествий. Выход человека в открытое космическое пространство, автоматическая стыковка космических кораблей на орбите продвинули вперед проблему межпланетных перелетов.

В октябре 1967 года советская автоматическая станция «Венера-4», пройдя расстояние в 350 миллионов километров, достигла планеты Венера, совершила плавный спуск в ее атмосфере и опустилась на поверхность планеты. Станция впервые произвела научные измерения на другой планете и передала оттуда их результаты, позволила выяснить строение атмосферы Венеры, которое в течение веков оставалось тайной для человечества. Это крупнейшее научное достижение в изучении планет Солнечной системы, новый шаг к межпланетным сообщениям.

В конце октября впервые была осуществлена автоматическая стыковка на орбите советских искусственных спутников, которые затем по команде с Земли были автоматически разведены и возвращены на Землю.

Теперь уже ясно, что вскоре человек высадится на планеты Солнечной системы. Ареной его деятельности станет не только Земля, но и другие планеты, необъятные просторы космического пространства.

* *
*

Грандиозны перспективы развития, открытые наукой и требующие громадных усилий для их реализации. Никогда не ослабнет стремление человеческого разума ко все более глубокому пониманию окружающего нас мира. Для прогресса общества не менее важен вклад науки в развитие мировоззрения, чем открываемые ею источники материального прогресса. Оба

этих аспекта играют громадную роль в коммунистическом строительстве. Новые, принципиальные сдвиги в нашем понимании природы мы ищем прежде всего во все более детальном изучении структуры материи, в исследовании физико-химических и кибернетических основ жизненных явлений, в раскрытии законов макрокосмоса.

В послевоенный период большое внимание было уделено развитию этих направлений. Во всех этих исследованиях важное значение приобретает экспериментальная база. В последние годы она значительно расширилась. Созданы, например, крупные исследовательские центры по ядерной физике и физике элементарных частиц, включая международный Объединенный институт ядерных исследований. Сооружены такие новые уникальные установки, как ускоритель на встречных пучках в Новосибирске и введенный недавно в строй электронный кольцевой ускоритель в Ереване. Осуществляется запуск крупнейшего в мире Серпуховского ускорителя протонов; впервые в лабораторных условиях уже получены протоны с энергией 76 миллиардов электронвольт, то есть в 2,5 раза превосходящей достигнутую на самых крупных в настоящее время ускорителях.

Советская наука внесла большой вклад в развитие принципов ускорения частиц, в изучение ядерных реакций, в синтез новых трансурановых элементов. В исследованиях космических лучей важные результаты получены на советских высокогорных станциях и искусственных спутниках Земли.

В последние годы поразительные явления открывает изучение внутреннего строения и эволюции звезд и галактик. Особое внимание привлекают сейчас объекты совершенно новой и пока еще загадочной природы — так называемые «квazarы». Открытие «квazarов», изучение явлений типа звездного коллапса выдвигают проблемы, связанные с новыми свойствами материи и процессами ее превращения. После крупного вклада в развитие космологической проблемы на основе нестационарных решений эйнштейновских уравнений советская наука внесла в развитие этих вопросов ряд новых глубоких идей. Сюда относятся: учение о звездных ассоциациях и вывод о том, что процесс звездообразования происходит и в наше время, общепринятая теперь теория радиоизлучения остатков сверхновых и радиогалактик на основе механизма синхротронного излучения. Большое значение имеют исследования активных процессов на Солнце и роли магнитных полей в этих явлениях, а также открытие сверхкороны Солнца.

В последнее время советские радиоастрономы получили ряд интересных результатов по

планетной астрономии. В результате радиолокации планет получено более точное значение астрономической единицы — среднего расстояния между центрами Земли и Солнца. Важным результатом радиолокации, например, Венеры было определение периода и направления ее вращения вокруг собственной оси, а также свойств поверхности. Сейчас большое внимание уделяется укреплению материальной базы радиоастрономии и оптической астрономии. Сооружается, например, крупнейший в мире 6-метровый телескоп, заложены основы внеатмосферной астрономии с использованием баллонов и спутников.

Дальнейшее развитие нашей страны будет требовать все большего и большего использования природных ресурсов. Сейчас на поверхности Земли и вблизи ее осталось уже мало белых пятен. Мы все больше должны обращать свои взоры в глубинные слои Земли и в океан. Теоретическую основу этого проникновения составляют учение о строении земной коры, исследования Мирового океана. Еще многие формы животного и растительного мира остаются неизученными. Поэтому многочисленные научные школы биологов, геологов, географов, ведущие эту работу, всесторонне исследующие развитие Земли и жизни на ней с использованием новейших методов естествознания, дают ценнейший материал для познания природы, для развития страны.

Сила социалистического общества определяется не только его материальным благосостоянием, но и его духовным развитием. Поэтому все большее значение приобретает комплекс общественных наук. Величайшим достижением общественных наук является марксизм-ленинизм — научная основа теории пролетарской революции, строительства социализма и коммунизма. Марксистско-ленинское мировоззрение определяет все наши подходы к пониманию мироздания и общественных процессов. В. И. Ленин далеко продвинул марксистское учение, опираясь на анализ развития общества и новейшие открытия естествознания. Однако история не может остановиться, и революционная теория нуждается в непрерывном развитии на основе анализа новых фактов и тенденций в общественной практике и в науке.

Социализм дал людям равные права и открыл путь к уничтожению извечных противоречий между индивидуумом и обществом. Однако задачи воспитания чувства общественной ответственности, правильного понимания свободы личности требуют все более высокого развития культуры и идеологии, решения актуальных вопросов права, этики и морали, которые будут возникать все время по мере развития нашего общества.

На основе проводимых широким фронтом научных исследований в области экономики, философии, социологии, права, истории, опираясь на практический и исторический опыт развития первого в мире социалистического государства, наша партия внесла новый громадный вклад в разработку важнейших проблем революционного движения и социализма.

Эти проблемы не могли быть решены без глубокого изучения исторического развития всех народов, при этом особенно важной была и остается борьба за правильное освещение бурных событий последних 50 лет, в течение которых история подтвердила прогрессивность идей социализма.

Громадное значение для укрепления многонационального Советского государства имело изучение истории и культуры всех наций, создание письменностей и развитие языков еще недавно отсталых народов. Наши археологи сделали много замечательных открытий, среди которых такие выдающиеся, как в Хорезме и Новгороде. Изучение материальной и духовной культуры всех народов мира обогащает нас и дает ключи к развитию дружественных отношений все с большим числом стран. В разработке тех грандиозных мероприятий, которые проводила наша страна, значительную помощь оказывали экономисты; перед ними стоит задача дальнейшего исследования принципов организации экономики в эпоху строительства коммунизма, методов решения экономических задач с широким привлечением мощных средств вычислительной техники.

Необходимо постоянно повышать уровень исследовательской работы в области общественных наук на методологической основе марксизма-ленинизма, руководствуясь ленинским принципом партийности в науке, устраняя элементы субъективизма, догматизма. Это позволит в наибольшей степени использовать громадные объективные возможности, которые открывает социалистический строй. Все большее развитие общественной мысли является одним из залогов нашего движения вперед.

Октябрьская социалистическая революция — не только величайший рубеж в истории нашей страны, но и поворотный пункт во всем ходе мировой истории, положивший начало перехода от капитализма к коммунизму, первой стадией которого является социализм. Достижения Советского Союза в строительстве нового общества, в создании нового социального уклада, в борьбе за мир и справедливое решение международных вопросов все больше убеждают широкие народные массы, борющиеся за свое освобождение, в том, что единственно правиль-

ным путем к светлому будущему является путь к коммунизму.

После победы во второй мировой войне во многих странах утвердился социалистический строй. Это крупнейшее после Великого Октября историческое событие. Вызванная Октябрьской революцией усиление национально-освободительной борьбы привело к распаду колониальной системы империализма. Поддержка социалистическими странами угнетенных народов сыграла громадную роль в борьбе за их освобождение.

С каждым годом в получивших независимость бывших колониальных странах идеи социализма завоевывают все большее влияние. Октябрьская революция привела к активизации борьбы трудящихся капиталистических стран против эксплуатации и способствовала достижению социальных завоеваний в этой борьбе. Под знаменем идей Октября развивается современное международное коммунистическое движение. Наша партия неизменно отстаивает дело укрепления единства коммунистических партий на марксистско-ленинской основе.

Советский Союз вместе со всеми прогрессивными силами в мире создал реальный противовес силам реакции, сыгравший громадную роль в предотвращении новой мировой войны. Социалистическое сотрудничество стало ведущей силой в современном мире.

Октябрь оказал глубокое влияние не только на общественные процессы, но и на развитие науки и технический прогресс во всем мире. Стало уже общепринятым говорить, что мы переживаем эпоху научно-технической революции. И действительно, никогда раньше так бурно не расширялся фронт новых направлений техники, источниками которых являются самые последние научные достижения, как в наши дни. Наука играет сейчас возрастающую роль в развитии общества и, как сказано в Программе КПСС, становится все в большей мере непосредственной производительной силой.

Современный технический прогресс подготовлен всем развитием мировой науки. Великие открытия в физике, давшие новые источники энергии, способы передачи и преобразования информации, методы воздействия на материю и методы научного исследования, проникшие во все области естествознания, а также электронно-вычислительная техника, являющаяся орудием автоматизации логических функций, неизмеримо облегчающая интеллектуальный труд и творчество, больше всего повлияли на современное бурное развитие техники. Но тот лавинообразный процесс развертывания самого фронта научных исследований и реализации достижений науки, который мы наблюдаем,

в громадной степени обусловлен социальными процессами.

Технический и социальный прогресс теснейшим образом связан друг с другом. Октябрь послужил основой грандиозных социальных преобразований, в свою очередь оказавших глубокое влияние на научно-техническую революцию.

Планомерное развитие на основе науки стало одним из краеугольных камней строительства социализма. В нашу эпоху, когда колониальная система распадается, империалистические страны все в меньшей степени могут развивать свою экономику за счет угнетения отсталых народов.

Под давлением социальных перемен, происходящих в мире, капитализм теряет свои позиции в освобождающихся странах, нарастают его внутренние противоречия и обостряется борьба за рынки. Империализм ищет разрешения своих нарастающих трудностей в развязывании местных конфликтов и в создании угрозы мировой войны с использованием новейших технических достижений. Силы мира не могут не противодействовать этим агрессивным устремлениям.

Все это остро выдвинуло во всех развитых странах проблемы интенсификации использования природных ресурсов и увеличения масштабов производства.

Если в прежние времена наука и техника развивались в значительной мере обособленно и достижения науки лишь постепенно влияли на технику, то сейчас общество в значительно большей степени развивает науку направленно, с целью открыть новые источники технического прогресса. И если впервые в Советской стране возникла государственная организация науки, то теперь к этому приходят все страны — не только социалистические, но и все в большей мере капиталистические. Только это позволяет осуществлять такие грандиозные мероприятия, как овладение энергией ядра и проникновение в космос. И это обуславливает одну из характерных черт современного развития — резкое сокращение промежутка времени от зарождения научной идеи до ее технической реализации.

Будет справедливым сказать, что запуск первого искусственного спутника Земли и дальнейшие успехи нашей страны в исследовании космоса значительно усилили внимание правительств многих стран к вопросам организации науки. Хотя опора на развитие мировой науки и мобилизация усилий могут позволить выполнять отдельные сложные программы, общий высокий уровень технического прогресса возможен только на базе планомерного развития обширного фронта фундаментальных исследований, которое стало возможным благодаря

Октябрю. Это имело огромное значение для быстрого развития нашей первой социалистической страны, явилось основой того вклада, который она внесла в развитие мировой науки.

Глубоко гуманистические принципы начертаны на знамени Октября. Нет более высоких целей, чем создание коммунистического общества, избавляющего людей от социального неравенства, от всех форм угнетения и эксплуатации, от ужасов войны. Это общество утвердит на Земле мир, труд, свободу, равенство и братство всех народов. Октябрь открыл путь к такому социальному устройству, при котором будет уничтожена опасность использования достижений науки для создания средств разрушения и угнетения, а открываемые наукой величайшие силы направляются на благо человечества.

В социалистическом обществе в полной мере осуществляется гуманистическое назначение науки. Великие достижения науки утверждают идеи коммунизма, открывая широкие горизонты использования неограниченных ресурсов природы для создания материальных благ всему человечеству и закладывая основы для высокого духовного развития общества.

Физика открывает новые неограниченные возможности развития энергетики путем овладения энергией атомного ядра и солнечной энергией.

Глубокие процессы переработки, основанные на достижениях физики и химии, дают возможность вовлечь новые громадные ресурсы в производство продуктов и предметов потребления, угроза дефицита которых, казалось, создается ростом населения Земного шара.

Наука открывает пути решения пищевой проблемы, в частности проблемы белка, не только на основе интенсификации сельскохозяйственного производства, но и на пути глубокой переработки новых видов сырья.

Новые пути развития биологии обещают революционные сдвиги в управлении жизненными процессами растений и животных, в борьбе с болезнями.

Громадные возможности открывает проникновение в глубь Земли и овладение богатствами Мирового океана.

Стремительное развитие средств связи и транспорта сближает народы, быстро расширяет экономические и культурные связи.

Открытие пути в космическое пространство еще больше расширит возможности развития человечества, и, как бы ни были велики перспективы, уже намеченные наукой, дальнейшее проникновение в тайны природы принесет

новые возможности, превосходящие самые фантастические надежды.

Общественные науки, создавшие учение о социалистическом и коммунистическом обществе, открывают пути ускорения этого исторического процесса.

Наука — это международное дело, поэтому мы постоянно укрепляем связи со всем фронтом мировой науки. Ученые Советского Союза чувствуют большую ответственность за то, что они делают для коммунистического строительства, и за тот вклад, который наша первая в

мире социалистическая страна вносит в мировую науку.

Октябрьская революция и грандиозные успехи социализма на нашей планете за истекшие полвека, ознаменовавшие новую эпоху в истории человечества, явились вместе с тем величайшим торжеством науки, претворением в жизнь всемирно-исторического открытия, сделанного Марксом, Энгельсом и Лениным. Революционное марксистско-ленинское учение, творчески развиваемое нашей партией, освещает нам путь к грядущей победе коммунизма.



ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ ФЕДОСЕЕВ (р. 1908) — философ, академик, член Президиума АН СССР, доктор философских наук, почетный член Академии наук Венгерской Народной Республики.

В 1930 окончил Горьковский педагогический институт и работал преподавателем философии в высших учебных заведениях, а с 1936 — в Институте философии АН СССР. В 1941—1955 работал в аппарате Центрального Комитета КПСС, главным редактором журналов «Большевик», «Партийная жизнь», заведовал кафедрой диалектического материализма Академии общественных наук при ЦК КПСС. С 1955 работал директором Института философии Академии наук СССР, с 1959 — академиком-секретарем Отделения экономических, философских и правовых наук АН СССР. С 1962 по 1967 — вице-президент Академии наук СССР. С 1967 — директор Института марксизма-ленинизма при ЦК КПСС.

Избран членом ЦК КПСС на XXII и XXIII съездах КПСС, депутатом Верховного Совета СССР в 1962 и 1966. Член Парламентской группы СССР, председатель Правления Общества советско-венгерской дружбы.

П. Н. Федосеев — видный советский ученый, автор многих трудов по проблемам философии и социологии. Большой вклад внесен П. Н. Федосеевым в разработку проблем исторического материализма, в его трудах дан анализ диалектики современного общественного развития, материальных условий жизни общества, взаимодействия производительных сил и производственных отношений общества, роли народных масс и личности в истории, проблем гуманизма. Ряд работ П. Н. Федосеева посвящен анализу философских проблем науки. В последние годы вышли книги П. Н. Федосеева «Коммунизм и философия», «Диалектика современной эпохи», он принимал активное участие в создании таких обобщающих работ, как «Основы марксистской философии», «Человек и эпоха», «Основы научного коммунизма», «Октябрь и научный прогресс».

ПЕТР НИКОЛАЕВИЧ ФЕДОСЕЕВ

ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА

В наше время, когда происходят коренные социальные изменения в мире, а углубление революции в естествознании выдвигает фундаментальные методологические проблемы, неизмеримо возрастает роль и значение философии и всех общественных наук. Все настоятельнее выдвигается задача теоретического осмысления новых исторических процессов, творческая разработка мировоззренческих вопросов и социальных проблем, возникающих в связи с развитием общественных отношений и всех отраслей современного знания.

Значение марксистского обществоведения состоит не в том, что оно ныне констатирует бурные социальные изменения нашего века. При-

знание динамизма XX в. — это не монополия марксистов. В той или иной форме его признают и на свой лад толкуют и противники марксизма. Нужно быть слепым, чтобы не видеть, как преобразили мир социальные революции, возникновение мировой социалистической системы, крушение колониализма. Нельзя не видеть преобразующего воздействия современной научно-технической революции, влияние которой сказывается не только в бурном развитии техники, но и имеет серьезные социальные последствия.

Сила марксистского обществоведения состоит в том, что, опираясь на анализ объективных законов истории, оно предвидит в существенных, коренных чертах социальные изменения и

дает ключ к определению перспектив развития. Если кратко выразить то новое, что внесло в обществоведение применение марксизма к жизни, к оценке социального развития, то это — диалектико-материалистический метод или, иными словами, — научный исторический подход. Марксизм обязывает исследователя подходить к социальным явлениям исторически, изучать их как бы в трех измерениях времени, учитывая прошлое, правдиво отражая настоящее и выявляя тенденции будущего развития. В марксизме настоящее, прошлое и будущее органически соединены, а не просто механически скоординированы.

Соединять историю с настоящим можно и субъективистски, считая историю политикой, опрокинутой в прошлое. Марксизм отвергает такой субъективизм. История для него выступает как закономерный объективный процесс и накопленный человечеством опыт, содержащий богатейшие уроки для понимания настоящего и будущего. Главное для исторического подхода — видеть качественные изменения, вскрывать объективные тенденции этих качественных изменений и предвидеть их будущее.

Попытки заглянуть в будущее предпринимают и буржуазные социологи, но это чисто количественные экстраполяции. Буржуазной социологии не дано предвидеть коренные качественные сдвиги в истории, крутые социальные повороты, глубокие революционные преобразования.

В наше время в среде буржуазных социологов в ходу мелкие придирки к учению Маркса: он-де не смог точно определить страну, в которой первой произойдет социалистическая революция, не смог назвать точных сроков начала этой революции. Но кто из буржуазных ученых может быть поставлен рядом с Марксом — кто из них признавал и допускал в его время необходимость и закономерность социальной революции? Классики буржуазной политической экономии, вскрывшие некоторые объективные законы капитализма, без тени сомнения верили в незыблемость и вечность его основ. Маркс открыл основные тенденции социального развития — от капитализма к социализму через революционное низвержение буржуазного общества, и его открытия полностью подтвердились историческим развитием.

Буржуазные критики марксизма и В. И. Ленин пытаются ставить в вину, что он не смог установить точного расписания развертывания мировой революции по срокам и отдельным странам. Но кто из буржуазных теоретиков или теоретиков II Интернационала так верно, как В. И. Ленин, определил существо новой эпохи и главные тенденции развития? Можно только удивляться тому, насколько гениально предугадал он развитие мирового революционного процесса, возможность победы социалистической революции первоначально в одной стране, рас-

крыл предпосылки революции в России, обосновал основные ее этапы.

Выражением глубокого научного предвидения явились программы и программные документы нашей партии и коммунистического движения, в которых отображены перспективы общественного развития на разных исторических этапах. Советская страна является первой страной планирования народного хозяйства и социальных процессов на основе учета объективных экономических законов социализма. Ленинский план ГОЭЛРО и знаменитые советские пятилетки вошли в историю и в сознание людей во всем мире как выдающиеся вехи не только в экономическом развитии нашей страны, но и в становлении новой общественно-экономической формации с планомерно организованным хозяйством.

Сейчас многие из буржуазных социологов занимаются вопросами прогностики и футурологии*. Но буржуазная футурология может давать лишь количественные расчеты, касающиеся численности населения, роста городов, развития коммунального обслуживания, транспорта и т. п. Конечно, нельзя отрицать практической полезности таких расчетов. Но их наличие еще не создает социальной теории. Там, где буржуазные прогнозы не идут дальше количественных предположений, марксистская теория улавливает тенденции и направления качественных социальных изменений. Без этого расчеты не могут быть надежными, ибо каждой общественной формации присущи свои законы роста населения, производства и потребления и т. п.

Преимуществом марксистского обществоведения всегда было научное понимание диалектической взаимосвязи количественных и качественных изменений. Сейчас марксистский анализ все более опирается на точный количественный расчет, общественные науки все шире начинают применять количественные, математические методы.

Наше время — переходная эпоха. Это эпоха перехода человечества от более низкой ступени социального развития — капитализма к более высокой ступени — социализму и коммунизму. Динамизму нашего века должна соответствовать и динамичная социальная наука. Марксизм-ле-

* В ФРГ социал-демократическая и христианско-демократическая партии разработали документы, намечающие перспективы развития этой страны до 1975 г. Это фолианты, в которых рассматриваются перспективы решения большого круга вопросов — городского строительства, торговли, быта, обслуживания и т. д. Во Франции правительством создан специальный комитет под названием «1985». Имеются публикации под таким же названием. В Соединенных Штатах уже вышло несколько аналогичных изданий: «Наш мир в 1985 году», «Куда идет Америка», «Ресурсы будущего» (Соединенные Штаты в 2000 году). За последнее время появились несколько специальных журналов по этим вопросам («Футурология», «Перспективы» и др.).

низм, революционная диалектика обладают такими динамичными качествами. Только они способны охватить крутые, качественные повороты истории.

Мы знаем, что объективные законы общественного развития, законы социальных изменений работают на коммунизм. Такова природа социального развития современности. Но было бы неправильно рассчитывать на автоматизм действия законов и не замечать того, что развитие происходит в ожесточенной борьбе социализма и капитализма на мировой арене, что наряду с основной тенденцией есть определенные отклонения в функционировании законов, есть определенные деформации в развитии, которые искривляют, делают зигзагообразной линию исторического движения.

Социальному творчеству человеческой истории соответствует творческий характер марксистского обществоведения. Это как раз и доказывает, что марксисты в противовес буржуазным идеологам справились с решением тех проблем, которые поставлены развитием науки и общественной жизни. Это — главный критерий творческого характера теории. Та философия, которая правильно трактует данные современного естествознания и опыт современной общественной жизни, та теория, которая может объяснить всемирный исторический переворот, и есть живая и творческая теория. И, наоборот, те теории, которые хоть и разукрашены всякими нарядными ярлыками и изобилуют звонкими фразами, но не справляются с потоком новых данных науки и не могут объяснить те процессы, которые происходят в общественной жизни, указать их реальную перспективу, — эти теории не носят ни научного, ни творческого характера, как бы их ни превозносили. Мы можем сказать, что марксистско-ленинская теория — это единственная социальная теория, которая смогла правильно истолковать и обобщить успехи современной науки, понять ход и достижения научно-технической революции и объяснить движущие силы, характер и направление тех великих революционных преобразований, которые происходят в обществе, на арене мировой истории.

Никто не укажет на другую философскую систему, которая решила бы новые проблемы, поставленные развитием науки. Взять, например, логический позитивизм. Много о нем шумели, много он обещал и сделано немало было деклараций его сторонниками. Нельзя, конечно, отрицать, что ряд интересных проблем был связан с логическим позитивизмом. Но разве он смог ответить на те вопросы, которые поставило естествознание? Разве он мог повести за собой ученых? Нет. Наступило отрезвление, появились сомнения даже у самых логических позитивистов, а ученые-естественники, которые

когда-то прислушивались к ним, разочаровались в этом модном учении.

В нашу эпоху исключительно возросла роль науки в решении грандиозных технических и экономических задач, ибо наука все больше становится непосредственной производительной силой. Общественные науки выступают как научная основа руководства развитием общества, управления хозяйственным и культурным строительством. В то же время прогресс науки все успешнее утверждает основы научного, диалектико-материалистического миропонимания.

Достижения общественных наук являются одним из могучих источников развития современного научного мировоззрения. Раскрытие закономерностей во всех сферах социальной жизни на всех ступенях истории человечества обогащает научный метод познания, способствует его всестороннему развитию.

С возникновением диалектического материализма впервые в истории сложилось такое положение, когда имеется и развивается общий научный метод, охватывающий как природу, так и общество, а также и человеческое познание, мышление.

На опыте современной эпохи наука все глубже раскрывает диалектику исторических процессов. В наше время особенно наглядно видно, что развитие человеческого общества идет через противоречия, путем преодоления трудностей и препятствий, через ожесточенную борьбу классов в мировом масштабе, которая в конечном счете ведет к победе нового, прогрессивного над старым, отживающим строем.

Новая эпоха — эпоха социализма — выдвигает совершенно новые проблемы, с которыми ранее не сталкивалось человечество. Возникла новая система хозяйства — без частной собственности, без эксплуатации. Марксизм-ленинизм смело берется за решение новых экономических проблем, развивая на опыте социалистического строительства политическую экономию социализма. Большое значение имеет также анализ нового этапа общего кризиса капитализма, дальнейшего обострения его экономических и политических противоречий.

Фактически марксистам всю историю пришлось переосмысливать заново, чтобы дать научное освещение исторического развития политической, экономической и духовной жизни общества. Теперь исследованы основные этапы и важнейшие события всемирной истории с позиций марксизма-ленинизма, дан научный анализ закономерностей и движущих сил социального прогресса, освободительной борьбы трудящихся против классового и национально-колониального гнета.

Советскими учеными созданы фундаментальные коллективные труды по вопросам экономического, социально-политического и культурного развития человечества. Среди них можно

42 назвать десятитомную «Всемирную историю», шеститомную «Историю философии», серию трудов под общим названием «Социализм и коммунизм», большой цикл монографий «Народы мира» и ряд других крупных изданий. Много усилий приложено советскими историками при подготовке наиболее полного издания по отечественной истории с древнейших времен до наших дней. Большую плодотворную работу провели ученые по материалистическому истолкованию новейших данных естествознания и достижений научно-технической революции, по исследованию вопросов теории и логики научного познания.

50 лет Советской власти — это применение на практике разработанной Лениным программы построения наиболее справедливого общества, это дальнейшее творческое развитие марксизма-ленинизма.

Решающие преимущества социализма в развитии материальных и духовных сил общества наглядно раскрыты в Тезисах ЦК КПСС «50 лет Великой Октябрьской социалистической революции». В этом важнейшем политическом документе нашей партии подчеркивается, что славный путь советского народа за истекшие полвека, путь борьбы за коммунизм, соединил воедино наше прошлое, настоящее и будущее. Великий Октябрь 1917 года открыл новую эпоху всеобщего революционного обновления мира.

Исторический опыт — неумолимый судья противоборствующих социальных концепций. Проверенные, подтвержденные историческим опытом идеи социального развития являются верным компасом, направляющим человечество по правильному пути среди современных социальных бурь.

* *
*

Характерной чертой современной эпохи является бурный научно-технический прогресс, углубление революции в естествознании. Возрастание влияния науки на все сферы социальной жизни — неоспоримый факт. И если в центре противоречивого процесса современного социального развития стоит борьба социализма и капитализма, то все явственнее преимущества социализма сказываются в больших возможностях использования научно-технического прогресса, в развитии науки во имя мира, улучшения жизни самых широких масс. Кроме того, сфера действия науки при социализме шире, чем при капитализме, потому что здесь впервые в истории управление общественными делами, планомерное развитие производства происходит на научной основе.

Чтобы понять сдвиги в научно-техническом прогрессе, надо осмыслить его не только со стороны естественных и технических наук, но также и со стороны экономической, социальной. Этим в частности диктуется необходимость

союза естествознания и общественных наук.

Научно-техническая революция для развития общественных наук означает проникновение в области исторического, экономического и других социальных исследований новых, более точных приемов, широкое использование математических методов, принципов кибернетики. Все усиливающаяся сейчас тенденция распространения приемов и принципов кибернетики на область других научных дисциплин обладает несомненной перспективностью. Конечно, при этом не следует впадать в крайности. Нет оснований полагать, что кибернетика может явиться «наукой всех наук», способной разрешить все их проблемы и трудности. Тем более нельзя считать кибернетику каким-то новым, особым мировоззрением наряду с диалектическим материализмом.

Кибернетика — это важнейшая характерная черта современной эпохи в истории научно-технического прогресса. Она вносит принципиальные изменения в характер труда, в методы производства и управления. Особенность нашей эпохи состоит в том, что если в прошлом машина заменяла мускульную силу человека и облегчала физический труд, то кибернетические устройства могут выполнять сложные и утомительные логические операции, облегчать умственный труд и повышать его производительность.

Современная научно-техническая революция выдвигает перед обществоведами ряд новых задач, связанных с применением математики, с повышением внимания к истории естествознания и техники, логике научного познания, изучению общих закономерностей развития науки, вопросам психологии научного творчества, теоретическим основам организации научной деятельности.

У нас считается общепризнанным положение, что наука все более становится непосредственной производительной силой. Но что это значит? Какие принципиальные изменения произошли в связи с научно-технической революцией?

Во-первых, сейчас многие новые виды производства и технологические процессы первоначально зарождаются в недрах науки, в исследовательских лабораториях. Это прежде всего такие производства, как атомная энергетика, радиотехника, электроника. На основе широкого использования полупроводников и вакуумной техники изменился облик радиоэлектронной промышленности. Современная электроника все больше проникает в народное хозяйство и в быт. Особенно наглядно тенденция указанной выше связи производства и науки проявляется в химии. Химическая наука подготовила основы для химизации сельского хозяйства и промышленности. Современная промышленность высокомолекулярных соединений не только зародилась в химических лабораториях,

но и поныне расширяется с их помощью, в частности ставит перед наукой вопрос о создании веществ с заранее заданными свойствами. При этом с помощью методов квантовой химии, применяя быстродействующие электронно-вычислительные машины, можно рассчитывать структуру веществ, отсутствующих в природе. На основе науки появляются новые высокопроизводительные технологические процессы, новые методы получения и преобразования энергии.

Во-вторых, ускоряется применение достижений науки в производстве, сокращаются сроки между научным открытием и их производственным освоением. Если со времени открытия электричества до применения его в различных областях производства минуло несколько десятилетий, то от появления атомной энергии до первой советской атомной электростанции прошло всего несколько лет. Промышленное изготовление и применение полупроводников стало возможным вскоре после их открытия. В короткий срок после запуска первого искусственного спутника Земли практически открылись невиданные ранее возможности в области связи и телевидения. Без этого коренного условия, без своевременного применения научных достижений в практике наука не может выполнять роль ускорителя и двигателя производства.

В-третьих, превращение науки в мощный фактор роста производительных сил связано с громадным развитием ее материально-технической базы. Современная наука требует все более мощных экспериментальных средств. Создается целая «индустрия науки», включая гигантские научно-технические сооружения и сложнейшие установки и приборы. Наука опирается ныне не только на деятельность отдельных ученых, но на кооперацию многих лабораторий и институтов.

В-четвертых, наука быстро развивается в самом производстве, растет сеть научных лабораторий и институтов в промышленности и сельском хозяйстве. Во всех отраслях народного хозяйства неуклонно повышается удельный вес работников науки, специалистов производства. Наука у нас все более становится достоянием человека труда — этой главной производительной силы общества.

Благодаря сближению науки и производства ускоряется в целом научно-технический прогресс. Наука не только создает новые технологические процессы, но и повышает эффективность всех средств производства. Наука расширяет возможности совершенствования общественной комбинации производственных процессов (специализация, концентрация, комбинирование, кооперирование).

Развертывающаяся научно-техническая революция влечет за собой серьезные социальные сдвиги как в городе, так и в деревне. Социаль-

ные последствия ее при капитализме — это прежде всего проблемы безработицы. Социализм же дает возможность планомерной подготовки и переподготовки работников в условиях высвобождения части работающих в результате развития техники. Меняется соотношение между группами людей, занятых в сфере физического и умственного труда. Происходит передвижение работников от непосредственного процесса производства в конструкторские бюро, исследовательские лаборатории и научные институты. Это весьма перспективный путь, открывающий небывалые возможности для прогресса человеческой личности.

Научное управление общественными процессами, искоренение субъективизма предполагает не только знание законов, но и умение ими пользоваться. Поэтому большую важность приобретают экономический, социологический анализ явлений, изучение условий наилучшего использования достижений научно-технической революции.

Лучше применять достижения научно-технической революции — таков главный вопрос в нашем соревновании с капитализмом. Анализ влияния научно-технической революции на экономику, духовную жизнь, анализ всех условий и фактов стимулирования научно-технического прогресса — узловой момент в научной работе экономистов и социологов.

В условиях современной научно-технической революции по мере возрастания роли естествознания в прогрессе производства, по мере все большего разветвления и переплетения наук, необычно быстрого накопления научной информации неуклонно усиливается потребность в философском обобщении и истолковании новых научных данных, а соответственно и интерес к методологическим проблемам.

Нынешняя революция в естествознании — это продолжение той революции, которая началась в первые годы XX в. Результаты начального этапа революции были обобщены Лениным, и оказалось, что эти принципиальные ленинские обобщения имеют и сейчас руководящее значение для методологии науки. То, что было применимо преимущественно к физике, распространилось теперь на все области знаний, подвергшихся научной революции. И философия, конечно, должна учитывать в своих категориях все это неуклонно увеличивающееся богатство содержания современной науки. Влиять на развитие науки философия может, лишь совершенствуясь применительно к требованиям бурно прогрессирующего естествознания наших дней.

Мы были бы закоренелыми догматиками, если бы не видели относительности отдельных конкретных положений нашей философии и необходимости их пересмотра, развития или уточнения. Но мы впали бы в релятивизм и в конечном счете в идеализм, если бы допустили, что раз-

44 витие философии предполагает отрицание ее основ, незыблемых принципов.

Известно положение Энгельса (которое разъяснял и развивал Ленин) о том, что с каждым крупным открытием в области естествознания, не говоря уже об общественной жизни, материализм должен принимать новую форму или изменять свою форму. Но при этом и Энгельс, и Ленин имели в виду, конечно, не вообще крупные открытия, которые делаются каждый год. Речь идет об открытиях, составляющих эпоху в науке. Именно эти эпохальные открытия должны быть учтены с тем, чтобы материализм изменил свою форму.

Научный пересмотр формы материализма предполагает не только сохранение, но и укрепление его содержания, недопустимость какого бы то ни было сползания к идеализму. Как образно показал Ленин, всякого рода попытки такого сползания губительны для нашей научной марксистской идеологии, вылитой из одного куска стали.

Взаимоотношения науки и общества имеют два аспекта, неразрывно между собою связанные: с одной стороны, наука и производство и, с другой — наука и идеология, охватывающая широкий круг мировоззренческих проблем.

Нет такой научной деятельности, которая прямо или косвенно не была бы связана с идеологией. Область науки, так же как и всякая другая область общественной жизни, общественного сознания, является ныне ареной острых идеологических битв.

Если фактические результаты научного эксперимента и естественнонаучные закономерности выражают объективную истину и не зависят от сознания людей, классов, то их философское осмысление и интерпретация — дело сугубо партийное, классовое. Философская проблематика развития науки — объект ожесточенной идеологической борьбы. Мировоззренческие вопросы неразрывно связаны с интересами определенных классов.

Наука не может быть нейтральной в борьбе материализма против идеализма, разума против мистики. Весь опыт развития естествознания учит, что достижения науки подтверждают мировую материалистическую традицию и опровергают идеализм, показывают порочность позитивистской теории «философской нейтральности» науки.

Сейчас, когда империализм обращает достижения человеческого разума против самого человечества, стремится использовать результаты научных открытий в человеконенавистнических целях, когда активизируются теолого-идеалистические фальсификаторы новейших достижений естествознания, особенно наглядно выступает враждебность современной реакционной философии развитию естественнонаучного познания.

Мы, конечно, не должны упускать из виду всей сложности и диалектически противоречивого характера отношения фактов, естественнонаучных теорий и идеологии в науке. Даже когда ученый в условиях буржуазного мира с его господством реакционной идеологии исповедует идеалистические философские воззрения, то в своих специальных естественнонаучных работах он фактически исходит из принципов стихийного материализма и диалектики.

Критикуя мировоззренческие заблуждения в науке, мы проводим различие между философскими идеями, сопутствующими той или иной научной теории, и ее реальным содержанием. Недопустим нигилистический подход к новым научным теориям только на том основании, что в условиях капитализма они получают порочную философскую интерпретацию. Против подобной интерпретации мы ведем решительную борьбу с позиций материализма, именно ради прогресса науки, ради того, чтобы ее достижения служили интересам всего человечества.

* *
*

В освещении современной эпохи на первый план выдвигается анализ главных движущих сил и основных тенденций общественного развития, противоречий и трудностей этого развития.

В основе противоречивого процесса современного социального развития продолжают действовать определяющие закономерности нашего времени, которые характеризуются неуклонным изменением соотношения сил на мировой арене в пользу социализма. За последние годы во всех решающих сферах общественного прогресса происходило укрепление и развитие социализма.

Изменение соотношения сил в экономике сопровождается и политической перегруппировкой на мировой арене. За последние годы значительно активизировалось рабочее движение. Дело не только в том, что возросло количество стачек, забастовок, и не только в том, что они приобрели широкий размах, охватывая сотни тысяч и миллионы рабочих и служащих. Дело в том, что они все более приобретают характер политических выступлений против могущества монополий, что усиливает общий антимонополистический фронт, который складывается и укрепляется под руководством рабочего класса. Все больше и больше происходит изоляция реакционных сил монополистического капитала.

Говоря о внутренних противоречиях капитализма, нельзя пройти мимо того обстоятельства, что за последние годы все сильнее возрастает возмущение и протест среди широких масс против агрессивной реакционной политики империализма, который идет на кровавые авантюры и угрожает развязать третью мировую войну.

Глубокие процессы происходят сейчас в национально-освободительном движении, которое во всемирно-историческом масштабе имеет громадные успехи. Но оно в то же время сталкивается в ряде стран с большими трудностями и противоречиями как внешними, так и внутренними. В молодых национальных государствах обостряется борьба по вопросу о путях дальнейшего развития. После достижения национальной независимости развертывается борьба на социальном фронте. Революционно-демократические силы народа ведут борьбу за социальный прогресс, за осуществление объективно складывающейся возможности некапиталистического развития.

Характерной чертой мирового социального развития последних лет является обострение противоречий между империалистическими державами. Если до поры до времени империалистические военно-политические блоки скрывали эти противоречия и скрепляли империалистическую машину, то за последние годы видно явное расшатывание этих блоков. Процесс неравномерности экономического развития обуславливает обострение противоречий в мировой системе капитализма.

Исследуя главные закономерности нашего времени, мы ни на минуту не можем упускать основной движущей силы современности — борьбу двух мировых систем, капитализма и социализма.

Американские империалисты и их партнеры добиваются сохранения социального и колониального «статус-кво». Тем самым «обосновывается» их преступная борьба против национально-освободительных движений и революционных выступлений рабочего класса и подыскивается «законное основание» для подавления империалистами с помощью вооруженных сил и других средств национально-освободительного движения и социальных революций. Есть и такие горячие головы, которые не перестают помышлять о реставрации капитализма в тех или иных странах социализма.

Современный мир быстро изменяется на основе революционных преобразований. Наша эпоха справедливо характеризуется как эпоха перехода от капитализма к социализму, эпоха социалистических и национально-освободительных революций. О каком же социальном «статус-кво» может идти речь? Это позиция открытых противников социального прогресса, врагов национального освобождения.

Развитие мировой социалистической системы так же, как и всех процессов в мире, происходит диалектически. Это значит, что и мировая социалистическая система имеет свои противоречия в развитии.

В чем причины этих противоречий? Во-первых, страны социализма находятся на разных уровнях экономического развития, которые уна-

следованы исторически и которые нельзя выравнивать за один год и даже в течение нескольких лет. Далее, страны, идущие по пути социализма, имеют разную социальную структуру, разный классовый состав населения. Если в Советском Союзе эксплуататорские классы давно ликвидированы, если в ряде других стран этот процесс завершен или завершается, то в отдельных странах эту задачу еще предстоит решать. И если эксплуататорские элементы — помещики, капиталисты, кулаки, торговцы — остались в том или другом качестве работать на государственных или кооперативных предприятиях, то это не значит, что они уже стали сторонниками социализма. Эти элементы оказывают влияние не только на классовую структуру общества, но и на политику, и на идеологию и т. д. Эти элементы, в частности, являются благоприятной питательной почвой для буржуазной идеологии национализма, шовинизма, для мелкобуржуазного авантюризма.

Раскольническая деятельность нынешней руководящей группировки Китая в мировом коммунистическом движении, враждебное отношение к социалистическим странам, ее антисоветизм связаны с великодержавным шовинизмом и гегемонизмом и не имеют никакого отношения к природе социалистического строя.

Как указано в Тезисах ЦК КПСС «50 лет Великой Октябрьской социалистической революции», положение, сложившееся в Китае, свидетельствует о том, что отступления от марксизма-ленинизма, от пролетарского интернационализма влекут за собой тяжелые последствия для дела социализма, для подлинных национальных интересов народов.

Важно подчеркнуть как главную особенность развития мировой социалистической системы, что возникающие в ней трудности и противоречия носят совсем иной характер, чем в мировой капиталистической системе.

Противоречия в мировой капиталистической системе носят антагонистический характер, они не могут быть разрешены на почве капитализма, то есть на его собственной основе. Что же касается противоречий в мировой социалистической системе, то они могут быть разрешены и разрешаются на базе социализма — на его собственной основе.

Для социализма преодоление возникающих противоречий означает не уничтожение его основ, а, наоборот, их укрепление. Это главная диалектическая закономерность социалистической системы, ведущая к упрочению ее единства и могущества.

Таким образом, вопросы диалектики современного мирового развития представляют собой большой комплекс теоретических проблем.

Важнейшее направление научных работ советских ученых-обществоведов — это исследо-

вания проблем коммунистического строительства: познание исторического опыта строительства нового общества, экономических законов его развития, процессов культурной революции, как и всех других существенных социальных изменений. При этом следует подчеркнуть взаимосвязь всех сторон жизни — экономической, политической, социальной и духовной в движении нашего общества к коммунизму. Проведение комплексных исследований не сводится к организационному вопросу, ради координации. Научный анализ процессов общественной жизни должен основываться на синтезе знаний, которые дает совместная работа ученых различных отраслей. Образцом в этом отношении является «Капитал» Маркса, представляющий собой глубокий научный анализ всех сторон жизни общества со всеми ее проявлениями от базиса до надстройки.

Большое принципиальное значение имеют теоретические вопросы, связанные с анализом перспектив нашего общественного развития, формирования коммунистических общественных отношений. В СССР происходит дальнейшее изменение социальной структуры общества и при этом в результате индустриального развития возрастает удельный вес рабочего класса, что означает повышение его роли в нашем обществе.

Что мы имеем в виду под движением общества к социальной однородности? Как понимать приближение общества к бесклассовой структуре? Иногда в этом вопросе допускались упрощения. Представлялось дело таким образом, что происходит перемешивание социальных слоев, а отсюда и стирание социальных граней. На самом деле движение к социальной однородности общества вовсе не означает растворение рабочего класса в других слоях населения, в результате чего получается некая усредненная социальная масса. Движение к социальной однородности означает, с точки зрения марксизма-ленинизма, такое изменение экономических, социальных и политических условий, когда все трудящиеся слои населения поднимаются до уровня коммунистической сознательности, историческим носителем которой является рабочий класс как главная движущая сила коммунистического преобразования общества. Руководящая роль рабочего класса в коммунистическом строительстве сохраняется и в период развернутого строительства коммунизма. Путь к социальной однородности — укрепление социально-политического и идейного единства общества, укрепление союза рабочего класса и колхозного крестьянства, их дружества с интеллигенцией. На этом пути необходимо решать проблему повышения уровня сельскохозяйственного производства до уровня индустриального производства, проблему сближения уровня жизни, условий труда и быта тружеников деревни с город-

скими условиями. На этой почве решается и будет решаться и проблема устранения существенных различий между городом и деревней, между умственным и физическим трудом, а также проблема стирания классовых различий.

В качестве важной задачи встает перед общественными науками разработка вопроса о национальных отношениях в нашу эпоху, об основах сближения наций и развитии интернациональной общности.

Вопрос о национальных отношениях имеет большое международное значение. Проблема сочетания национального и интернационального, как показывает жизнь, важна для мирового коммунистического движения, для взаимоотношений между социалистическими странами.

Во всем мире, да и при социализме, национальный вопрос, проблемы национальных отношений составляют существенную сторону социального развития. Дело в том, что в современном мировом развитии очень большой удельный вес имеет национально-освободительное движение, его противоречия и трудности, его борьба против империализма, особенно имея в виду соотношение сил на мировой арене в борьбе двух систем — социализма и капитализма. Этот вопрос имеет важное значение и с точки зрения отношений между социалистическими странами.

Вопросы межгосударственных отношений, которые, конечно, также связаны с международными, национальными отношениями, не так просты, как иногда казалось, и ученые должны внести свой вклад в их разработку.

В этой связи, а также с точки зрения задач строительства коммунизма приобретает громадное значение исследование опыта нашей страны в разрешении национального вопроса, а также имевшихся трудностей и противоречий, которые преодолевались в ходе этого развития.

Очень большим вопросом, поставленным перед общественными науками, и в особенности перед экономической наукой, является вопрос о научном планировании и управлении. Это требует установления правильных пропорций между различными отраслями хозяйства, наиболее выгодных и эффективных направлений капиталовложений, рационального размещения производительных сил, полного и производительного использования трудовых ресурсов, слаженной оперативной работы всех органов управления. Научное планирование и управление должно быть основано на строгих экономических расчетах с применением современной вычислительной техники.

Все большую роль играют конкретные социальные исследования в области экономических и политических отношений, а также в развитии духовной жизни общества. Для нас социология — это не есть особая наука, отделенная от составных частей марксизма-ленинизма — от

философии, политэкономии и научного коммунизма. Теоретическое содержание социологии — исторический материализм, а конкретные социологические исследования — применение исторического материализма к анализу жизни, различных ее сторон.

Марксистская социология, развиваясь за счет исследования новых явлений общественной жизни, не меняет своей основной общетеоретической проблематики, а наполняет ее новым содержанием. В число коренных проблем социологического анализа сегодня, как и раньше, входят общественное бытие и сознание людей, классовая структура и ее изменения, влияние научно-технической революции на социальные отношения, национальные отношения и их развитие, город и деревня (социальные аспекты развития двух форм собственности, преодоление культурно-бытовых различий и т. п.), умственный и физический труд (в связи с научной организацией труда, бурным техническим прогрессом) и другие проблемы.

Значение конкретных социальных исследований, ведущихся на незыблемой основе диалектического и исторического материализма, заключается в том, что они не только позволяют по-новому, с точки зрения общественной практики, подойти к решению многих традиционных проблем марксистско-ленинской социологии, но и поставить ряд новых проблем.

Во-первых, это конкретные вопросы, возникающие на стыке исторического материализма и других общественных наук. Сюда относятся комплексные социально-психологические, социально-демографические, социально-экономические, социально-правовые проблемы. Во-вторых, это ряд проблем социальных отношений в промышленности и сельском хозяйстве, политической организации общества и социального управления, а также трудовых, бытовых и семейных отношений. Наконец, это изучение опыта идеологической деятельности, социальных проблем молодежи и т. п.

Перспективным для социологов является сосредоточение внимания на такой проблеме — «Социализм и развитие форм общественной жизни во всех ее проявлениях». Анализ всех сторон общественной жизни, обобщение различных ее форм при социализме — это очень важная и интересная работа.

* *
*

Как бы ни были различны исследования, проводимые в тех или иных областях общественных наук — будь то закономерности научно-технической революции или закономерности социальных изменений, — в центре этих исследований проблема человека, проблема обеспечения прогресса человечества и каждой личности.

Буржуазная идеология всячески избегает конкретно-исторической постановки проблемы человека.

Буржуазные социологи привыкли говорить о свободе личности, о том, будто свобода личности существует в буржуазных странах, а при социализме ее нет, что марксизм якобы не способен решить проблему человека. Но именно марксизм раскрыл коренное различие между иллюзорной и реальной свободой личности, а социализм показал, как действительно можно решать проблемы человека и человечества.

Понятие «человек» представляет собой продукт длительного развития социальной жизни. Социальная же область, и ее отражение — социальная теория, всегда служила ареной ожесточенной борьбы интересов. Может быть, поэтому история является свидетельницей самых нелепых теоретических извращений и искажений понятия человеческой сущности, природы человека, его прав и обязанностей.

В процессе своего развития человечество выработало немало благородных духовных, моральных ценностей, но социальные условия, бесчеловечные в своей основе, мешали их осуществлению. Вот почему центральный вопрос реального гуманизма — как обеспечить все условия для осуществления принципов человечности.

Буржуазные теоретики нередко толкуют об абстрактном человеке, о человеке вообще, вне реальных условий его существования. Они говорят преимущественно об абстрактных антропологических и гносеологических вопросах — соотношении чувства и разума, бытия и сущности, существования и цели и тому подобном, которые сами по себе важны, но не показывают путей практического решения проблемы человека.

Главный вопрос, который вот уже более столетия ставится историей, — это вопрос о том, как подняться от абстрактного человека к человеку конкретному, как достичь того, чтобы все люди и во всех странах могли реально пользоваться человеческими правами, удовлетворять и развивать свои запросы, как гарантировать каждому представителю рода человеческого сохранение его личного достоинства, жизнь без истребительных захватнических войн, без голода, без нищеты и болезней.

Проблема человека в наши дни никоим образом не может быть сведена только к провозглашению гуманных принципов свободы личности, равенства, братства — дело в их реализации.

Первой декларацией реального гуманизма явился «Манифест Коммунистической партии», написанный Карлом Марксом и Фридрихом Энгельсом. В этом историческом документе были впервые научно разработаны пути перехода к такому обществу, в котором свободное развитие каждого является условием свободного развития всех. Первым законодательным выраже-

48 нием социалистического гуманизма стала Декларация прав трудящегося и эксплуатируемого народа, принятая Советской республикой в январе 1918 г. и вошедшая в первую Советскую Конституцию.

Актуальность проблемы перехода от провозглашения абстрактных принципов гуманизма к реальному воплощению гуманистических идеалов в жизни обусловлено продолжающимся еще в ряде стран мира господством антигуманистических общественных отношений. Капитализм не только не решил проблему человека, но довел социальные антагонизмы до крайнего предела. Главным злом, ограничивающим человеческую личность, остается эксплуатация человека человеком, связанная с существованием частной собственности на средства производства. Не может быть равных возможностей для всех в обществе, которое разделено на владельцев капитала и массу людей, находящихся в полной экономической зависимости от капитализма.

Мы знаем, что требование равноправия людей, наций, рас не только не потеряло своей силы, но в нынешний век — век торжества социалистической революции, мощного подъема национально-освободительного движения и крушения колониализма — оно служит лозунгом прогрессивных сил и заслуживает всемерной поддержки. Духовные потенции каждого человека, каждого народа теперь не могут быть никем опровергнуты. За каждым родившимся на земле человеком формально признаются все права представителя рода человеческого — наследника всех достижений современной цивилизации. Но нельзя считать себя сторонником прогресса человечества и не видеть, как поднялась за последние столетия кривая человеческих смертей в войнах, которые ведутся в интересах господствующего меньшинства: 3 млн. убитых в XVII в., 5,5 млн. — в XVIII в., 16 млн. — в XIX в., около 80 млн. погибших и искалеченных в XX в. Антигуманизм капитализма особенно наглядно проявляется в том, что он порождает войны. Сейчас это, как никогда, опасно.

Главная проблема человека — отношение человека к человеку, а также отношения между социальными группами, классами, нациями, государствами. Уничтожить несправедливость и ограничения личности — значит уничтожить несправедливые социальные отношения: эксплуатацию одним классом других классов, угнетение одной нацией другой или многих наций, подавление одним государством других стран, вражду и войны между государствами. Задача состоит в том, чтобы изменить общест-

венное положение человека, то есть систему общественных отношений.

Буржуазные идеологи создали миф, будто коммунисты отрицают свободу личности и хотят включить все человечество в некую безликую массу. На самом деле коммунизм нашел реальный путь освобождения и развития личности.

Всестороннее развитие человека будет достигнуто, когда каждый входящий в жизнь человеческий индивид сможет беспрепятственно развиваться в личность, стоящую на высоте современной культуры во всех решающих ее сферах, это есть цель коммунистического движения.

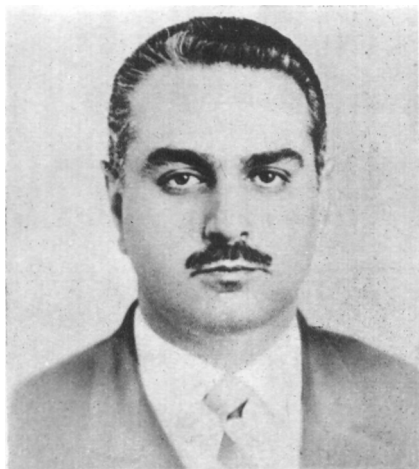
Перед новым обществом, пришедшим на смену капитализму, встают большие и трудные проблемы, которые нельзя решить единовременным актом. Речь идет о коренном улучшении условий труда и быта миллионов людей, о преодолении преград, воздвигавшихся многовековой историей антигуманистических обществ на пути к свободному развитию человека.

Нужно устранить всякие следы уродливого разделения труда, сблизить и соединить физический и умственный труд, решить такие проблемы, как устранение неквалифицированного, тяжелого труда, а в дальнейшем — превращение труда из средства жизни в первую жизненную потребность, в наслаждение для всех людей. Усилиями всего общества необходимо решить неотложную проблему повышения материального уровня жизни миллионов людей, устранить следы фактического неравенства женщины, повысить уровень образования и культуры всего общества, всех отсталых слоев населения, особенно в деревне и в ранее неразвитых районах.

Одной из трудных задач нового общества является преодоление остатков частнособственной психологии и морали, унаследованных от старого общества. Основное в этой области — изменение общественных условий, воздействие общественного мнения, убеждение, воспитание. Путь созидания нового общества — это нелегкий, но единственно возможный и правильный путь осуществления реального гуманизма.

Коммунизм полностью устраняет «разорванность» личности, воссоздает целостность человека. С полным основанием можно сказать, что коммунизм — это высший расцвет человеческого рода и человеческой личности.

Непременная задача социальных наук — способствовать обнаружению, исследованию и использованию условий и факторов общественного прогресса, содействовать торжеству высоких идеалов коммунизма, мира и дружбы между народами, принципов подлинного гуманизма.



ДЖЕРМЕН МИХАЙЛОВИЧ ГВИШИАНИ (р. 1928) — историк-международник, кандидат философских наук, заместитель председателя Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике. Родился в г. Ахалцихе Грузинской ССР. В 1951 окончил Московский государственный институт международных отношений, а в 1962 получил степень кандидата философских наук.

С 1962 по 1965 Д. М. Гвишиани — заместитель председателя Государственного комитета по координации научно-исследовательских работ СССР. С 1965 по настоящее время — заместитель председателя Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике.

Д. М. Гвишиани ведет и педагогическую работу. С 1966 он — доцент философского факультета МГУ.

Д. М. Гвишиани также является членом Советской социологической ассоциации, председателем Постоянной комиссии СЭВ по координации научных и технических исследований, председателем Комиссии по научно-техническому сотрудничеству с Францией и Италией, представителем Советского Союза в Консультативном комитете ООН по применению науки и техники в целях развития, членом Попечительского Совета учебного и научно-исследовательского института ООН (ЮНИТАР), членом американского географического общества.

ДЖЕРМЕН МИХАЙЛОВИЧ ГВИШИАНИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВЯЗИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

В настоящее время все большее значение приобретают многосторонние научные контакты советских ученых и специалистов с зарубежными, взаимный обмен идеями и информацией, совместная разработка актуальных проблем и путей использования лучших достижений мировой науки и техники.

Следует особо подчеркнуть, что научно-техническое сотрудничество осуществляется нами на основе полного равноправия и обоюдной выгоды. Научно-техническое сотрудничество Советского Союза с зарубежными странами имеет своей целью взаимное обогащение знаниями на основе дружеских контактов, развитие

коллективных форм исследования, поощрение экономических отношений, укрепление взаимопонимания между специалистами и учеными, а в конечном счете и укрепление дружеских отношений между странами.

Формы научно-технических связей и сотрудничества весьма разнообразны: обмен научными работниками, специалистами, стажерами, студентами на различные сроки с целью обучения, усовершенствования, подготовки диссертаций, проведения научных работ, совместные исследования по согласованной тематике, выполняемые отдельными специалистами или научными коллективами, взаимное посещение научных учреждений и предприятий с целью ознакомле-

ния с уровнем и характером проводимых в них работ, участие в международных и национальных научных конгрессах, съездах, конференциях и симпозиумах, чтение лекций, специализированные выставки, обмен научно-технической информацией и т. д.

За последние годы научно-технические связи Советского Союза с зарубежными странами заметно углубились и активизировались.

Советский Союз, руководствуясь принципами пролетарского интернационализма и стремлением всемерно укреплять мировую социалистическую систему и ее могущество, активно осуществляет многообразное по своим формам и весьма плодотворное научно-техническое сотрудничество с социалистическими странами.

Социалистическое производство, его потребности выступают как движущая сила научного прогресса. Промышленность не только ставит перед наукой определенные задачи, но и производит для науки новые средства исследований. В свою очередь уровень развития науки, скорость использования новых научных идей в технике и технологии оказывают воздействие на темп технического прогресса, на рост производства. Поэтому ясно, какое большое значение для развития экономики и ускорения технического прогресса социалистических стран имеет сотрудничество в области науки и техники, основанное на принципах товарищеской взаимопомощи и взаимной выгоды. Оно позволяет странам социалистического лагеря с меньшей затратой сил, средств и времени проектировать и строить промышленные и другие объекты, создавать новые и совершенствовать существующие машины, улучшать технологию производства, в необходимых случаях объединять свои усилия для совместного решения важных научно-технических проблем, развивать прикладные и фундаментальные исследования, определять перспективные направления, создавать теоретические «заделы», проводить координацию научно-исследовательских работ.

СССР осуществляет двустороннее научно-техническое сотрудничество с социалистическими странами с 1947 г. Двадцать лет тому назад, 5 марта 1947 г., правительствами СССР и Польской Народной Республики было подписано соглашение о научно-техническом сотрудничестве. Это было первое подобного рода соглашение, заключенное Советским Союзом с социалистической страной. Затем были заключены аналогичные соглашения с Чехословакией, Венгрией, Болгарией, Румынией, Германской Демократической Республикой и другими социалистическими странами.

Всего за годы научно-технического сотрудничества СССР передал социалистическим странам свыше 40 тысяч комплектов технической документации и образцов изделий, в том числе свыше 3 тысяч проектов капитального строи-

тельства и принял свыше 43 тысяч специалистов для ознакомления с научно-техническими достижениями и передовым производственным опытом.

За эти же годы Советским Союзом получено из социалистических стран около 14 тысяч комплектов документации и командировано более 21 тысячи советских специалистов для ознакомления с достижениями науки и техники.

Необходимо отметить, что научно-техническая документация, которой обмениваются сотрудничающие страны, передается друг другу безвозмездно, с оплатой только фактических расходов, связанных с подготовкой и пересылкой документации.

Многостороннее научно-техническое сотрудничество осуществляется через отраслевые постоянные комиссии Совета Экономической Взаимопомощи и его постоянную комиссию по координации научных и технических исследований. «Сводный план координации важнейших научных и технических исследований, представляющих взаимный интерес и проводимых странами — членами СЭВ в 1966—1970 гг.», содержит около 50 важнейших проблем, в разработке которых принимает участие около 700 научно-исследовательских учреждений и проектно-конструкторских бюро. Ускорение работ на основе международного социалистического разделения труда приносит весьма ощутимые экономические выгоды.

Успешно также развиваются двусторонние научно-технические связи Советского Союза с рядом капиталистических стран и развивающихся стран Азии и Африки.

Советские организации и ведомства, такие, как Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике, Академия наук СССР, Государственный комитет по использованию атомной энергии, Министерство сельского хозяйства СССР, имеют соглашения о научно-техническом сотрудничестве и обменах с соответствующими организациями развивающихся и капиталистических стран.

Научно-техническое сотрудничество позволяет Советскому Союзу содействовать развивающимся странам в создании национальной промышленности, развитии транспорта, связи и сельскохозяйственного производства, в проведении научных исследований, в изучении природных ресурсов и в подготовке квалифицированных специалистов.

Ряд капиталистических фирм стремится устанавливать связи и сотрудничество на постоянной основе, справедливо усматривая в этом для себя условие научного и экономического прогресса. В частности, интерес к достижениям советской науки и техники находит отражение в увеличении количества проданных Советским Союзом за границу лицензий. Только за последнее время 14 капиталистических стран купили

в Советском Союзе 66 лицензий на различные советские изобретения. Так, лицензии на способ непрерывной разливки стали проданы во Францию и Японию. Лицензия на электрошлаковую сварку приобретена французскими, итальянскими и шведскими фирмами; лицензия на способ изготовления литейных стержней из жидких смесей приобретена Японией, Францией, Италией и Швецией.

Подписанное в 1966 г. между СССР и Францией Соглашение о научно-техническом и экономическом сотрудничестве предусматривает развитие взаимных связей во многих важных областях науки и техники. В соответствии с соглашением образованы комиссии, которые уже начали свою работу

Активно развивается научно-техническое сотрудничество в области цветного телевидения. Советское и французское правительства наметили конкретные мероприятия по внедрению и эксплуатации к осени 1967 г. совместной советско-французской системы цветного телевидения «СЕКАМ-3»*.

В октябре 1966 г. подписан Протокол о научно-техническом сотрудничестве в области автомобилестроения с французской фирмой «Рено» и коммерческим обществом «Пежо», предусматривающий проведение совместных научно-исследовательских и проектно-технологических работ по интересующим стороны вопросам.

С Францией подписаны соглашения, предусматривающие проведение совместных работ по исследованию космического пространства, по космической связи и космической метеорологии, а также Соглашение о совместных исследованиях в области физики высоких энергий.

Заключенное в 1966 г. Соглашение об экономическом и научно-техническом сотрудничестве между СССР и Италией способствовало дальнейшему развитию и углублению научно-технических и экономических связей.

Длительные научно-технические связи с итальянской фирмой «Фиат» привели к заключению генерального соглашения о сотрудничестве в разработке конструкций легкового автомобиля и проекта автомобильного завода на 600 тысяч автомобилей в год, а также в его строительстве в СССР.

Успешно развивается научно-техническое сотрудничество с фирмой «Оливетти» в области разработки и внедрения систем механизации и автоматизации инженерного и управленческого труда, обработки и передачи информации.

В последние годы наблюдается значительное оживление советско-английских научно-технических связей со многими английскими фирма-

ми, которые проявляют большой интерес к обмену научно-технической информацией и производственным опытом с советскими учеными. У нас установились и развиваются прочные научно-технические контакты со многими английскими промышленными компаниями, работающими в области химии, нефтехимии, химического машиностроения, радиоэлектроники, вычислительной техники, приборостроения, металлургии, энергетики и т. д. Делегация советских ученых во главе с председателем Государственного комитета Совета Министров СССР по науке и технике академиком В. А. Кириллиным, посетившая Англию в конце 1966 года, встретила радушный прием со стороны своих английских коллег. Обмен мнениями показал, что стремление к еще более широкому развитию научно-технических контактов между нашими странами является взаимным.

Характерной особенностью советско-английских научно-технических связей в настоящее время является установление широкого сотрудничества на базе соглашений, заключенных с отдельными фирмами. Примерами могут служить недавно подписанные соглашения с крупным химическим концерном «Ай-Си-Ай» и электронной фирмой «Плесси».

Научно-техническое сотрудничество расширяется. Важное значение в этом имеют межправительственное соглашение об обменах в области науки, техники, образования и культуры, соглашения о научном обмене между Академией наук СССР и Королевским обществом Великобритании, а также о сотрудничестве в области сельскохозяйственных исследований.

Важной формой обмена научно-техническим опытом являются специализированные национальные и фирменные выставки, организуемые в СССР, и советские выставки, проводимые в зарубежных странах. Только в прошедшем 1966 г. в Советском Союзе состоялись Международная выставка сельскохозяйственных машин, Международная выставка средств организационной техники «Интероргтехника-66», Национальная промышленная выставка Великобритании, выставка ручного инструмента США и несколько десятков специализированных фирменных выставок. Иностранцы приезжают в Советский Союз, чтобы ознакомить советских коллег с работой своих фирм и выпускаемой ими продукцией. Такие встречи обычно проводятся в виде лекций и технических бесед, сопровождаемых показом кинфильмов и диапозитивов. Специалисты приезжают и по приглашению соответствующих советских организаций и по собственной инициативе, по так называемым «бизнес-турам». Общее число таких лекций и бесед ежегодно исчисляется несколькими сотнями. Важно отметить, что хорошая научно-техническая лекция, сопровождаемая

* Подробнее об этом рассказано в статье А. Д. Фортуненко. «Цветное телевидение и спутники „Молния-1“», публикуемой в этом же томе ежегодника «Наука и человечество». — *Ред.*

52 показом наглядного иллюстративного материала, во многих случаях приводит к началу коммерческих переговоров, заканчивающихся подписанием контракта.

Советский Союз, со своей стороны, также весьма активно участвует во многих аналогичных мероприятиях, проводимых за рубежом. Например, показ достижений советской науки и техники на всемирной выставке «ЭКСПО-67» в Монреале летом 1967 г. по своему уровню и масштабам — один из крупнейших.

В последние годы широкий размах приобрели многосторонние связи СССР с зарубежными странами в рамках международных экономических и научно-технических организаций. Советский Союз с самого начала своего образования состоял членом ряда таких организаций, а за последние 10—15 лет стал членом еще 169 международных организаций в области науки и техники, в том числе таких крупных организаций, как Международная федерация по автоматическому управлению, Международная организация по измерительной технике и приборостроению, Международный союз по электротермии, Международный союз по геодезии и геофизике, Международный союз теоретической и прикладной физики, Международный союз геологических наук, Международное агентство по изучению рака, Межправительственная морская консультативная организация, Международное агентство по атомной энергии и др.

Советские и зарубежные ученые в международных экономических и научно-технических организациях совместно исследуют важнейшие мировые проблемы в различных областях экономики, науки и техники; разрабатывают международные нормы и рекомендации, содействующие развитию международной торговли, мировой системы транспорта и связи; рассматривают меры по предупреждению и борьбе со стихийными бедствиями и эпидемиями, вопросы мирного использования ядерной энергии, проблемы освоения космоса и т. д.

Для иллюстрации сказанного достаточно указать на такие международные организации, как Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) и Всемирная метеорологическая организация (ВМО).

Деятельность Межправительственной океанографической комиссии, в которой членствуют свыше 50 государств мира, способствует активному обмену между странами-членами первичными результатами наблюдений и другой океанографической информацией, собранной многими экспедиционными судами различных стран мира. В результате такого обмена информацией все страны, участвующие в работе МОК, могут использовать такой объем данных о ресурсах Мирового океана, который был бы не доступен ни одному отдельно взятому государству, если бы оно проводило океанографические исследо-

вания лишь своими собственными средствами. Деятельность МОК должна обеспечить быстрый прогресс в деле освоения богатейших возможностей Мирового океана на благо всего человечества.

Не менее важные проблемы решает Всемирная метеорологическая организация, без которой практически было бы невозможно создание Всемирной службы погоды, имеющей большое практическое значение для всех стран земного шара. По решению ВМО, центром, организующим и осуществляющим координацию работ по созданию Всемирной службы погоды (ВСП), является Гидрометцентр СССР (Московский мировой центр), при котором создан Консультативный комитет по ВСП.

Ежегодно в мире проводятся сотни международных научно-технических конгрессов, конференций и заседаний, в которых участвуют многие десятки тысяч ученых и специалистов различных стран мира. Большие достижения Советского Союза в развитии народного хозяйства, науки и техники привлекают огромный интерес зарубежных ученых и специалистов к нашей стране, к ее научным и техническим достижениям. В результате с каждым годом на территории Советского Союза проводится все больше международных научно-технических мероприятий. Так, только в 1966 г. у нас в стране было проведено около 40 международных конгрессов и заседаний с участием свыше 20 тысяч зарубежных специалистов и ученых, в том числе международные конгрессы математиков, кристаллографов, океанографов, электротехников, психологов и т. д.

О повышении авторитета Советского Союза в международных научно-технических организациях и об активизации нашей деятельности в них свидетельствует также тот факт, что за последние годы значительно возросло число советских специалистов и ученых, избранных на руководящие посты в административных и технических органах международных организаций. Советским научно-техническим ведомствам и учреждениям по решению ряда международных организаций поручено руководство секретариатами их технических органов: технические комитеты по марганцу, бетону, пиломатериалам, комитет экспертов по фотометрии и др.

Большой вклад вносят советские ученые и специалисты в деятельность региональных экономических комиссий ООН и прежде всего в работу Европейской экономической комиссии ООН. В этой комиссии они содействуют развитию экономического и научно-технического сотрудничества и обмена передовым производственным опытом на общеевропейской основе в области черной металлургии, топливной и газовой промышленности, жилищного строительства, транспорта, сельского хозяйства, лесной и деревообрабатывающей промышленности, электр-

троэнергетики и др. По инициативе Советского Союза Европейская экономическая комиссия ООН начала изучение вопроса о создании единой воднотранспортной системы Европы и других экономических и научно-технических проблем общеевропейского характера.

Советские научно-технические учреждения и отдельные ученые и специалисты принимают участие в работе органов и комиссий ООН по подъему экономики в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки. Советские ученые активно работают в технических органах ООН по проблемам планирования, исследования и использования природных ресурсов, проблемам индустриализации, подъему сельского хозяйства, по подготовке национальных научных и технических кадров развивающихся стран. Большой интерес в этих органах ООН проявляется к изучению опыта СССР и особенно опыта и достижений в социалистическом строительстве национальных республик СССР — в прошлом окраинных отсталых районов царской России.

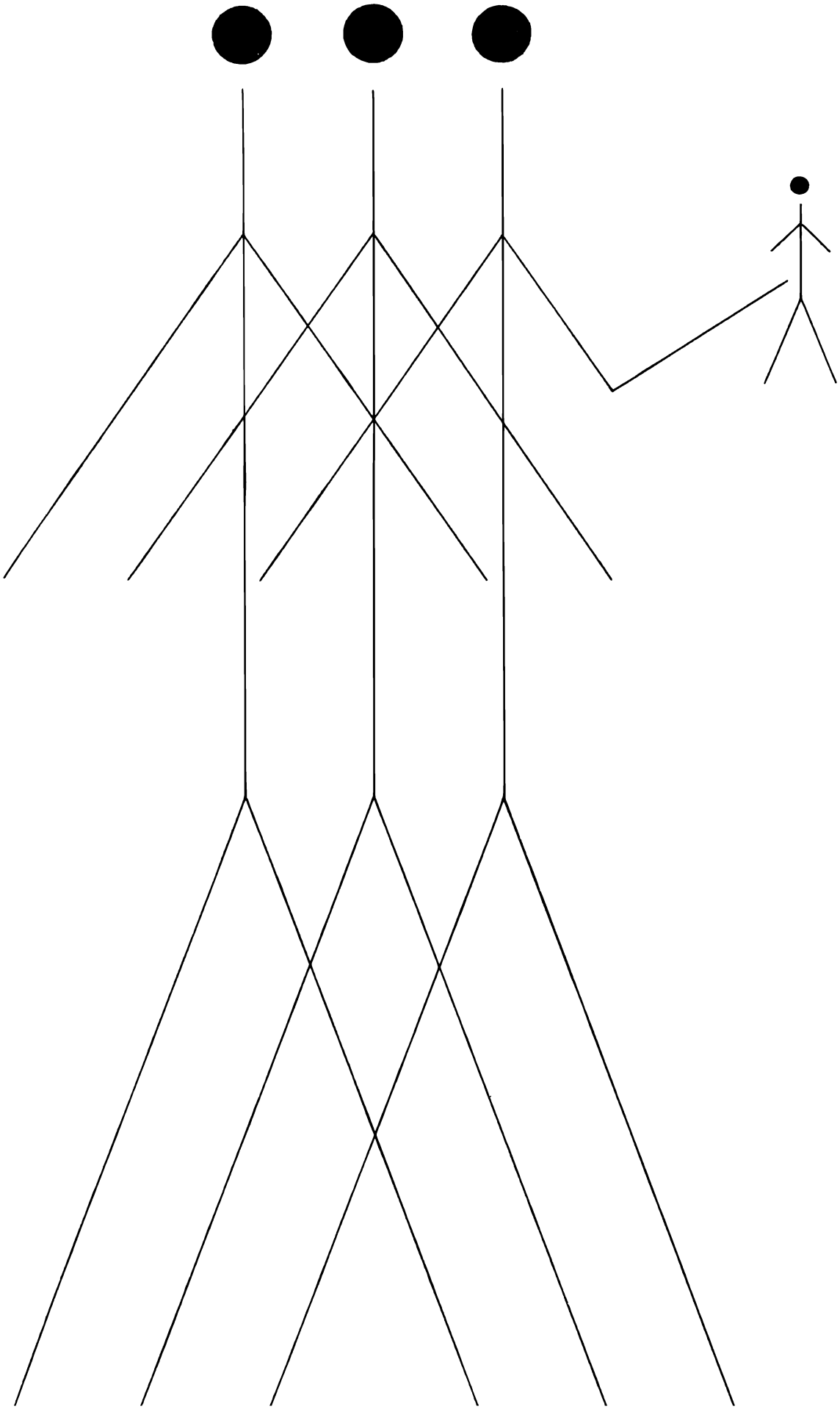
Естественно, что тысячи советских специалистов, ежегодно выезжающих за рубеж для участия в различных специализированных мероприятиях или в качестве научных туристов, не только выполняют свои задачи и удовлетворяют свои профессиональные интересы, но также способствуют установлению дружественных связей, знакомят широкие круги других стран с достижениями советской науки и техники.

Эти достижения уже достаточно хорошо известны во всем мире, о чем свидетельствуют многочисленные высказывания видных иностранных ученых, государственных и общественных деятелей. Мне хотелось бы привести одно из таких высказываний, поскольку оно сделано человеком, несколько лет жившим в нашей стране и изучавшим состояние и развитие советской науки и техники. Атташе по вопросам науки французского посольства в Москве Ж. Кантакюзен после посещения академического городка в г. Новосибирске писал 10 мая 1966 г. в газете «Монд»: «Интерес и симпатию зарубежных посетителей вызывает отказ от шаблона, поиск смелых и оригинальных решений для науки и для человека. Свободному духу советских ученых свойственно «бурление интеллекта», выражающееся в динамизме и постоянной заботе об эффективности работы, что не характерно для других высокоразвитых стран. Чувствуется огромное доверие, оказанное этим людям науки, которые действительно получили «карт бланш». Отсюда полная свобода действий, мыслей, дискуссий, поездки за границу».

В преддверии великого праздника нашей Родины — 50-летия Октябрьской революции — можно сказать, что международные научно-технические связи Советского Союза будут и дальше активно развиваться во имя благородной цели — ускорения научного и технического прогресса, дружбы и мира между нашей страной и народами других стран.

ЧЕЛОВЕК —
МЕРИЛО
ВСЕХ ВЕЩЕЙ.
Протагор

Ч Е Л О В Е К





БОРИС ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕТРОВСКИЙ (р. 1908) — хирург, доктор медицинских наук, профессор, действительный член АН и АМН СССР, заслуженный деятель науки, заведующий кафедрой госпитальной хирургии I Московского медицинского института, директор Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной хирургии, министр здравоохранения СССР.

Родился в г. Ессентуки в семье врача. После окончания школы два года работал в Кисловодском отделении союза «Медсантруд» санитаром, а затем техническим секретарем. В 1930, окончив медицинский факультет I МГУ, работал ординатором хирургического отделения Подольской районной больницы и заведующим здравпунктом, а в 1932—1941 — в должности младшего научного сотрудника клиники, руководимой П. А. Герценом. В 1937 защитил кандидатскую диссертацию, в 1947 — докторскую. Участвовал в Великой Отечественной войне, был ведущим хирургом госпиталей, армейским хирургом, а с августа 1944 назначен заместителем начальника кафедры факультетской хирургии Военно-медицинской академии им. Кирова в Ленинграде. В 1945 демобилизован и назначен заместителем директора Института хирургии АМН СССР по научной части. С 1948 — доцент, а с 1949 — профессор на кафедре общей хирургии II ММИ, откуда в 1949 командирован в Будапешт. В Венгрии был избран заведующим кафедрой госпитальной хирургии Будапештского университета. В 1951 вернулся в Москву и назна-

чен заведующим кафедрой факультетской хирургии педиатрического факультета II ММИ. С 1956 по настоящее время — заведующий кафедрой госпитальной хирургии лечебного факультета I ММИ.

В 1957 избран действительным членом АМН СССР.

Помимо основной работы, с 1953 по 1965 был главным хирургом IV Главного управления Минздрава СССР. С 1963 одновременно являлся директором Научно-исследовательского института клинической и экспериментальной хирургии Минздрава СССР. С 1965 — министр здравоохранения СССР.

В 1962 избран депутатом Верховного Совета СССР, а в 1966 — на XXIII съезде КПСС — кандидатом в члены ЦК КПСС.

В 1955 избран заместителем председателя, а в 1964 — председателем Всесоюзного общества хирургов. Является членом президиума Международного общества хирургов и вице-президентом Европейского общества сердечно-сосудистых хирургов, почетным членом Ирландского королевского колледжа хирургов, венгерской Академии наук, Польского, Венгерского, Чешского и ряда советских хирургических обществ.

Б. В. Петровский — автор свыше 200 научных работ, ответственный редактор журнала «Хирургия».

В 1960 ему присуждена Ленинская премия. Он награжден двумя орденами Ленина, орденом Красной Звезды.

БОРИС ВАСИЛЬЕВИЧ ПЕТРОВСКИЙ

НЕКОТОРЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

Современная хирургия — это один из основных разделов клинической медицины, имеющий тысячелетнюю историю. Как и многие медицинские специальности, наша область, пройдя сложный путь исканий, эмпиризма, отдельных экспериментов, приобрела прочную научную базу и давно перестала быть ремеслом, искусством мастеров и техническим направлением в клинической медицине.

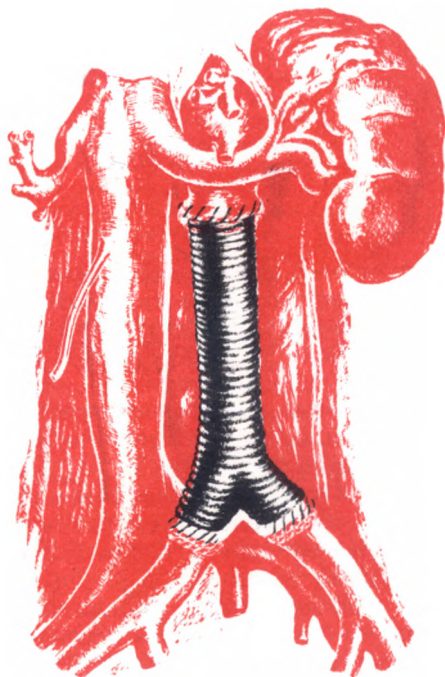
Используя все, что дают нам точные науки — математика, физика, химия, — и проводя клинический опыт через призму систематических экспериментов на животных и широких биологических обобщений, хирурги достигли больших научных вершин. При этом многие успехи хирургии в настоящее время широко используются другими клиническими и теоретическими медицинскими специальностями. Объясняется это прежде всего тем, что хирургу больше, чем кому-

либо из врачей, доступны важнейшие элементы научного познания — постоянная проверка природы патологических явлений в операционной и фактическое проведение допустимого, обоснованного и оправданного в теоретическом и практическом отношении эксперимента во имя жизни человека.

Нет сомнений в том, что не только в хирургии, но и в терапии, кардиологии, педиатрии и других клинических отраслях сегодня очень важно внедрение в диагностику и лечение высокой технической мысли и технического и лабораторного оснащения. Вместе с тем никто так остро, как хирург, не ощущает потребность в самом широком и постоянном эксперименте на животных, повседневном использовании аппаратов, приборов, инструментов, химических препаратов, изоляторов и других средств, расширяющих в настоящее время возможности врача у постели



Аневризма (расширение) брюшной аорты (до операции)



После операции — резекции аневризмы брюшной аорты. Резецированная часть аорты заменена протезом

больного и в научной лаборатории. Вот почему элементы нового в диагностике и лечении самых сложных заболеваний человека не только в хирургической клинике, но и для других специальностей подчас зарождаются у хирургов. Примеров этому много. Можно было бы назвать такие открытия, как переливание крови, зондирование и рентгеноконтрастирование сердца и сосудов, искусственное кровообращение, методы восстановления жизненных функций организма (реанимация), пересадка (трансплантация) тканей и органов, применение пластических масс и многие другие. Я бы даже сказал, что такие, казалось бы, далекие от хирургии проблемы, как гипотермия или гипербарическая оксигенация (применение метода повышенного кислородного давления для терапии некоторых тяжелых заболеваний) зарождались в стенах хирургических клиник и лабораторий.

После этого вступления может показаться, как об этом и говорят отдельные наши пациенты, что хирургия — это самая главная медицинская специальность. Это далеко не так. Как и другим разделам медицины, хирургии присущи свои особенности — преимущества, а вместе с тем и недостатки. Иногда сама наша профессия превращает врача-хирурга в локалиста и техника, мыслящего узкопрактическими категориями и схемами и не опирающегося на теорию медицины и биологию. С этим явлением все мы боремся и стараемся предупреждать данные отклонения с помощью ряда мероприятий.

Как сегодня можно охарактеризовать основные научные направления в хирургии? Прежде всего хирургия, как и вся наша советская медицина, стремится к предупреждению заболеваний — к профилактике. Это направление понимается и в смысле профилактики отдельных болезней, и в смысле предупреждения перехода менее опасной болезни, например язвы, в более опасную — рак, профилактики грозных осложнений и риска операций и т. д.

Чрезвычайно важной также является благородная и высокополезная идея борьбы за восстановление органов, систем и тканей, нарушенных в связи с заболеванием. При этом задача хирурга понимается не только как восстановление нарушенной анатомической структуры, формы органа, конечности, но и как стремление к полному возврату функции этого органа или части тела.

Важнейшим достижением XX в. мы считаем открытие возможности искусственно временно поддерживать жизнедеятельность различных органов и систем больного чело-

века. Помимо замечательных медикаментозных сердечных, тонизирующих сосуды, препятствующих свертыванию крови и других средств, открыты методы переливания крови и кровезаменяющих жидкостей. Даже в случаях смертельной кровопотери теперь мы можем легко и полностью ликвидировать ее последствия, вводя нужные количества крови и растворов в вены, артерии и в полости сердца. В нашей клинике разработан метод трансфузий крови непосредственно в аорту, также оправдавший себя на практике.

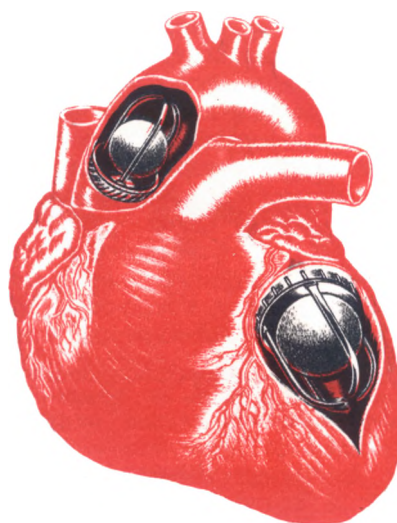
Еще более активным и мощным является метод искусственного кровообращения, предложенный и изученный в эксперименте С. С. Брюхоненко (1928 г.). Применяя для этой цели различные системы аппаратов — «искусственное сердце — легкие» (АИК), хирурги теперь выключают сердце из кровообращения до 2—3 часов! За это время можно полностью ликвидировать самый сложный порок сердца. Значительно повысило результативность операций введение крови непосредственно в коронарные артерии, для чего в их просвет вставляются специальные резиновые и пластмассовые трубки (коронарная перфузия). Мои сотрудники Г. М. Соловьев и А. А. Бунатян применили ряд схем и модификаций искусственного кровообращения в сочетании с местным и общим охлаждением и веществами, снижающими артериальное давление (арфонад). В течение ряда лет в нашем институте мы оперируем все пороки сердца, заменяем пораженные ревматизмом клапаны искусственными, реконструируем аорту при ее аневризме, ликвидируем огромные аневризмы сердца, то есть излечиваем такие болезни, которые десять лет назад можно было считать абсолютно не поддающимися лечению.

В этом большом деле хирургу помогают анестезиологи и реаниматологи. Концентрируя больных после операции в специальном отделении, они могут бороться со многими очень тяжелыми осложнениями.

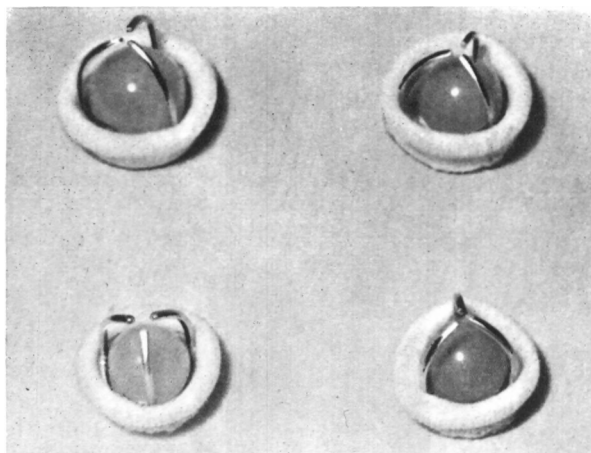
Я уже говорил о последствиях кровопотери, которые в настоящее время можно полностью предупредить.

Очень опасна недостаточность дыхания, ведущая к гипоксии (обеднение тканей кислородом). С уверенностью можно сказать, что правильная помощь при подобном осложнении спасает нам многие тысячи жизней больных.

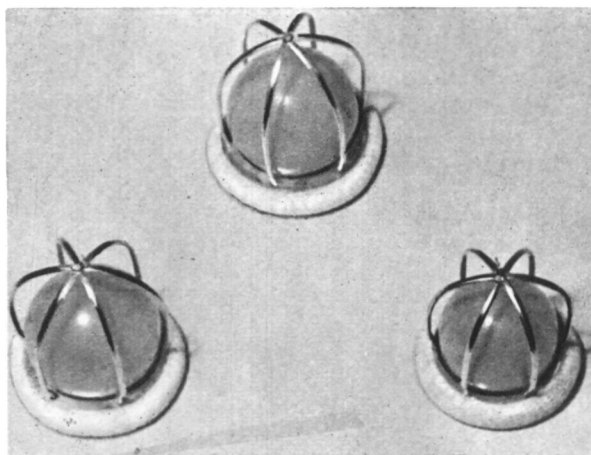
В таких случаях применяются «искусственные легкие» — аппарат, ритмично нагнетающий воздух с кислородом в дыхательные пути. За последнее время мы используем



Сердце с искусственными клапанами



Шариковый протез аортального клапана



Шариковый протез митрального клапана

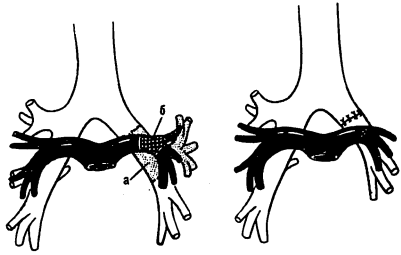
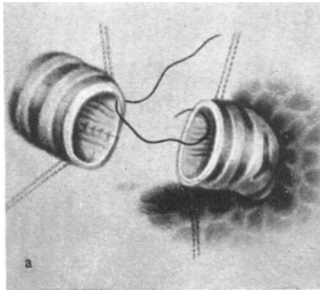
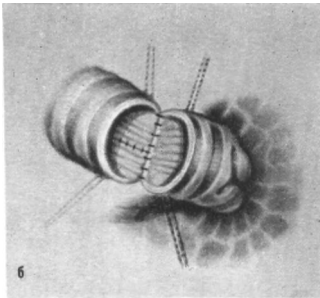


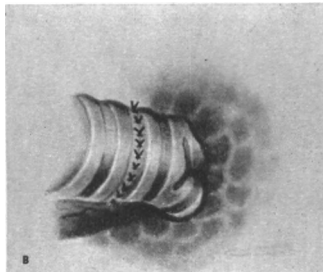
Схема удаления (резекции) пораженной части бронха (а) и легочной артерии (б). Слева — до операции, справа — после операции



Этапы соединения (анастомоза) резецированных концов бронха:
а — наложение первого шва



б — швы наложены на заднюю стенку



в — анастомоз закончен

введение в легкие гелия в смеси с воздухом. Легкий, инертный газ гелий хорошо расправляет легочную ткань.

Существует еще один прекрасный новый метод борьбы с легочной недостаточностью — камера с повышенным (до 3—3,5 атмосфер) давлением воздуха или кислорода. Этот метод «гипербарической оксигенации» позволяет насыщать кислородом ткани непосредственно через жидкую часть крови — плазму.

В обычной атмосфере снабжение тканей кислородом осуществляется через красные кровяные шарики, гемоглобин которых является переносчиком кислорода*. При повышенном давлении воздуха кислород проникает и растворяется в плазме, а затем переходит в ткани. Метод этот имеет большие перспективы при лечении ряда самых тяжелых сердечных болезней и поражений сосудов мозга, конечностей и др. В нашем институте создана лаборатория искусственной оксигенации, разрабатывающая эту актуальную проблему (С. Н. Ефуни).

Так же велики достижения в терапии тяжелых нарушений функции почек, при которых можно многие месяцы предупреждать смертельные последствия уремии. Эта методика «гемодиализа» с помощью аппарата «искусственная почка» проводится и при пересадке почек, о которой будет сказано ниже.

Таким образом, даже краткое перечисление возможностей современного врача в борьбе с тяжелейшими, я бы сказал, катастрофическими нарушениями функций жизненно важных органов позволяет сделать вывод о больших достижениях медицинской науки в этой области.

Еще более интересны и демонстративны успехи в пластической и реконструктивной хирургии. Всем известны замечательные операции В. П. Филатова, предложившего пластику роговицы при ее рубцовых изменениях, а также различные методы замещения обширных кожных дефектов с помощью «мигрирующего» трубчатого лоскута.

Так же хорошо запомнились операции Н. А. Богораза, удлинявшего и укорачивавшего конечности, разработавшего многие методы костной пластики.

В настоящее время нет такого органа или

* Подробнее об этом рассказано в статье М. Перутца «Молекулярный механизм дыхания», опубликованной в ежегоднике «Наука и человечество. 1966». — Ред.

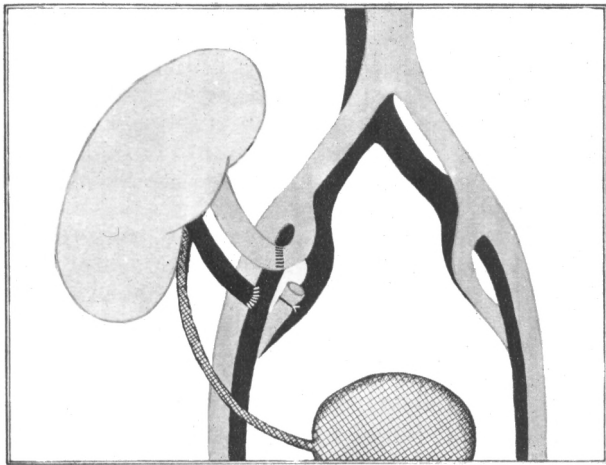
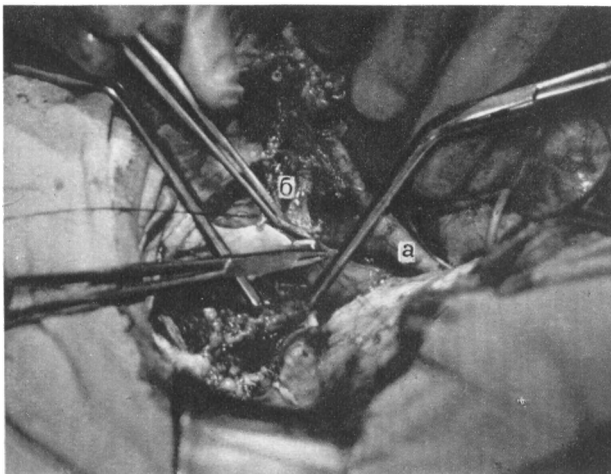


Схема операции пересадки почки от человека человеку. Почка пересаживается в подвздошную область, забрюшинно. Почечная артерия соединяется с внутренней подвздошной артерией больного (серая) по типу «конец в конец»; почечная вена (черная) соединяется с наружной подвздошной веной по типу «конец в бок». Мочеточник (заштрихован) вшивается в мочевой пузырь. Такой способ операции позволяет наиболее быстро и с наименьшей травмой для больного пересадить почку и обеспечить ее удовлетворительную функцию



Закончен сосудистый этап операции пересадки почки. Наложены артериальный (а) и венозный (б) анастомозы. Пересаживаемая почка в руках у ассистента (вверху справа). Сейчас хирург снимет зажимы с сосудов, и почка включится в кровоток у своего нового хозяина. Обычно она через несколько минут после возобновления кровотока тут же, на операционном столе, начинает функционировать. Снимок сделан во время операции, выполняемой Б. В. Петровским

части тела, при лечении которых нельзя было бы широко использовать принцип и методы пластических восстановительных операций. Это относится к нервным и сосудистым стволам, органам желудочно-кишечного тракта, сердцу, легким и бронхам, коже, суставам и костям. Везде пластика и реконструкция занимает очень важное место в помощи больному человеку.

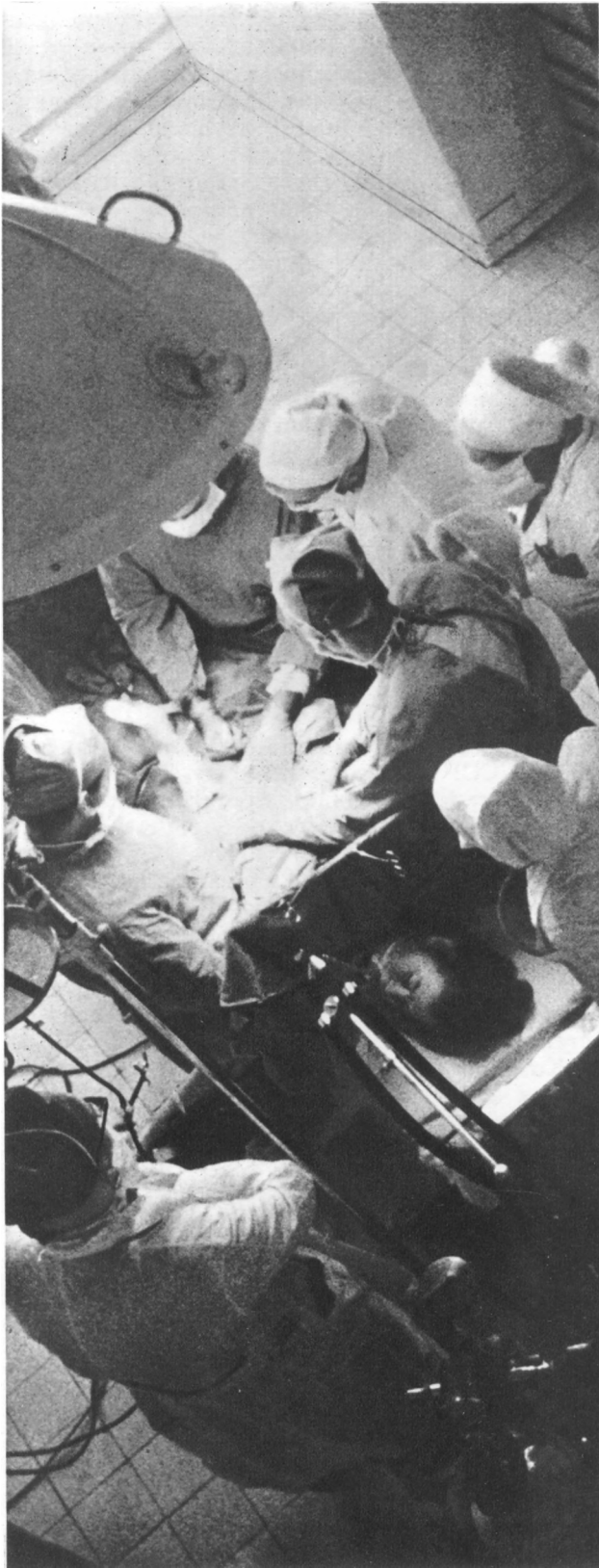
Рассмотрим, к примеру, направления современной легочной хирургии. Наряду с различными операциями удаления части или целого легкого (А. Н. Бакулев, В. И. Стручков, Ф. Г. Углов и др.) очень актуальной стала задача резекции (частичного удаления) и пластики бронха и даже трахеи. Различные схемы операций, разработанные в нашем институте (М. И. Перельман и А. П. Кузьмичев), позволили с успехом осуществить такие реконструктивные операции больше чем у 100 больных. С их помощью удалось вернуть жизнь целому легкому у больных с травматическим полным разрывом бронха. Опыт руководимого мною института в этом разделе является уникальным и превосходит описания клиник других стран.

Также очень велик и известен за пределами СССР наш, по-видимому, самый большой опыт в производстве операций на пищеводе, пластика которого — большая заслуга советских ученых (П. А. Герцен, С. С. Юдин, В. И. Казанский, А. Г. Савиных и др.).

Нами предложены, кроме того, оригинальные пластические операции на диафрагме — мышечном органе, лоскуты которого хорошо приживаются к пищеводу, сердцу и другим органам и могут прекрасно заменять их стенки, не нарушая функции.

Хотелось бы остановиться еще на некоторых аспектах этой грандиозной проблемы, сулящей человечеству большие возможности.

Как интересна, например, аллопластика! Замена дефекта черепа пластиной из золота производилась врачами древности. Но в настоящее время аллопластика стала располагать такими мягкими, пластичными и вместе с тем очень прочными и биологически инертными материалами, как тефлон, терилен и др. Они давно прошли проверку в «огне эксперимента», и в наше время хирург не может обходиться без тефлоновых пластин, пластмассового войлока, гофрированных трубок. Мы их применяем у тысяч больных, заменяя и укрепляя с помощью пластмассы ткани брюшной стенки, сосудов, стенок пищевода и др. В нашей клинике находится



под наблюдением очень много больных, перенесших подобные вмешательства. Так, при полном врожденном отсутствии важного мышечного органа — купола диафрагмы, отделяющей брюшную и грудную полости друг от друга (эта болезнь называется «релаксацией диафрагмы»), мы полностью восстановили диафрагму пластмассовой пористой тканью размерами 30×20 см и толщиной 1,5 см у 16 больных. У всех болезнь была ликвидирована, а искусственная диафрагма функционирует уже 10—12 лет.

Не менее показательны операции на сосудах. В наш век патология сосудов, и главным образом атеросклероз, становится доминирующей. Коронарная болезнь, расстройства мозгового кровообращения, нарушения кровотока во многих органах, а также конечностях связаны чаще всего с появлением атероматозных бляшек и дальнейшей закупоркой артерий. Вполне понятен тот интерес, который проявляют к данной проблеме ученые-медики различных специальностей во всех странах. Наряду с успехами теоретиков и терапевтов хирурги разработали методы ликвидации нарушений кровотока в аорте, сонных, почечных и других артериях с помощью пластических операций. И здесь мы применяем пластику сосудов не только тканями, взятыми у самого больного (например, стенкой вены), но очень часто гофрированной тефлоновой тканью. Даже целые сегменты сосуда диаметром до 3 см (аорта) и длиной 25—30 см, оказывается, можно заменить гофрированной тефлоновой трубкой — протезом.

Таких операций в СССР выполнено очень много.

На прошедших в 1967 г. крупных научных съездах и конференциях наш институт представил материалы пластических операций при атеросклеротических и других поражениях сонных и почечных артерий. Эти вмешательства, при соответствующих показаниях, очень эффективны. Так, при частичной закупорке почечной артерии, как известно, сопровождающейся очень злокачественной формой гипертонии (максимальное давление доходит у таких больных до 250—300 мм ртутного столба), удаление атероматозной бляшки или замена почечной артерии тефлоновой трубкой полностью нормализует давление и предупреждает неизбежную гибель больного.

Подобная операция у больных с сужением сонных артерий (при этом всегда имеет место паралич) в ряде случаев ликвидирует катастрофу.

Нельзя забывать еще одну область аллопластики. Речь идет об искусственных клапанах сердца, которые мы применили свыше чем у 100 больных. Операция эта очень сложная, ее рекомендуют при самых тяжелых ревматических разрушениях сердечных клапанов, по существу у безнадежных больных. Мы вводим отечественные шариковые клапаны (Г. М. Соловьев), а в ряде случаев оригинальные клапаны, укрепляющиеся в полости сердца автоматически — без швов (В. И. Шумаков). Созданная в нашем институте совместно с Институтом сердечно-сосудистой хирургии лаборатория (В. И. Шумаков) продолжает дальнейшее совершенствование сердечных клапанов, а также создает в эксперименте искусственное механическое сердце, по-видимому, имеющее перспективу в будущем.

Упомянув об искусственном сердце, мы подошли к увлекательной и таинственной, в известной мере фантастичной, проблеме — трансплантации органов.

Пересадки тканей — кожи, хрящей, костных фрагментов — известны давно. Начиная с 20-х годов нашего столетия разрабатывается пересадка трупных тканей от человека человеку. Очень приятно отметить, что пионерами этого дела (как и искусственного кровообращения, открытого С. С. Брюхоненко, который удостоен Ленинской премии) также являются советские ученые — В. Н. Шамов и С. С. Юдин, предложившие в 1928 г. переливание трупной крови — по существу жидкой живой ткани (эта работа также удостоена Ленинской премии). С тех пор прошли годы. Стали осуществлять пересадку суставов, а за последние четыре-пять лет — почек.

Пересадку почек нужно считать новой страницей в медицинской науке, так как приживление органа, взятого от донора (другого человека или от трупа), до этого не удавалось.

В СССР эти операции выполнены впервые нами всего у 24 больных. Очень много экспериментов на животных, иммунологических исследований, проводимых в различных странах, немало неудач и трудностей предшествовали пересадкам органов — этому успеху медицины, достигнутому в ряде стран. Да и сейчас многое здесь не ясно. Ведь далеко не полностью преодолевается иммунологический барьер. А сколько проблем в лечении тяжелых почечных больных с полностью нарушенной функцией почек, сколько трудностей в оперативной технике!

Каждая такая операция — это подвиг целого коллектива врачей, медицинских сестер и лаборантов, подвиг больного и его родных, в некоторой мере рискующих жизнью, отдавая здоровый свой орган — почку!

Но уже пробита первая брешь, уже видны пути дальнейших поисков, ведущих к успехам в пересадке не только почки, но и других органов у человека. В частности, в результате исследований наметились возможности пересадки печени или ее долей, элементов сердца и его клапанов.



Переносный аппарат для консервации почки, сконструированный в Научно-исследовательском институте клинической и экспериментальной хирургии группой инженеров и врачей. В нем почка хранится в специальной жидкой среде при температуре до $+4^{\circ}$ и повышенном кислородном давлении

Нужно заниматься этими вопросами не останавливаясь, преодолевая трудности в лаборатории, эксперименте и клинике, и тогда, вероятно, откроются новые горизонты этой огромной проблемы — трансплантации органов, возможно, и конечностей.

В заключение нужно сказать, что в статье были подчеркнуты лишь некоторые новые направления хирургии. Они свидетельствуют об успехах, трудностях, актуальности больших задач, стоящих перед медициной.



ДМИТРИЙ ФЕДОРОВИЧ ЧЕБОТАРЕВ (р. 1908) — терапевт-геронтолог, доктор медицинских наук, действительный член АМН СССР, профессор, заслуженный деятель наук Украинской ССР.

Родился в Киеве в семье врача. В 1933 окончил Киевский медицинский институт и на протяжении тридцати лет работал врачом-терапевтом, заведующим отделением, главным врачом больницы, главным терапевтом Министерства здравоохранения УССР. С 1954 — заведующий кафедрой терапии в Киевском институте усовершенствования врачей, а с 1961 — директор крупнейшего в Европе Института геронтологии и гериатрии АМН СССР.

В течение многих лет председатель Ученого совета Министерства здравоохранения УССР.

Д. Ф. Чеботарев — автор 90 научных работ, среди которых несколько монографий, посвященных проблемам кардиологии, геронтологии и гериатрии и другим проблемам. Он председатель научного медицинского общества геронтологов и гериатров Советского Союза, член Совета Всемирной ассоциации геронтологов, член исполнительного комитета Европейского общества клиницистов и геронтологов.

ДМИТРИЙ ФЕДОРОВИЧ ЧЕБОТАРЕВ

ДОЛГОЛЕТИЕ И АКТИВНАЯ СТАРСТЬ

В течение тысячелетий человек ищет пути продления своей жизни, вступая в противоречия с немощью старости и краткостью жизни. И если стремление человека долго жить и длительно сохранять здоровье молодости так же старо, как старо человечество, развитие нового раздела медицины — геронтологии, науки о старении, исчисляется только несколькими десятилетиями. Бурный рост геронтологии и ее составной части — гериатрии в последние десятилетия, большое внимание, уделяемое этой отрасли науки, ставят ее в ряд новых научных направлений, пока еще только определяющих свое место в биологии и медицине.

Развитие науки о старении стало возможным в связи с большими успехами, достигнутыми биохимией и биофизикой, в связи с резким подъемом уровня инструментальных исследований в лаборатории и клинике, что

создало основу для углубленного изучения механизмов старения на молекулярном и клеточном уровнях, на уровне органов, систем и в целостном организме животного и человека.

Внимание к проблемам геронтологии и гериатрии во всем мире резко возросло в последние десятилетия и особенно в послевоенный период благодаря значительным демографическим сдвигам, в связи с «постарением» населения во всех экономически развитых странах. Это совершенно новое явление, характерное для нашего столетия, способствовало значительному повышению процентного соотношения людей старших возрастных групп в составе населения, что не могло не сказаться определенным образом на экономическом и социальном устройствах, на развитии медицинской науки и здравоохранения. В разных странах демографи-



164-летний житель Азербайджанской ССР Ширали Муслимов
окапывает деревья в своем саду

ческие сдвиги вызваны различными причинами, среди которых главными являются увеличение средней продолжительности жизни людей и снижение рождаемости.

За прошедшую половину столетия средняя продолжительность жизни населения в Советском Союзе увеличилась на 38 лет, тогда как в США, Англии, Франции, Швеции и других экономически развитых странах этот прирост был в пределах 17—21 года. В настоящее время в нашей стране более 22 миллионов людей в возрасте 60 лет и старше, из них около 2 миллионов — старше 80 лет. По статистическим данным, средняя вероятная продолжительность жизни людей, достигших в настоящее время 60 лет, равна 19 годам, а люди в возрасте 60 лет и старше в 1975 г. будут составлять свыше 12% населения страны.

Одновременно с повышением средней продолжительности жизни людей улучшается их здоровье. В дореволюционной литературе нередко считали человека 50 лет пожилым, а 60 лет — стариком. В настоящее время эти понятия даже чисто официально сдвинуты минимум на 10 лет. Улучшение здоровья населения старших возрастных групп означает их более длительную трудоспособность. По статистическим данным Всемирной организации здравоохранения, к 1970 г. 190 человек из каждой тысячи людей в возрасте 65 лет будут трудоспособными, старше 60 лет, естественно, трудоспособных будет еще больше.

Успехи строительства коммунизма в нашей стране неотделимы от производительности труда, а последняя тесно связана не только с техникой производства, но и с трудоспособностью работающих, с состоянием их здоровья, накопленными ими знаниями, с их производственным и жизненным опытом. В связи с этим сохранение трудоспособности граждан не только зрелого, но и пожилого возраста, использование их большого опыта и знаний в народном хозяйстве приобретает серьезное государственное значение. Кроме того, как убедительно свидетельствует ряд исследований, для большинства людей трудовая жизнь, продолжающаяся и в пожилом, пенсионном возрасте, — важный фактор предупреждения преждевременного старения, сохранения активного долголетия. Все это объясняет большое и глубокое внимание к проблемам геронтологии и гериатрии в нашей стране. Широкие возможности социального преобразования, особенности системы здравоохранения и социального обеспечения в Советском Союзе представ-

ляют огромные перспективы для постановки и разрешения проблем долголетия, первоочередных задач геронтологии и гериатрии.

Современной научной медициной все еще не решен ряд весьма кардинальных вопросов о причинах развития многих заболеваний, резко отрицательно влияющих на здоровье людей. Трудности изучения этих болезней и борьбы с ними объясняются чрезвычайной сложностью биологических процессов, протекающих в организмах высших животных и человека.

Пожалуй, еще более сложной проблемой, стоящей перед современной биологией и медициной, является выяснение причин и механизмов как естественного, свойственного каждому живому организму, так и преждевременного старения человека, развитие которого ведет к раннему увяданию и болезненной, патологической старости. Науке много известно о социальных причинах развития преждевременного старения людей, о влиянии разных заболеваний на этот процесс, однако до сих пор научно не выявлены биологические причины старения.

В течение более чем 2000 лет со времен Гиппократ и до наших дней было предложено более 200 гипотез старения, сменявших

Сто лет назад

АНГЛИЯ

Происхождение человеческих рас принадлежит к числу самых любопытных вопросов антропологии. Некоторые ученые думают, что человеческий род произошел от одной первоначальной четы. Другие полагают, что на земле было несколько Адамов, следовательно их потомство не имеет ничего общего в происхождении. Известный английский натуралист профессор Гексли прочел 17 мая в Лондонском королевском институте лекцию в целях поддержки теории о единстве происхождения человеческих рас. Свои выводы Гексли основывает на сравнительном изучении жителей Южной Америки и острова Тихого Океана.

«Отечественные записки»,
июль 1866 г.



Асмар Мансым-кзы Салахова 1812 года рождения живет в Армянской ССР

150-летний азербайджанский крестьянин Ширин Гасанов



одна другую в зависимости от уровня развития науки, совершенства существующих методик и от возможности проникновения в тайны стареющего организма. Одна из наиболее древних, но достаточно четко высказанных гипотез содержится еще в сочинении Аристотеля «О молодости и старости», написанном им более чем за 300 лет до нашей эры. По его мнению, старение вызывается расходом «прирожденного тепла», которым располагает каждое живое существо с начала его индивидуальной жизни.

Значительный вклад в развитие современных представлений о причинах и природе старения внесли своими работами ученые нашей страны. Старение широко освещалось в трудах И. И. Мечникова, который заложил основы экспериментального изучения этого процесса. Большую роль играют работы школы И. П. Павлова по изучению особенностей высшей нервной деятельности стареющего организма. Важные данные об обмене белков были получены А. В. Нагорным, идеи которого успешно развиты его учениками И. М. Буланкиным и В. Н. Никитиным.

Существенное значение в изучении проб-

лемы долголетия имеют труды А. А. Богомольца и его школы. А. А. Богомолец обосновал идею о том, что старение связано с ослаблением реактивности организма. Он рассматривал этот процесс как результат постепенного ослабления реактивности клетки, в основе которого лежат биохимические и биофизические ее изменения и постепенная утрата способности к размножению и обновлению своих структурных элементов.

Многие из ранее предложенных теорий старения, по-видимому, правильно отражали отдельные стороны этого сложного биологического процесса, однако общим недостатком была их однородность. Между тем получить правильные представления о механизмах старения можно, если учесть общие закономерности регуляции обмена веществ и функций в живом организме. В последние годы в биологии были сделаны открытия, позволившие по-новому подойти к изучению механизма старения. Современные теории построены с учетом новейших данных о синтезе белка, о наследовании изменений структуры молекул белка, с учетом саморегуляции, которая воздействует на все процессы, происходящие в организме, и которая способна значительно изменяться, приспособ-



ливаясь к новым условиям, возникающим в стареющем организме.

Большие работы по исследованию механизмов старения проводятся в Институте геронтологии Академии медицинских наук СССР (Киев) — наиболее крупном научном учреждении, комплексно разрабатывающем актуальнейшие проблемы геронтологии, и в ряде других научных учреждений биологического и медицинского профиля.

В работах Института геронтологии АМН СССР наибольшее внимание уделяется изучению тех изменений регуляции функций и обмена веществ, которые происходят в стареющем организме. Эти изменения, по современным данным, начинаются уже в зрелом возрасте и прогрессивно развиваются от 45 до 59 лет. Условно этот возраст обозначают как средний, предшествующий пожилому (60—74 года) и старческому (старше 75 лет). Уже в зрелом и тем более в среднем возрасте происходит определенная перестройка деятельности нервной системы и желез внутренней секреции, обуславливающая, с одной стороны, развитие процессов угасания, с другой, — приспособления, адаптации к новым условиям, наступающим при старении организма.

В Институте геронтологии АМН СССР исследуются пути профилактики преждевременного старения на различных уровнях. Большое значение придается процессам синтеза нуклеиновых кислот, осуществляющих создание белковых молекул; глубоко изучаются структурные изменения клетки, накопление в ней продуктов белка, функции ферментов и их воздействие на клеточный метаболизм. В ряде лабораторий исследуются изменения структуры, функций органов экспериментальных животных разных возрастных групп под влиянием на их нервную систему различных раздражителей и изменений внутренней среды организма. Эти исследования широко переносятся в клинические условия. Результаты их уже позволили объяснить многие неясные стороны функциональных изменений нервной и эндокринной систем, их взаимоотношений в процессе старения и влияния на деятельность всего организма. Эти данные позволяют более обоснованно применять различные средства и методы, способствующие нормализации обмена веществ в стареющем организме и поддерживающие его ослабевающие функции.

Как показали многочисленные наблюдения,

в организме человека процесс старения происходит далеко не однородно, поражая в первую очередь сердечно-сосудистую систему. Эта система наиболее тесно связана с развитием структурных изменений, деятельностью нервной и эндокринной систем, с состоянием различных видов обмена. Она поэтому привлекает и наибольшее внимание работающих в области геронтологии.

В Институте геронтологии получила дальнейшее развитие идея А. А. Богомольца о значении изменений соединительной ткани в жизнедеятельности стареющего организма. В частности, в некоторых лабораториях исследуются процессы старения в опорно-двигательном аппарате, защитные функции организма, определяемые его иммунологической реактивностью, а также изыскиваются возможности физиологических воздействий, которые могли бы затормозить старение соединительной ткани.

До каких пределов может быть продлена жизнь человека, каковы перспективы долголетия не только для отдельных индивидуумов, организм которых обладает пока недостаточно выясненными свойствами долголетия, но и для широких масс человечества? Даже в научной литературе мнения по этому вопросу довольно разноречивы, и возможные сроки длительности человеческой жизни колеблются в диапазоне 100—150 лет. Освещая данный вопрос, следует напомнить, что в то время, как биологический предел жизни на протяжении веков почти не меняется, средняя продолжительность жизни подвергается значительным и быстрым изменениям.

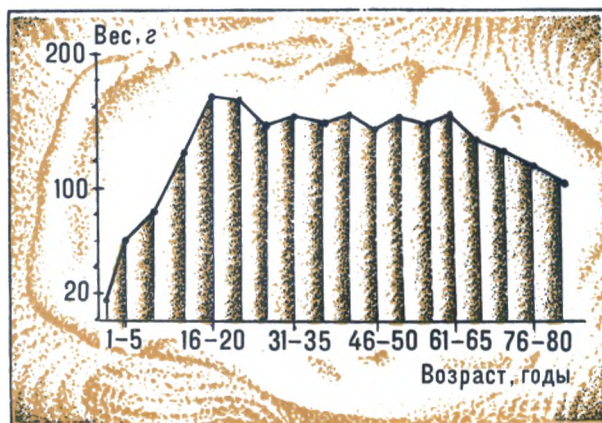
Видный советский социальный гигиенист

и геронтолог З. Г. Френкель отмечает, что способность человека к долговечности является относительно наиболее устойчивым видовым признаком. «Меняется не приращенная, передаваемая в виде задатка способность жить до 100 лет или несколько более, а возможность проявить эту способность для большей или меньшей массы людей в зависимости от обстановки их жизни, а эта обстановка, в свою очередь, определяется социально-экономическим положением».

В свою очередь нередко задается вопрос: была ли средняя продолжительность жизни более высокой в доисторические времена, когда человек стоял значительно ближе к природе, чем наш современник, но, по-видимому, и в большей степени подвергал свою жизнь опасности в борьбе за существование? Хорватский ученый М. Д. Грмек указывает на необходимость пересмотреть прежнее широко распространенное неправильное представление о будто бы большой длительности жизни наших далеких предков. Изучение остатков человеческих скелетов, относящихся к раннему и позднему периодам каменного века, позволяет предполагать, что они принадлежат молодым людям. Считают, что индивидуумы старше 50 лет не составляли и одного процента. Установлено также, что у примитивных племен средняя продолжительность жизни была очень низкой. Есть достаточно веские данные о том, что и в древнем Риме она определялась 20—30 годами. К такому же выводу пришли исследователи, изучавшие длительность жизни в древней Элладе.

О том, насколько благоприятно влияют коренные изменения условий жизни широ-

1. Возрастные изменения веса селезенки
2. Изменения жизненной емкости легких
3. Влияние возраста человека на рост почек



ких масс населения, свидетельствует опыт Советского Союза. В дореволюционной России средняя продолжительность жизни населения была не многим выше, чем в I веке в древнем Риме, и достигала 32 лет. В настоящее время она равна 70 годам (для мужчин — 65 лет и для женщин — 73 года). За очень короткий срок, прошедший после Великой Октябрьской социалистической революции, в СССР значительно уменьшилась общая смертность населения — более чем в 4 раза, и особенно детская смертность — более чем в 8,5 раза (с 27,3% до 3,2%). Расчеты показывают, что из каждой тысячи родившихся сейчас в СССР будут жить в XXI веке 900 человек, а столетие Великой Октябрьской революции отметят более 800 человек. Таковы итоги полувековой борьбы за благосостояние, культуру, за здоровье и счастье всех советских людей.

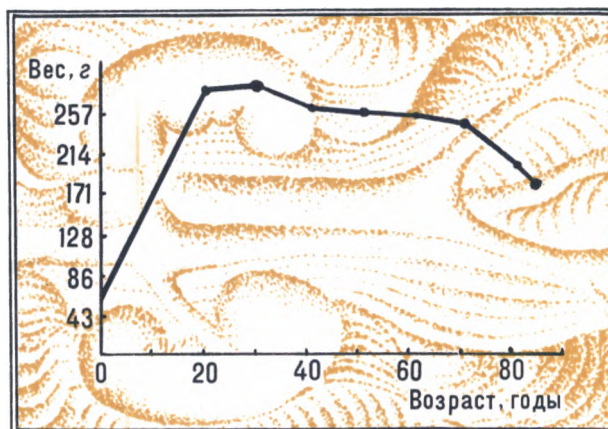
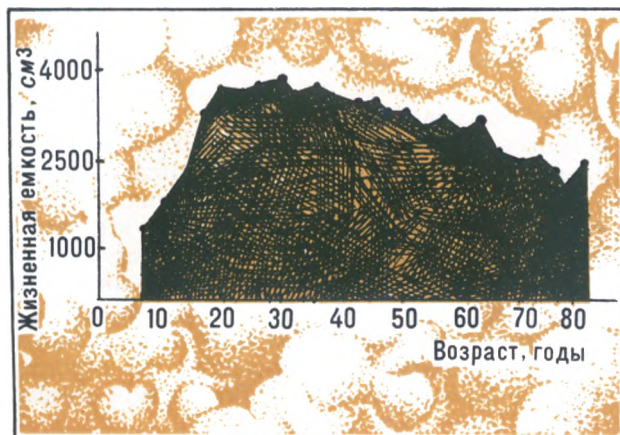
Демографические сдвиги последних десятилетий, изменения в состоянии здоровья людей старших возрастных групп явились стимулом быстрого развития гериатрии, органически связанной с клинической геронтологией. В течение последних 20 лет гериатрическое движение характеризуется большим размахом работ, созданием национальных и международных объединений научных и практических работников медицины, большой активностью органов здравоохранения и социального обеспечения.

Клиническая гериатрия, успешно начатая работами великого русского клинициста С. П. Боткина в конце прошлого столетия и в начале нашего века И. Л. Насером, которого американские авторы называют «отцом гериатрии», в настоящее время приобре-

тает, подобно педиатрии, особенности самостоятельной медицинской специальности.

Научный аспект гериатрии весьма широк, ее задачи можно было бы сформулировать как: 1) необходимость выяснения возможностей нормализации обменных и других физиологических процессов в стареющем организме; 2) изучение особенностей развития клинического течения, лечения и профилактики различных заболеваний у людей пожилого и старческого возрастов и 3) использование средств и методов восстановления и нормализации жизнедеятельности их организма в борьбе с патологическими процессами.

В настоящее время все более ясным становится, что обычные возрастные изменения часто оказываются основой болезней людей пожилого и старческого возрастов, что взаимоотношения физиологических, возрастных изменений и развивающейся патологии являются главными в развитии клинической гериатрии и, что особенно важно, в профилактике различных заболеваний у людей старших возрастных групп. До настоящего времени профилактике клиницисты уделяли очень мало внимания, так как оно концентрировалось исключительно на распознавании и лечении уже развившихся заболеваний. Между тем не вызывает сомнения, что снижение резервных, приспособительных возможностей организма пожилых и старых людей, уменьшение их реактивности, обусловленные постепенно нарастающими изменениями структуры и функции клеток, органов и систем, нарушают правильное течение обменных процессов, жизнедеятельности организма. Переход этих количественных из-



74 менений, нарастание которых у естественно стареющих людей в течение многих лет и до конца их жизни проходит без выраженных болезненных явлений, в качественные возмозжен при влиянии различных причин и в первую очередь неадекватных для стареющего организма нагрузок, в том числе инфекционных болезней, часто вызывающих развитие недостаточности организма. В измененном стареющем организме возможности поражения болезнью при воздействии внешних факторов всегда выше, чем в организме человека молодого или зрелого возраста. Сила фактора, вызывающего болезнь, в этих случаях может быть весьма небольшой. Возрастные изменения могут быть настолько выражены, что они сами собой по существу перерастают из физиологических в патологические, обуславливающие клинические проявления различных заболеваний.

В гериатрии имеет значение не столько болезнь сама по себе, сколько ее течение, обусловленное физиологией стареющего организма. В свете этого особое значение приобретает одно из основных положений отечественной медицины — сугубо индивидуальный подход к лечению больного.

Накапливающиеся данные о действии различных медикаментозных средств в гериатрической практике свидетельствуют о необходимости научного развития фармакологии старческого возраста. Особенности стареющего организма обуславливают необходимость пересмотра дозировок многих лекарств, применяемых для лечения различных острых и хронических заболеваний.

Весьма важным разделом гериатрии является правильно организованная восстановительная терапия, к сожалению, не получив-

шая еще достаточно широкого распространения в наших лечебных учреждениях. Это весьма важный фактор в борьбе с инвалидностью пожилых людей, особенно перенесших мозговые инсульты, инфаркты миокарда, переломы костей и т. д. В период восстановительной терапии должен быть правильно решен вопрос о трудоустройстве, приобретении навыков новой профессии.

Относительно новый раздел гериатрической медицины — применение методов и средств терапии старости. Старение в отличие от старости — рано начинающийся процесс, и борьба с преждевременным старением по существу — борьба за здоровые основы общественной и индивидуальной жизни человека. Терапия старости — терапия организма, у которого появились новые признаки, превращающие взрослого в старика. Конечно, пока нельзя говорить об омоложении, трудно думать и о возможности значительно замедлить скорость старения, однако современные данные позволяют надеяться, что будут устранены некоторые нарушения обмена веществ состарившегося человека. Правильный образ жизни человека — режим труда, питания, отдыха, использование витаминотерапии, анаболических (воздействующих на обмен) гормонов и других, к сожалению, пока весьма немногочисленных средств позволяет значительно повысить приспособительные возможности старческого организма.

Пожилые люди по-разному воспринимают наступающую старость. Одни продолжают считать себя по-прежнему полными сил, не желают изменить свой образ жизни, а указания на физические недомогания, в которых проявляется старение организма, воспринимают как личную обиду. Другие, критически анализируя свое состояние, приходят к мысли о приближении старости и стремятся изменить режим труда и отдыха и рацион питания. Естественно, что в этих случаях нужен индивидуальный подход и терпеливое разъяснение необходимости изменения поведения на новом этапе жизни. По-видимому, было бы разумно задолго до наступления старости научить людей понимать постепенные возрастные изменения организма.

Не случайно в течение последних лет почти на каждом международном конгрессе, конференции по медицине ставится вопрос о наилучших формах гериатрической помощи, о подготовке врачей и медицинских сестер по гериатрии. В 1963 г. он был основным на международном симпозиуме по геронтологии в Киеве, созванном Всемирной органи-

Сто лет назад

ПЕТЕРБУРГ

Число людей, проживающих ныне на земном шаре, простирается до одного миллиарда. Они говорят на 3064 известных языках. Среднее число жизни определяется в 33 года 6 месяцев. Четвертая часть детей умирает до достижения 7-го года, а половина до 17 лет. Из ста человек шестеро достигают 60-летнего возраста и выше, из 600 один только доживает до 80 лет, а из 1000 — один только до 100 лет.

«Биржевые ведомости»,
1 февраля 1866 г.

зацией здравоохранения. Вопрос о наилучших формах организации гериатрических стационаров был одним из программных на IV Европейском конгрессе по клинической геронтологии, состоявшемся в сентябре 1965 г. в Италии.

Почти во всех странах Европы гериатрические учреждения амбулаторного и стационарного типа вошли в номенклатуру учреждений здравоохранения, и их развитию уделяется много внимания.

Одной из важнейших проблем гериатрии считается организация труда пожилых и старых людей как работающих, так и пенсионеров, их режим и рацион питания, отдых,

в том числе активный. Этот раздел гериатрии настолько велик и важен, что в зарубежной литературе он все больше приобретает значение самостоятельного раздела гигиенической науки — герогигиены.

Борьбу за здоровую старость, за активное долголетие следует вести в продолжение всего периода развития и увядания человека. Изучить механизмы старения, научиться воздействовать на биохимические процессы, ускоряющие старение и приближающие старость, одна из центральных задач медицинской науки, в решении которой работающим в области геронтологии и гериатрии принадлежит важнейшая роль.



ДИЕГО ГОНЗАЛЕС МАРТИН
(*Martín*) (р. 1923) — кубинский нейрофизиолог, профессор, работает в Институте нейрофизиологии и психологии в Гаване.

Родился в Гаване. Там же в университете изучал проблемы психологии. После окончания университета в 1951 работал во Франции, а в 1953 в Румынии в Институте физиологии, где под руководством профессора А. Крейндлера начал проводить эксперименты, связанные с условными рефлексами. Им написано много книг и статей. Наиболее известна книга «Условный рефлекс и электрическое действие головного мозга».

ДИЕГО ГОНЗАЛЕС МАРТИН

ИЗУЧЕНИЕ

СТРУКТУР МОЗГА

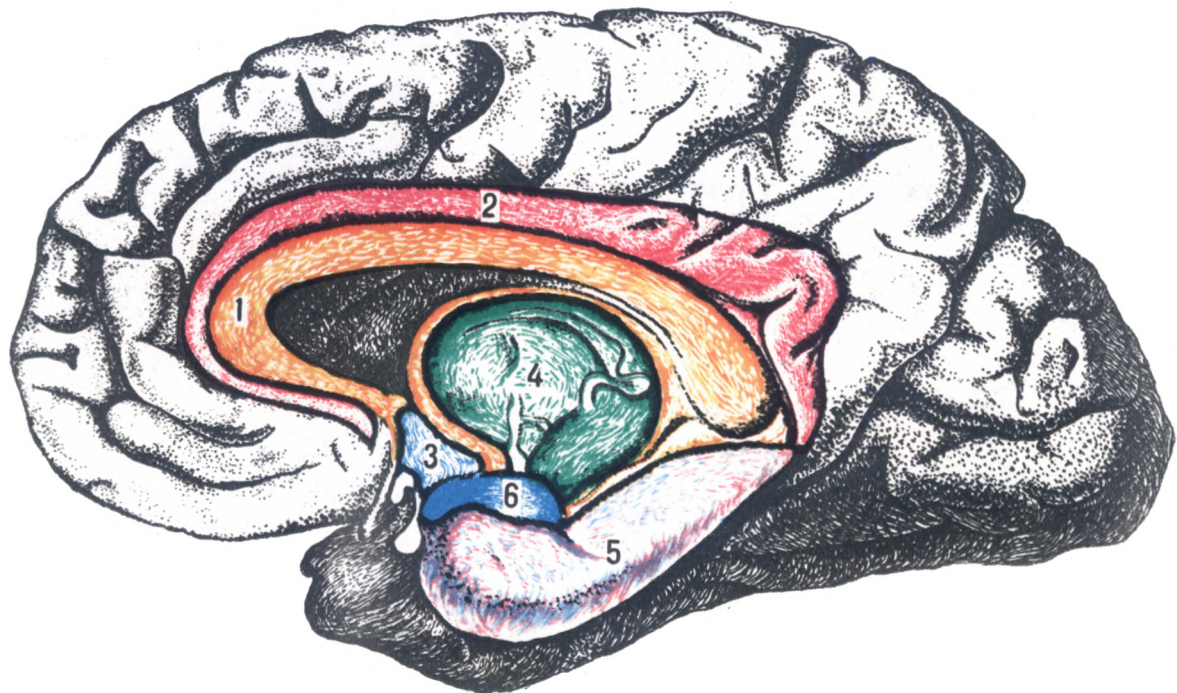
В 1961 г. на Кубе был основан Институт нейрофизиологии и психологии. Объединение этих наук мы считаем принципиальным, так как обе они тесно связаны: одна и та же проблема взаимоотношений между человеком и окружающей средой изучается различными методами. Институт разделен на три отделения: нейрофизиологическое, психологическое и психосоциологическое. Как нейрофизиолог я буду говорить только о своей области науки.

Сейчас нейрофизиологи нашего института уделяют большое внимание изучению соотношений коры и подкорки, которые в конечном итоге обеспечивают комплексную деятельность целого мозга. При этом широко применяются электрофизиологические эксперименты и метод условного рефлекса.

Некоторые ученые придерживаются теории, согласно которой в основе поведения,

точнее его мотивации, лежит внутреннее побуждение, внешняя среда является всего лишь местом действия, поэтому взаимосвязи внешних и внутренних факторов не придается достаточного значения. Эта теория подчеркивает роль внутренних факторов как мотивов поведения, что недооценивалось многими учеными, однако, по нашему мнению, она преувеличивает их значение.

Недавно в США были проведены опыты, которые, казалось, подтверждают правильность этой теории. В мозг крысы вживляется электрод, при помощи которого крыса, нажав на педаль, получает раздражение, вызывающее у нее чувство «удовольствия». Раздражение прекращается через полсекунды после включения, даже если крыса продолжает нажимать на педаль; поэтому для нанесения повторного раздражения крыса должна отпустить педаль и снова нажать на нее. Если



Лимбическая система мозга: 1 — мозолистое тело; 2 — поясная извилина; 3 — гипоталамус; 4 — таламус; 5 — гиппокамповая извилина и гиппокамп; 6 — миндалевидный комплекс (изображен условно, в действительности его не было бы видно, так как он расположен за гиппокампом)

во время самораздражения электрическая цепь прерывается экспериментатором, так что надавливание на педаль перестает вызывать раздражение, животное продолжает настойчиво нажимать на педаль. Интересная особенность эксперимента заключается в том, что самой крысе предоставляется возможность «заявить», какую эмоцию она переживает — приятную или неприятную. Ученые, проводившие этот опыт, утверждают, что

в данном случае внешняя среда не влияла на поведение крысы.

Многие физиологи придерживаются другого мнения и считают, что мотивы любого действия основаны как на внутренних, так и на внешних факторах. Можно добавить, что взаимоотношения этих двух групп факторов весьма сложны, так как внутренние факторы в свою очередь во многом зависят от внешних. Например, в приведенном выше опыте

крыса переставала нажимать на педаль, убедившись, что приятное раздражение прекратилось. Это нельзя истолковать иначе, как влияние внешних факторов, в данном случае связанных с разрывом электрической цепи. В обычных же условиях роль внешних факторов еще заметнее.

Мы проводили эксперименты, исследуя так называемую лимбическую систему мозга. Лимбическая система объединяет ряд анатомически и функционально разнородных образований головного мозга, обеспечивающих такие врожденные реакции организма, как пищевая, половая и оборонительная. Особенно важное значение лимбическая система имеет в регуляции функций внутренних органов и поддержании постоянства внутренней среды. Филогенетически, то есть с точки зрения происхождения, большая часть лимбических структур относится к «обонятельному мозгу».

В течение долгого времени он не привлекал внимания физиологов и клиницистов, зато теперь интенсивно изучается различными специалистами. Согласно общепринятой в настоящее время точке зрения, гипоталамус, передние таламические ядра, поясная извилина, септум, гиппокамп, миндалевидный комплекс и другие структуры обонятельного мозга составляют анатомическую основу эмоционального поведения. В связи с тем, что не все структуры обонятельного мозга имеют отношение к функции обоняния, их стали называть лимбической системой.

Что же случается, когда производится разрушение в эксперименте тех или иных образований, относящихся к лимбической системе?

Гипоталамус, таламические ядра, септум, гиппокамп, миндалевидный комплекс — подкорковые образования головного мозга, расположенные в глубине него и участвующие в приеме, передаче и обработке информации, которая поступает в мозг в результате различного рода раздражений, исходящих из внешней и внутренней среды организма.

Поясная извилина — область коры головного мозга, расположенная симметрично на срединных, обращенных друг к другу поверхностях больших полушарий.

Одной из основных функций этих образований является энергетическое обеспечение сложной и многообразной деятельности коры головного мозга. Каждое из этих образований играет определенную роль в формировании саморегулирующихся функциональных систем организма, обуславливающих поддержание жизненных констант и определяющих различные виды функций его сложной комплексной деятельности, включая поведенческие акты.

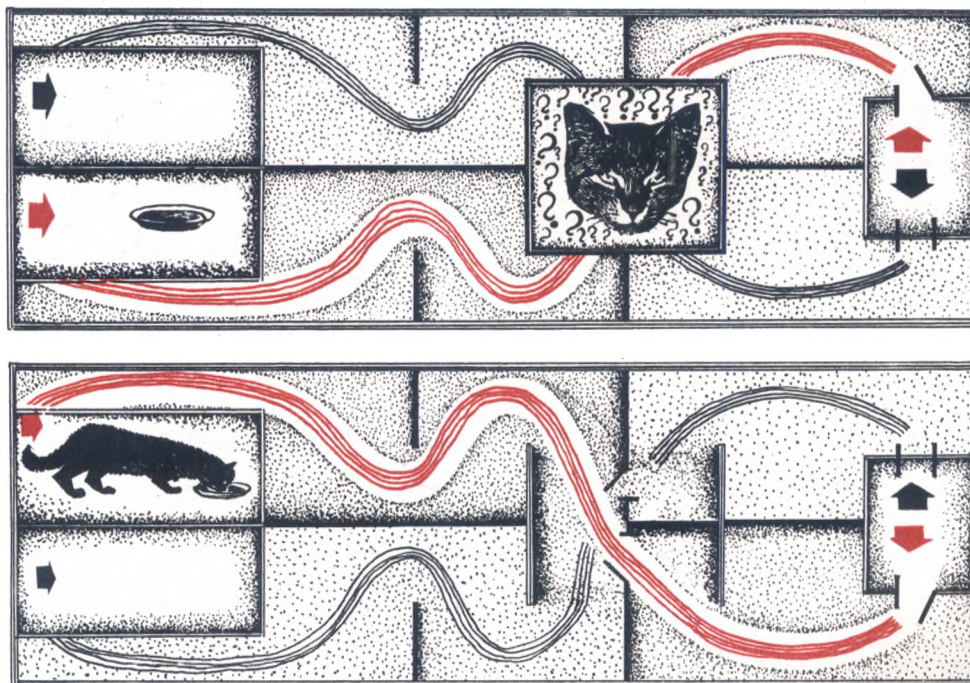
Такой опыт мы проводили в своем институте. У кошек производили электролитическое повреждение миндалевидного комплекса. После операции животные казались нормальными, и увидеть разницу между оперированной и неоперированной кошкой можно было только при тщательном исследовании. Так, мы заметили некоторые изменения особенно в эмоциональном аспекте поведения: оперированные животные, как правило, становятся очень спокойными. Такая реакция была описана и другими учеными. Некоторые исследователи наблюдали нарастание страха и агрессивности. Я в своих опытах тоже встречал подобную реакцию. Некоторые эффекты могли быть связаны с повреждением других структур во время операции, чем и вызывались, по-видимому, эти необычные реакции. Работы по изучению влияния разрушений в лимбической системе на эмоциональное поведение немногочисленны, а их данные противоречивы.

В нашем институте мы провели еще один эксперимент с оперированными и неоперированными кошками. Животное помещали в лабиринт, и оно должно было выбрать правильный путь к месту, где находилась пища. Сначала кошку сажали в камеру с двумя дверцами; от каждой из них шла дорожка. Путь, который животное должно было пройти по лабиринту, зависел от того, какую дверцу открывал экспериментатор. Из камеры кошка направлялась к центру лабиринта, где обе дорожки пересекались, и здесь она должна была правильно решить задачу, то есть продолжить свое путешествие к пище именно по той дорожке, по которой она его начала. (В этом случае животное получало пищу). Надо учесть, что животных обучали правильно решать эту задачу еще до того, как им производили повреждение миндалевидного комплекса и у них уже выработался необходимый условный рефлекс.

Мы установили, что оперированные животные так же хорошо решали эту задачу, как и нормальные, даже при небольшом изменении ситуации эксперимента (камеру с кошкой помещали в разных углах лабиринта), если же изменения были значительными (в лабиринте проводили еще несколько дорожек), то животные не выполняли задание. Чтобы обучить оперированных животных правильной реакции, нужно провести очень большое количество тренировок, в то время как нормальные животные быстро приобретают навык к выполнению задания. На каждой стадии наших опытов реакция живот-



Электролитическое повреждение миндалевидного комплекса. (Стрелками указаны места повреждений)



Так был построен лабиринт, описанный в статье. Экспериментатор открывает одну или другую дверцу и в зависимости от этого кошка должна была выбрать тот или иной маршрут. В каждом из этих двух случаев правильный путь обозначен красной линией

ного прямым образом зависели от условий внешней среды.

Факт, что после повреждения миндалевидного комплекса животные могли помнить все, чему их научили до операции, означает, что «долгосрочная память» сохранилась. Следовательно, миндалевидный комплекс не играет решающей роли в долгосрочной памяти. Зато так называемая оперативная память при повреждении миндалевидного комплекса нарушается.

Наши животные все время повторяли одну и ту же ошибку. Возможно, недостаточность памяти у оперированного животного зависит от ослабления процесса торможения после операции.

Таким образом, наши эксперименты позволяют полагать, что лимбическая система принимает участие в формировании механизмов памяти. На такую же мысль наводят работы, выполненные в ряде других лабораторий.

Наряду с этим проводились исследования и других структур лимбической системы. Однако в некоторых случаях трудно было сделать какой-либо вывод. Так, например, после разрушения септума невозможно проследить за условными рефлексамии из-за резкого повышения двигательной активности. Повреждение перегородки у различных видов животных в основном также ведет к усилению двигательной реакции.

Особенно возрос интерес к лимбическим структурам в последнее время в связи с быстрым развитием психофармакологии. Имеются предположения, что вещества, изменяющие настроение, эмоциональный тонус, влияют прежде всего на лимбическую систему.

Конечной целью всех экспериментов по нейрофизиологии является познание закона поведения всего организма, работы целого мозга. Это положение распространяется и на исследования лимбической системы: какое место она занимает в функциях мозга и какую долю участия вносит в его приспособительную деятельность по отношению к внешнему миру? Советские ученые сделали огромный вклад в прояснение этого вопроса. П. К. Анохин и И. С. Бериташвили, изучая механизмы целостного поведенческого акта, исследуют и отдельные структуры, тесно связанные с лимбической системой.

В основе исследований, проводимых школой П. К. Анохина, лежит представление о функциональной системе как единице интегративной деятельности. Ему же принадлежит теория акцептора действия, который является аппаратом предвидения и оценки результатов действия на основе обратной афферентации*. Этим термином, предложенным П. К. Анохиным, обозначается информация о результатах действия, которая полностью совпадает с поставленной целью; такая информация является необходимым звеном любой саморегулирующейся функции организма, в том числе и целенаправленного поведения.

Один из старейших советских физиологов И. С. Бериташвили, основатель Института физиологии АН Грузинской ССР в Тбилиси, открыл много новых путей в этой области науки. Им изучены закономерности координирующей деятельности центральной нервной системы, происхождение так называемых лабиринтных и тонических рефлексивных реакций. Разрабатывая вопросы образования временных нервных связей, синтетическую деятельность коры больших полушарий, физиологические механизмы ориентации животных и человека в пространстве, И. С. Бериташвили вносит большой вклад и в определение функций лимбической структуры.

Лимбическая система является новой областью исследования, и установить точные функции ее структур пока не удалось. В нашей стране такие эксперименты проводятся недавно, этим и объясняется небольшое количество опытов, описанных в статье.

В 1968 г. на Кубе состоится международный конгресс нейрофизиологов, на котором будут представлены доклады и о лимбической системе. Это поможет ученым разрешить некоторые проблемы, связанные с определением функций лимбической системы.

* А ф ф е р е н т а ц и я — возбуждение, возникшее от раздражения какого-либо органа чувств. О б р а т н а я а ф ф е р е н т а ц и я — это информация о результатах, которые полностью совпадают с поставленной целью. Подробнее об этом можно прочитать в статье П. К. Анохина «Новое о работе мозга» в ежегоднике «Наука и человечество. 1965».



НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ВОРОНИН (р. 1904) — историк культуры древней Руси (главным образом архитектуры), доктор исторических наук, профессор.

Родился во Владимире. В 1926 окончил Ленинградский университет по отделению языка и материальной культуры, а в 1931 — аспирантуру Государственной Академии истории материальной культуры в Ленинграде. С 1932 — старший научный сотрудник той же академии, а затем — сменивших ее Института истории материальной культуры и Института археологии Академии наук СССР, где и работает по настоящее время.

Н. Н. Воронин вел раскопки в городах Северо-восточной Руси (1934—1960), а теперь ведет их в Смоленске (1962—1967). Он — автор более 300 печатных работ. Изданная под редакцией Н. Н. Воронина и при его авторском участии «История культуры древней Руси» (т. I и II) удостоена Государственной премии, а в 1965 Воронину за его труд «Зодчество Северо-восточной Руси XII—XV веков» (т. I и II) присуждена Ленинская премия.



ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА АНТОНОВА (р. 1907) — искусствовед, кандидат искусствоведческих наук, заведующая отделом древнерусского искусства Третьяковской галереи. Родилась в Петербурге. В 1934 окончила искусствоведческое отделение филологического факультета Московского университета, в 1949 защитила кандидатскую диссертацию. С 1929 В. И. Антонова работает в Третьяковской галерее, с 1934 — в должности научного сотрудника, а с 1958 по настоящее время заведует отделом древнерусского искусства.

В. И. Антонова — автор ряда научных работ, в том числе монографии «Древнерусское искусство в собрании Павла Корина», а совместно с Н. Е. Мневой — книги «Каталог древнерусской живописи. Опыт историко-художественной классификации», т. I и II.

НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ВОРОНИН
ВАЛЕНТИНА ИВАНОВНА АНТОНОВА

НОВОЕ О ДРЕВНЕРУССКОМ ИСКУССТВЕ

Когда наука непрерывно накапливает новые факты и обобщения, мы привыкаем к ним, перестаем ощущать их значение и самый темп развития науки. По-иному предстают эти факты, когда окидываешь их взглядом сразу за большой период. Тогда они слагаются порой в неожиданную по масштабам панораму истории науки, а значение каждого добытого факта лучше постигается в исторической перспективе.

Это особенно относится к области истории древнерусской архитектуры и живописи. Здесь трудятся археологи, архитекторы, историки искусства, реставраторы всех видов художественных памятников. Мы не менее глубоко, чем представители других отраслей общественных наук, воспринимаем значение 50-летия Советской власти. И особенно остро ощущаем, что Октябрь открыл перед нами не только путь в коммунистическое будущее,

но и неисчерпаемые возможности изучения прошлого—истории родной страны и ее культуры, возможности, о каких не могли и мечтать дореволюционные археологи и реставраторы. Каждый год мы отвоевываем у небытия новые и новые памятники многовековой художественной культуры нашего народа. Если взглянуть со стороны, то археологи и реставраторы—настоящие «чудотворцы», способные «воскрешать из мертвых», казалось, навсегда погибшие шедевры древнерусского искусства.

В рамках небольшой статьи, конечно, нельзя сколько-нибудь полно рассказать о сделанном в этой области науки, и мы должны ограничиться лишь примерами, позволяющими судить по части о целом. Следует также оговориться, что речь пойдет о древнерусском искусстве, связанном большей частью с церковью, ее архитектурой,

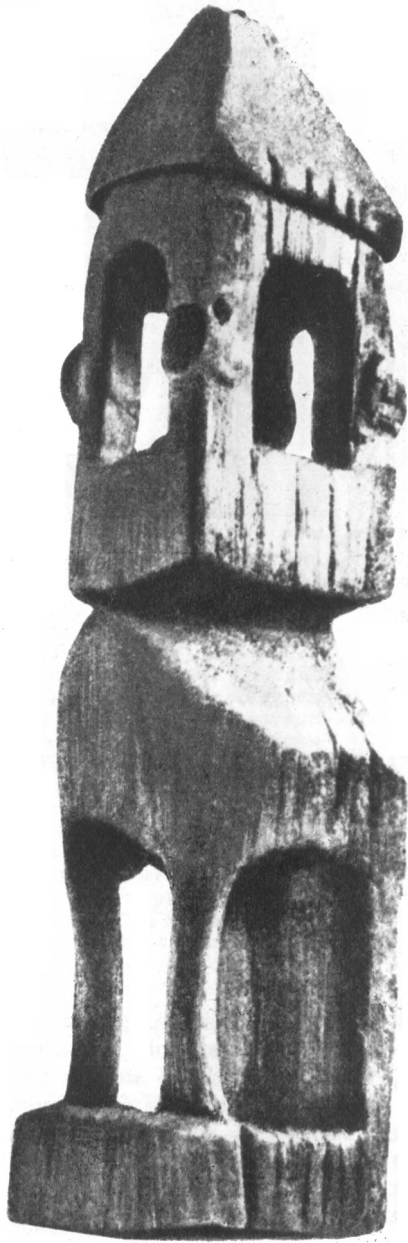


Рис. 1. Деревянная «модель» терема. Новгород. X—XI вв.

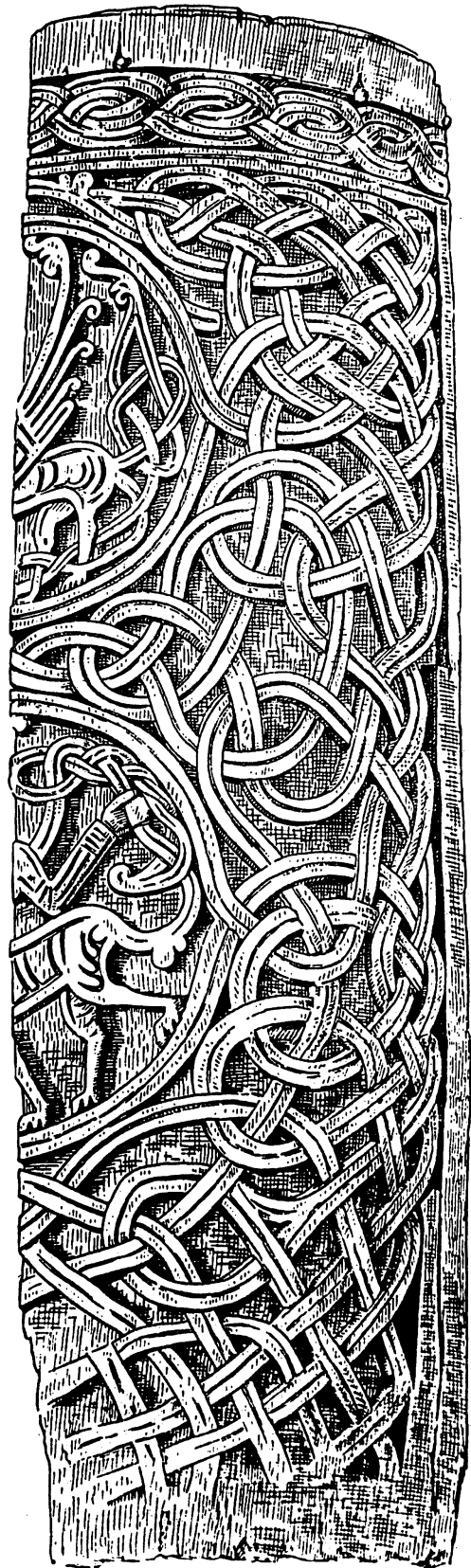


Рис. 2. Деревянная резная колонна. Новгород. XI в.

рописями, иконами. И это понятно: в эпоху средневековья господствующей идеологией была религия, а храмы, строившиеся из камня или кирпича, дошли до нас сквозь огонь пожаров. Творцами всей средневековой материальной культуры и искусства были не феодалы и духовенство, а народные мастера.

* * *

Чтобы дать представление о масштабах сделанного в области изучения архитектуры,

помощь в объяснении природы этих див человеческого гения. Складывалось и крепло представление об отсталости Руси, в том числе и в области искусства, о том, что развитие ее определяли «варяги». Ученые словно забывали о том, что над Русью прошли не просто столетия, но страшные грозы феодальных войн, татарщины и «смутного времени», несчетные пожары и другие бедствия, которые уничтожили множество древних зданий, вырвали целые страницы истории



Рис. 3. Софийский собор в Киеве. 1037 г. Макет-реконструкция

достаточно указать лишь на одну область — историю древнейшего русского зодчества X—XIII вв. Дореволюционная наука располагала всего 40 памятниками этой поры, в большинстве случаев неузнаваемо искаженными позднейшими переделками. История зодчества рисовалась крайне бедной; казалось, в пустыне поднимались загадочные в своем совершенстве отдельные памятники — Софийский собор в Киеве, сияющие красотой белокаменные храмы Владимирской земли, могучие творения новгородских зодчих и др. «Теория влияний» приходила на

русской архитектуры. Сейчас благодаря трудам археологов число известных науке построек X—XIII вв. превышает 150. Особенно быстрый рост новых открытий приходится главным образом на послевоенные годы. 40 и 150! Это неплохой итог, позволивший почти наново представить древнюю историю русской архитектуры.

Мы догадывались, что началу каменного монументального строительства, связанному с принятием в конце X в. христианства, предшествовала еще не ведомая нам история доревянной архитектуры. Раскопки в Новго-

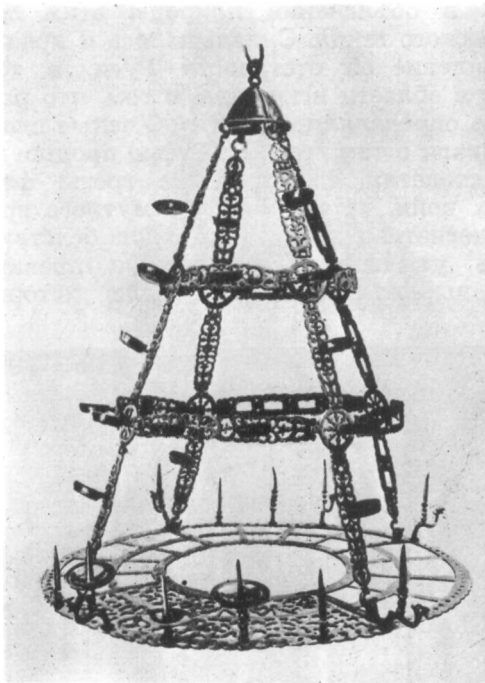


Рис. 4. Бронзовая люстра-хорос. Переяславль-Южный (Хмельницкий). XII в.



Рис. 5. Фрагмент мозаичного пола. Благовещенский собор в Чернигове. XII в.

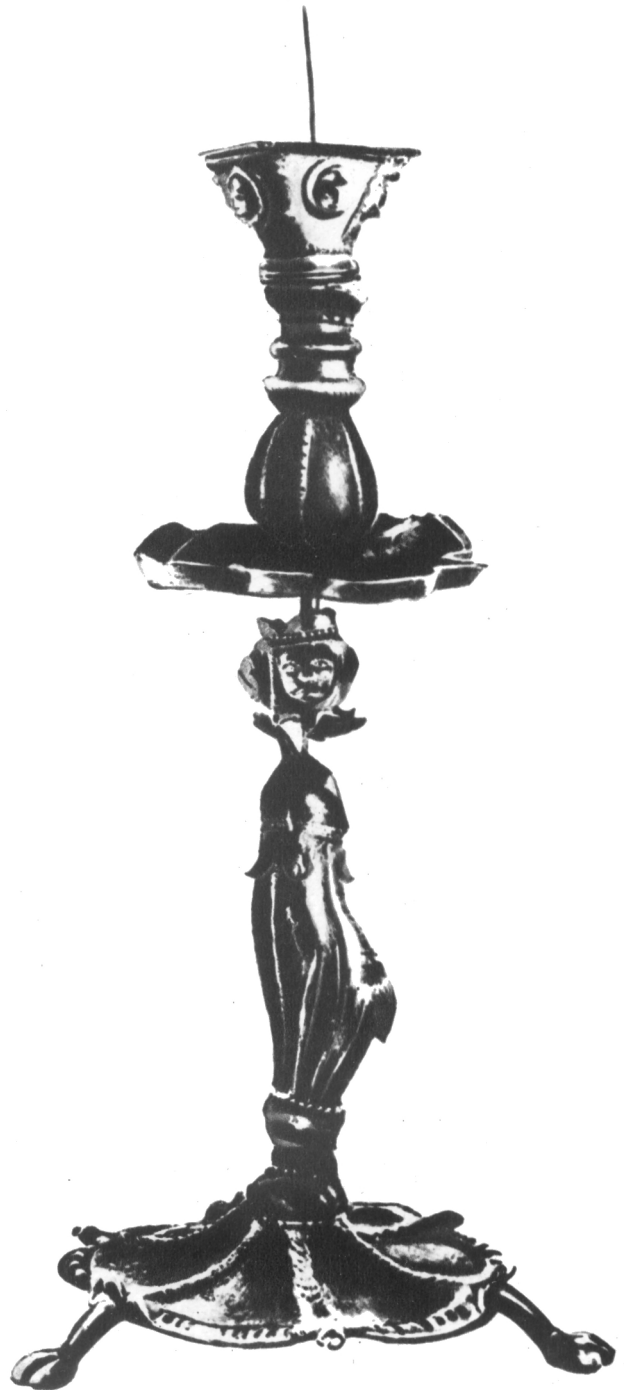


Рис. 6. Бронзовый горшер-подсвечник. Переяславль-Южный (Хмельницкий). XII—XIII вв.

роде Великом, проводившиеся под руководством профессора А. В. Арциховского*, дали две замечательные находки. Деревянная резная «модель» высокого двухэтажного терема с четырёхгранной шатровой кровлей (рис. 1) показала важнейший элемент гражданских рубленых зданий IX—X вв. Оплетенная ленточным орнаментом резная колонна с изображениями грифона и кентавра (рис. 2) засвидетельствовала глубокие корни искусства декоративной резьбы, прославившей позднее владимирскую белокаменную архитектуру. Русь воспринимала уроки византийского каменного зодчества подготовленной, со своими вкусами в монументальном строительстве и декоративном уборе зданий. Это объясняет, почему уже первые каменные постройки на Руси характеризовались своеобразием.

Полное исследование профессором М. К. Каргером руин древнейшего каменного здания — Десятинной церкви в Киеве (1989—1996 г.), разрушенной монголами в 1240 г., позволило воочию убедиться, что уже эта первая постройка площадью около 900 м², увенчанная, по словам летописи, 25 «верхами», то есть главами, была грандиозной по замыслу и живописной по композиции.

Также многоглавым был 13-верхий собор киевской Софии. Его начальный облик, скрытый ныне за переделками поры пышного украинского барокко, теперь восстанавливается учеными с большой точностью (рис. 3). Оказалось также, что храм был окружен крепостной стеной митрополичьего замка. Все это существенно изменило и наши представления о характере центрального архитектурного ансамбля древней русской столицы.

Тяга к грандиозности и пышности архитектуры не угасает до начала XII в., когда в Вышгороде, под Киевом, строится в честь первых русских святых — князей Бориса и Глеба — огромный храм площадью 600 м².

Данные раскопок раскрыли исключительное богатство монументального декора церковных зданий: остатки фресковой и мозаичной росписи, роскошных полов, инкрустированных цветным камнем, мозаичных или из цветных майоликовых плиток и т. п.

Крупнейший центр Киевской Руси — Переяславль-Южный (ныне — Хмельницкий) — был представлен в истории зодчества лишь

заманчивыми сведениями летописи о большом строительстве здесь митрополита Ефрема в конце XI в. Оказалось, что это лишь один этап истории переяславской архитектуры. При раскопках М. К. Каргером был открыт величественный митрополичий Михайловский собор, своеобразный по композиции, с могучими подкупольными столбами, галереей, притворами и различными пристройками. Как и София киевская, он был окружен каменной крепостной стеной. Открытые при раскопках боярские и монастырские храмы Переяславля характеризуются разнообразием назначения, размеров, планировки и композиции. В одном из этих храмов была найдена сильно поврежденная пожаром бронзовая люстра — хорос (рис. 4) и украшенный литыми львиными масками бронзовый торшер-подсвечник (рис. 5). Так раскопки воссоздали доселе неведомую историю Переяславского зодчества XI—XII вв.

Подобным же образом была обогащена новыми памятниками история архитектуры Чернигова и связанной с ним Старой Рязани, Галича и Владимира-Волынского, Минска и Гродно, Полоцка и Смоленска, Новгорода и Пскова. Эти открытия впервые позволили оценить богатство и разнообразие творчества русских зодчих, особенности местных архитектурных школ и их взаимосвязи в художественном и техническом отношении.

Так, большой Благовещенский собор в Чернигове (1186 г.), исследованный академиком Б. А. Рыбаковым, сохранял в своем декоре прием драгоценных мозаичных полов (рис. 6), а храм Бориса и Глеба XII в. сочетал кирпичную кладку стен с резными из белого камня деталями (рис. 7), как это было и в постройках Старой Рязани (рис. 8). Для черниговских зодчих было характерно членение фасадов мощными полуколоннами, и, может быть, подражая белокаменной кладке, штукатурили кирпичные стены, порой расчерчивая их белую поверхность, имитируя ряды блоков белого камня. В маленькой столице пограничного княжества Гродно, вдаль от контролирующего глаза церковных властей, зодчие создали здания, пленяющие живописным и радостным убором фасадов вставками огромных цветных полированных валунов и сверкающих майоликовых плиток (рис. 9). В древнем Минске были открыты руины единственного каменного храма XII в., своеобразного по технике кладки из точно вытесанных мелких кирпичеобразных плит известняка. К сохранившимся памятникам Великого Новгорода прибавился открытый при раскопках большой собор Бориса и Гле-

* См. статью А. В. Арциховского «Археологические открытия в Новгороде», опубликованную в ежегоднике «Наука и человечество. 1965». — Ред.

88 ба, построенный в 1167—1173 гг. знаменитым новгородским торговым гостем Садко Сытиничем, и целый невиданный мир деревянного жилищного строительства. Археологами же открыт древнейший храм Пскова — церковь Димитрия 1143 г., удивившая летописца тем, что зодчие применили непривычный в Пскове строительный материал — кирпич.

Изучение вновь найденных памятников раскрыло картину разнообразия технических и конструктивных приемов древнерусских

зодчих, их достижения и просчеты. Мы теперь располагаем изученными археологами в натуре печами для обжига кирпича и извести XII—XIII вв., сотнями знаков и клейм на кирпиче, еще не ясных нам по своей природе. Теперь можно дать очерк эволюции строительной техники, производства материалов, взаимосвязи архитектурных форм с конструкцией и особенностями материалов и т. п.

Но главный смысл сделанных открытий,



Рис. 7. Резные камни. Борисоглебский собор в Чернигове. XII в.

Сто лет назад
ИСПАНИЯ

Работники, производящие раскопки близ Валенсии в развалинах древнего поселения, открыли камень, имеющий необыкновенное достоинство в глазах археологов. На этом камне начертано имя Ганнибала, но остальная часть надписи сильно повреждена. Ученым удалось пока разобрать лишь несколько слов, они надеются, что и остальное удастся прочесть.

«Голос», 14 марта 1866 г.

из которых мы упомянули лишь о немногих, состоит прежде всего в том, что они показывают необычайно широкий размах древнерусского строительства; они в корне меняют и облик, казалось, известных, прочно вошедших в наше сознание памятников. Благодаря этим открытиям археологами создана новая периодизация истории русского зодчества X—XIII вв., которая, как выяснилось, точно совпала с общей периодизацией истории древней Руси, демонстрируя органическую связь архитектуры с жизнью народа.

Выделен период зодчества Киевской Руси

конца X — начала XII в., характеризующийся величию масштабов грандиозных храмов и пышностью их декора. Архитектура этой поры — общий источник ее последующего развития в период феодальной раздробленности. Этот период представлялся старой науке временем регресса, падения культуры с высот, достигнутых Киевской Русью. Точно так же и развитие зодчества в ту пору представлялось как история быстрого мельчания архитектурной мысли, упадка и огрубения

господством «теории влияний» и позволили увидеть во весь рост своеобразие художественных богатств, созданных гением русского народа.

Подобно тому как культура Киевской Руси была единым и могучим источником последующего развития культуры и в особенности зодчества XII—XIII вв., так и великое культурно-политическое и художественное наследие Владимирской Руси было основой возрождения Русской земли после монгольского



Рис. 8. Резной камень. Старая Рязань. XII в.

техники и т. п. Однако археологи выявили различные по облику, но единые по русскому характеру многочисленные памятники областных архитектур, созданные на протяжении немногим более столетия — XII — начала XIII в. Оказалось, что летописи упоминали лишь о некоторых из множества монументальных зданий, что представления старой науки о бедности архитектуры того времени отражали не историческую действительность, а скудость знаний о ней. Облик и своеобразие памятников, теснейшая связь зодчества с жизнью покончили с безраздельным

Сто лет назад

ОРЕЛ

В селе Никольском при рытье рва крестьянами Яковом и Степаном Лисовскими найден железный шлем с довольно хорошо сохранившейся на нем позолотой, относящейся, судя по его внешней форме, ко времени татарских набегов в пределы Орловской губернии. Шлем этот препровожден в Петербург в Археологическую комиссию.

«Русские ведомости»,
9 июля 1866 г.

90 нашествия. То же владимирское наследство было важным фактором в процессе формирования культуры русской народности и далее русского централизованного государства.

Казалось, что белокаменные здания Владимирской земли XII в., уже более века вошедшие в отечественную науку, довольно полно сохранились и к их числу нечего прибавить. Однако еще в прошлом столетии один из исследователей памятников владимиросудальской архитектуры отметил нашу «пе-

чало классической белокаменной архитектуры на севере кладут в середине XII в. галичские мастера Юрия Долгорукого. К их сохранившимся постройкам раскопки добавили одну церковь Георгия во Владимире. Она не меняла общей картины известного однообразия и суровой скупости зданий той поры.

Иным было зодчество времени княжения Андрея Боголюбского, взявшего курс на объединение Русской земли под рукой «вла-

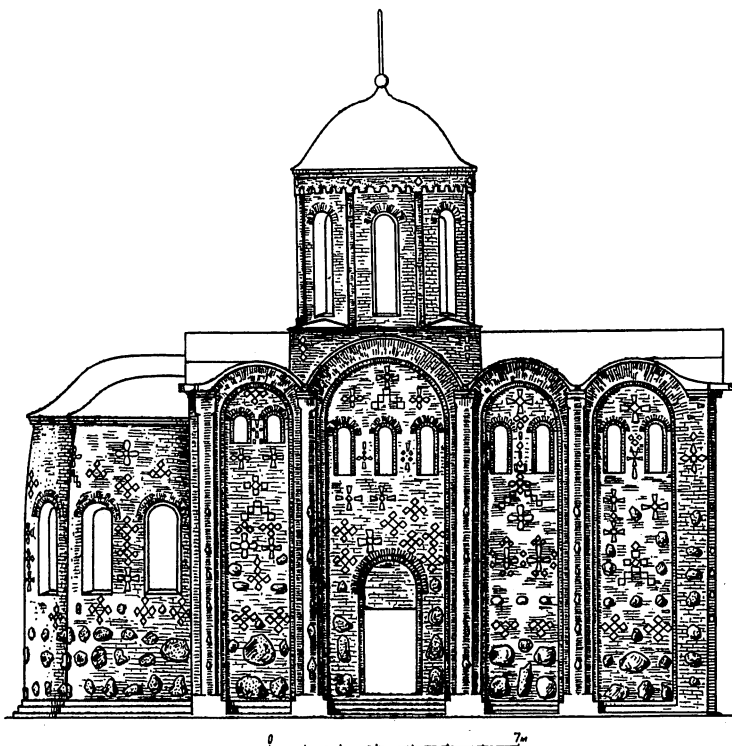


Рис. 9. Коложская церковь. Гродно. Конец XII в. Реконструкция Н. Н. Воронина

чальную бедность» знаний о них. Раскопки, производившиеся в течение ряда лет под руководством Н. Н. Воронина, дали новые памятники и в корне изменили представления о первоначальном облике существующих.

А. Д. Варгановым под фундаментом Суздальского собора XIII в. были вскрыты остатки его предшественника — первого каменного здания на северо-востоке Руси — собора Мономаха начала XII в. Выяснилось, что храм строили киевские или переяславские зодчие, что он был по существу киевской постройкой в Суздальской земле. На-

димирических самовластцев», опиравшихся на поддержку горожан. Архитектурное искусство становится в строй общественной борьбы. Зодчие обстраивают прекрасными зданиями стольный Владимир. В пару к епископскому Успенскому собору столицы в Ростове создают второй, еще более грандиозный Успенский собор, открытый при раскопках. Под Владимиром, по соседству с устьем реки Нерли, вырастает княжеская резиденция — Боголюбовский замок, и на устье Нерли — храм, посвященный новому празднику Покрова богородицы. И все это — в течение всего восьми лет (1158—1165 гг.)!

О древнем Боголюбове, ныне большом селе, мало что можно было рассказать. Здесь среди поздних построек сохранилась башня с лестницей, вводившей на переход к хорам рухнувшего в XVIII в. древнего собора. Сохранились порошые вековыми вязами и бурьяном валы. Не верилось восторженным заявлениям летописца, что «Боголюбов-город» имел каменные стены, что каменными были княжеские палаты, что собор был баснословно украшен «золотом» и т. п. Наши раскопки

лали запаянные свинцом толстые медные плиты. Дворец стоял на вымощенной белым камнем замковой площади, на которой красовалась самая изысканная постройка ансамбля — восьмиколонный златоверхий киворий — «святой шатер» над каменной чашей для освящения воды. Боголюбовский дворец выдерживает сравнение с лучшими образцами дворцового строительства на романском Западе, отличаясь от них своим русским своеобразием.

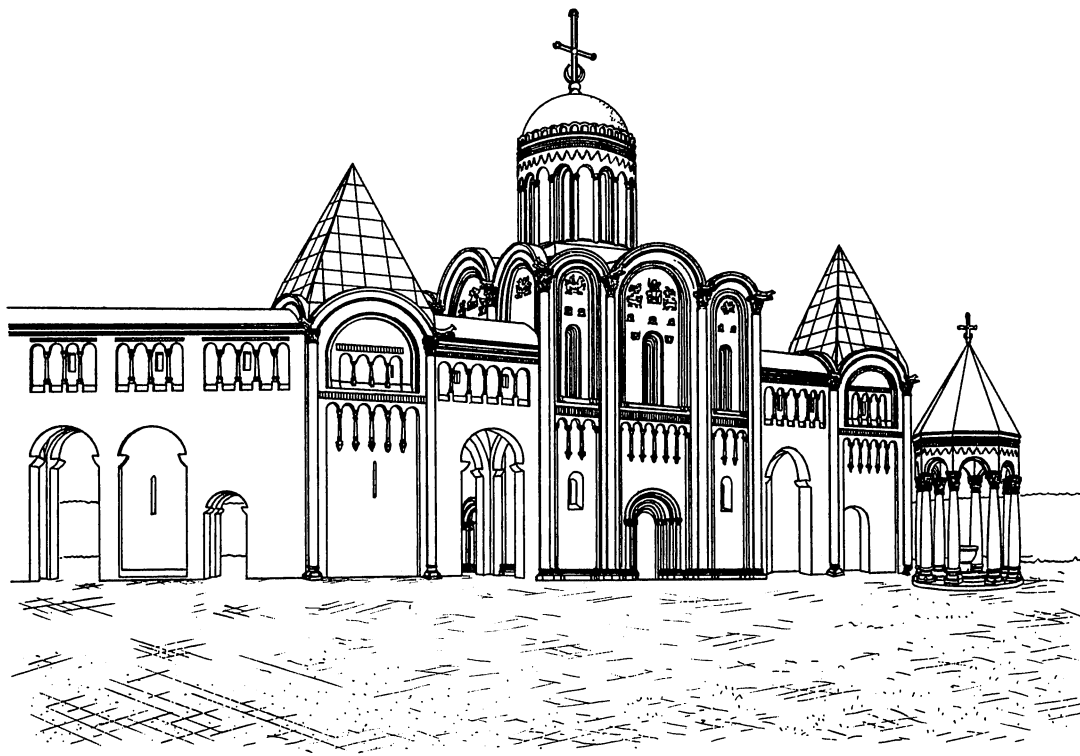


Рис. 10. Боголюбовский замок. Часть дворцового комплекса. 1158—1165 гг. Реконструкция Н. Н. Воронина

показали, что летописец мало преувеличил. Княжеский замок действительно был каменной крепостью, взявшей под свой контроль владение Нерли в Клязьму, а княжеский дворец — белокаменным (рис. 10). От него уцелело северное крыло переходов, ведущее через башню на хоры собора и через них снова на переходы через башню и на стену крепости. Дворцовый храм имел уникальные круглые колонны, несшие хоры и главу. Их гигантские листовые капители были вызолочены, тонкая золоченая медь обволакивала косяки порталов и колонки пояса фасадов, пол усти-

С Боголюбовом связан и прославленный своим художественным совершенством храм Покрова на Нерли (1165 г.), пленяющий ныне нас своей мудрой скромностью и тихим лирическим строем (рис. 11). Идейная программа этой последней постройки андреевских зодчих была сложной и многосторонней: храм был посвящен, как уже было сказано, празднику Покрова богородицы — «покровительницы» Владимирской земли, он был памятником победы 1164 г. над волжскими болгарями и погибшему в этой битве княжескому сыну Изяславу, наконец, храм не слу-



Рис. 11. Покров на Перли. 1165 г. Современный вид

чайно поставлен при устье Нерли — «у ворот» Владимирской земли, чью силу должен был славить язык архитектуры. Археологические и историко-литературные исследования показали, что до нас дошла лишь основная часть первоначального здания. Глубоко в земле были вскрыты белокаменные основания окружавшей храм аркады галереи и мощной стены в ее юго-западном углу, в которой помещалась лестница на хоры и балкон — гульбище. Раскопки восстановили и

менный панцирь холмом в подножии здания, по склону которого спускалась навстречу гостям белокаменная лестница.

В числе археологических находок во Владимире и Боголюбове много деталей убранства зданий: майоликовые плитки цветных набранных в «шахмат» полов, тонкие фигурные цветные плитки, образующие затейливые узоры более сложных и дорогих «мозаичных» полов и т. п. Раскопки принесли и новые драгоценные фрагменты монументальной белокаменной резьбы, начавшей свое стремительное развитие в постройках Андрея Боголюбского. От скромной сдержанности первых опытов скульпторы-декораторы приходят в XIII в. к сплошному резному убору, одевающему храмы от цоколя до главы.



Рис. 12. Покров на Нерли. 1165 г. Реконструкция Н. Н. Воронина

интересную техническую историю постройки. Она возводилась на равнинном пойменном берегу, высоко заливавшемся водами разлива. Чтобы поднять здание над его уровнем, зодчие возвели основание для стен и столбов высотой 5,3 м, скрыли этот грандиозный фундамент в насыпи искусственного холма и облицевали его склоны белым камнем с тесаными желобами для отвода дождевой воды. Таким образом, первоначально храм был очень торжественным и эффектным (рис. 12). Его напоминавшая собор Софии в Киеве яркость была подчеркнута одетым в ка-

тальной белокаменной резьбы, начавшей свое стремительное развитие в постройках Андрея Боголюбского. От скромной сдержанности первых опытов скульпторы-декораторы приходят в XIII в. к сплошному резному убору, одевающему храмы от цоколя до главы.

Венцом творчества владимирских резчиков был Георгиевский собор в Юрьеве-Польском (1230—1234 гг.). По словам летописи, юрьевский князь Святослав украсил новую церковь «богаче других церквей, и снаружи по всем стенам были очень красивые резанные

94 из камня фигуры святых». Но в XV в. храм рухнул и был «собран» вновь; причем сложнейшая система его резного убора была нарушена и перепутана, превратившись в загадочную мозаику из резных камней (рис. 13). Ученые не столько бились над восстановлением нарушенной системы декора, сколько долго обходили стороной эту задачу, пугаясь ее сложности. Поэтому событием в нашей науке была почти полная расшифровка Г. К. Вагнером юрьевского «каменного ребу-

из слоновой кости. Как по своим изящным формам, так и по красоте скульптурного убора, пронизанного тонкой одухотворенностью и ритмом, Юрьевский собор не знал себе равных в мировом искусстве (рис. 14).

Принципиальное значение имеет выявление в архитектуре второй половины XII и XIII в. общерусского течения, знаменующего собой критику (византийской в основе) крестово-купольной системы храма и выработку русских национальных форм живопис-



Рис. 13. Георгиевский собор в Юрьеве-Польском. 1230—1234 гг. Современный вид

са» и графическая реконструкция первоначального скульптурного ансамбля собора. Он воплощал сложный идейно-политический замысел — покровительство неба владимирской княжеской династии, чьи святые патроны были представлены в колончатом поясе главного северного фасада храма. Ниже пояса опускался до цоколя тончайший ковровый узор из причудливых растений и птиц. Он подстилал ряды святых над поясом и горельефные композиции, помещенные в острове-рих полукружиях фасадов. Храм справедливо сравнивали с драгоценным резным ларцом

ной и динамической «высотной» композиции здания. По счастью, до нас дошли, правда единичные, памятники этого направления, свидетельствующие, что ступенчатая яркость постройки и своего рода «башенность» ее верха, образованная подъемом главы ввысь на особом постаменте, сочетается с примечательной особенностью членения фасадов. Здесь плоскую лопатку и полуколонну сменяют сложные многообломные пилястры, образующие пучки стремительных вертикалей, как бы влекущих за собой вверх все здание. Этот прием часто сочетался с устрой-

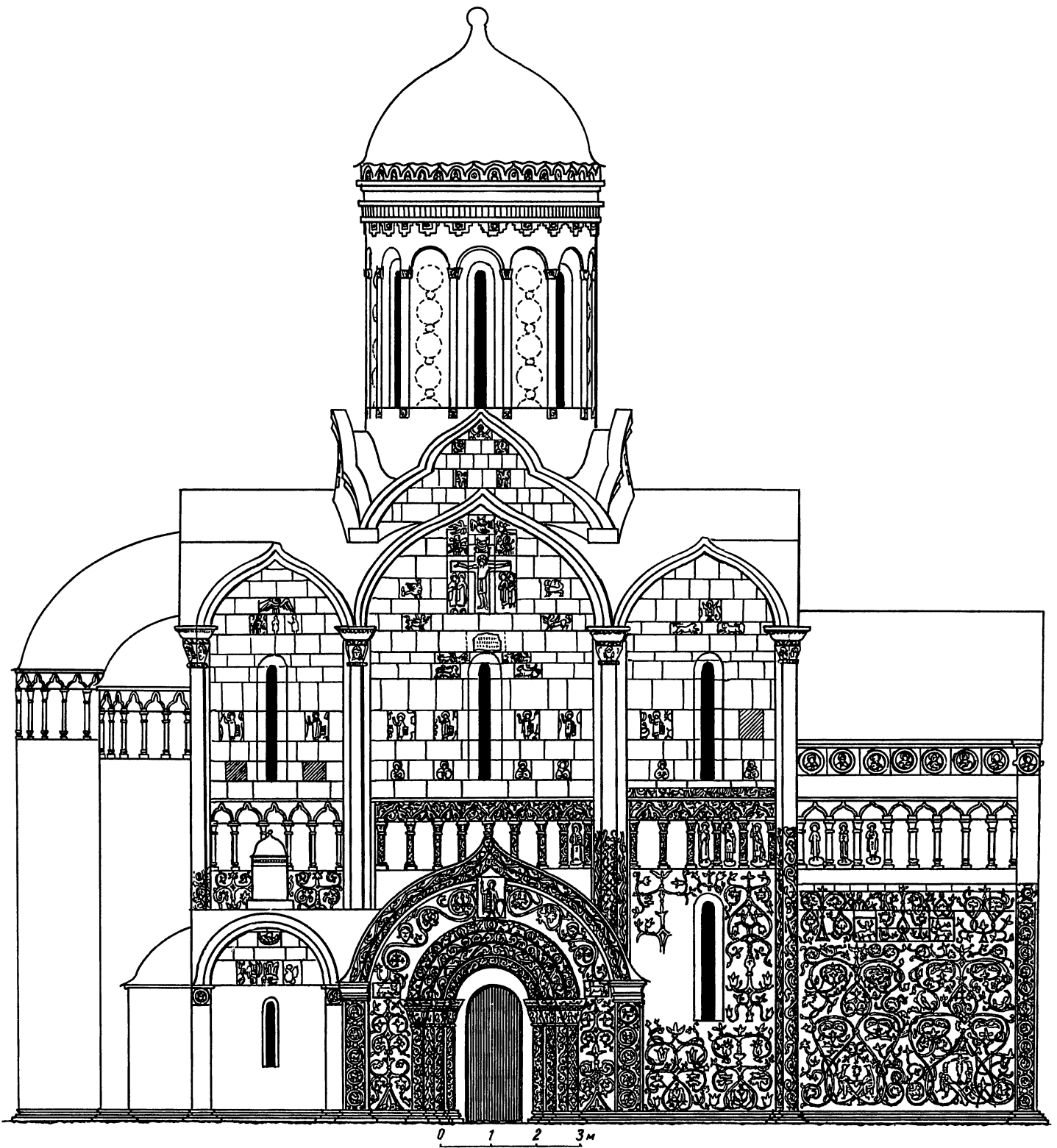


Рис. 14. Георгиевский собор в Юрьеве-Польском. 1230—1234 гг. Реконструкция Г. К. Вагнера

96 ством вокруг храма одноэтажной галереи-усыпальницы и места общественных собраний. Раскопки представили множество примеров подобных храмов; они были в Новгороде и Пскове, Чернигове и Киеве, Новгороде-Северском и Вщиже, Владимире и Смоленске... Это архитектурное движение было связано с быстрым развитием и расцветом городов, несших в себе зерна национального объединения, растущую силу ремесла и торговли. Особенно много построек этого рода было

возведено в Смоленске — крупнейшем городском центре XII—XIII вв. (рис. 15 и 16). Эта новая архитектура привлекала своей силой и своеобразием не только горожан, но и феодально-церковные верхи. Лучшим памятником «нового стиля» является изящная церковь, посвященная покровительнице торговли, Параскеве Пятнице, в Чернигове рубежа XII—XIII вв. Однако она была крайне искажена поздними переделками, а во время Великой Отечественной войны разрушена гит-



Рис. 15. Пучковая пилястра. Смоленск. XII в.

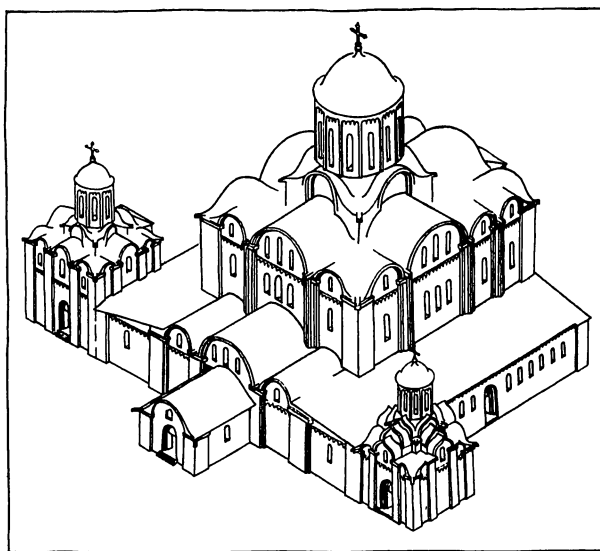


Рис. 16. Монастырский собор. Смоленск. Конец XII в. Реконструкция М. Б. Чернышева

Сто лет назад

ИТАЛИЯ

В г. Фиезоле в винограднике виллы Спенс во время рытья канав обнаружены основания здания этрусского храма. В этой же местности открыты: водопровод, круглый колодезь, база колонны и часть стены. Владелец виллы намерен продолжать раскопки в этом старинном этрусском городе, где в 1809 году был при раскопках открыт амфитеатр, большая часть которого была снова засыпана землей.

«Современная летопись»,
№ 24, 17 июля 1866 г.

леровскими захватчиками. Образ этого выдающегося памятника с ювелирной точностью восстановлен реставратором П. Д. Барановским (рис. 17 и 18). Очень важно, что с постройками этого течения связаны первые известные нам имена выдающихся русских зодчих, как, например, Петра Милонегга из Смоленска, которого летописец сравнил с легендарным библейским строителем Веселеилом. Современником Милонегга был полоцкий мастер Иоанн. Это общерусское архитектурное движение как бы вторило «Слову о полку Игореве» с его призывом к объединению

русских сил перед грозой половецкого натиска. Следует подчеркнуть, что эти поиски национальных форм были началом пути к таким шедеврам национального зодчества, как шатровый храм в селе Коломенском и собор Василия Блаженного на Красной площади в Москве.

В этой связи нельзя не вспомнить великолепную реставрацию архитектором Л. А. Давидом собора Андроникова монастыря в Москве (1425—1427 гг.). Памятник был незна-

ваемо искажен позднейшими перестройками. Путем тщательных, почти археологических приемов разборки поздних и выявления древних кладок и деталей удалось полностью и с большой точностью восстановить храм в его первоначальном виде (рис. 19—20). В руках науки оказался памятник первостепенной важности. Стало ясно, что не волне югославянского влияния обязано архитектурное движение на Руси XIV—XV вв., а творческому развитию русскими мастерами заветан-



Рис. 17. Церковь Пятницы. Чернигов. Конец XII в. Состояние в довоенное время



Рис. 18. Церковь Пятницы. Чернигов. Конец XII в. Реставрация П. Д. Барановского

Сто лет назад

КУБАНЬ

В озере близ станции Ново-Александровской найдены золотые ожерелья одного из тавроскифских царей, жившего лет за пятьсот до основания русского государства. Ожерелье измято, но может быть приведено в первоначальный вид.

«Русские ведомости»,
17 февраля 1866 г.

ных их предшественниками идей. Динамика верха храма, столь ярко выраженная в черниговской Пятнице, здесь захватила и кубическую основу здания. Его углы были понижены, чем подчеркивалась ступенчатая яркость верха, охваченного бурным и напряженным движением. В Андрониковом соборе как бы «прорастают» дерзновенные архитектурные идеи строителей шатровых храмов XVI в.

Примером широко проведенных исследований памятников более позднего времени — XV—XVI вв. — является изучение в послед-

98 ние годы архитектором С. С. Подъяпольским вопроса о первоначальных архитектурных формах монументальных зданий северных монастырей, дошедших до нас с упрощенными поздними покрытиями. Как выяснилось, их изначальный облик был несравненно более сложным и интересным; общие для русского зодчества XVI в. идеи нашли здесь своеобразное и красочное выражение (рис. 21). Белозерские храмы с их сложными многоярусными покрытиями, с асимметричным

над суровым кольцом рубленых келий, поставленных прямо на краю вод Кубенского озера. Своеобычен и начальный архитектурный облик суровых храмов Соловецкого монастыря, сочетающих почти аскетическую простоту основных объемов с дробной и ломкой формой многощипцовых кровель.

Упомянем и о реставрационных работах последних лет по Покровскому собору (Василий Блаженный) на Красной площади в Москве. Они открыли совершенно неожиданную



Рис. 19. Собор Андроникова монастыря. Москва. 1425—1427 гг. Вид до реставрации



Рис. 20. Собор Андроникова монастыря. Москва. 1425—1427 гг. Реставрация Л. А. Давида

завершением двумя или тремя главами, с кружевной узорной кладкой венчающих полукружий в сочетании с гладью стен по своему продолжали линию московской архитектуры конца XV в. Один из крупнейших архитектурных комплексов древней Руси — Кирилло-Белозерский монастырь, предстает перед нами, как сказочный град; над его низкими крепостными стенами вздымается неповторимая по живописности многоглавая группа церквей и звонниц. Иным рисуется теперь Спасо-Каменный монастырь — его стройные каменные храмы возвышались

картину внутреннего убранства этого памятника. Оказалось, что не только его фантастическая архитектура дерзко нарушала старозаветные каноны форм храма. Его центральный шатровый «столп», посвященный празднику Покрова, внутри был совершенно лишен культовой росписи! Ее заменяли перенесенные живописцами на внутренние стены здания архитектурные мотивы внешнего убора знаменитого храма в Коломенском и детали деревянной архитектуры. В этом было нечто еретическое. Видимо, собственно культовая живопись сосредоточивалась на неболь-

шом иконостасе тесного, но очень высокого интерьера центрального храма.

* * *

Древнерусская живопись издавна была предметом собирания и изучения. Накопившиеся за многие века памятники древнерусского искусства — иконы, рукописные книги с миниатюрами, стенные росписи, украшавшие церковные здания, расшитые покровы и пелены, деревянная скульптура, литые

по решению Всемирного Совета Мира был отпразднован 600-летний юбилей этого великого художника.

Вначале русская икона была главным образом предметом культового поклонения, средством утверждения новой на Руси религии. В ней видели посредника в общении с божеством, его «агитатора», являющего «вид и зрак» богословского идеала. Затем она сделалась оружием вполне земной борьбы. Средневековые владетели считали икону залогом

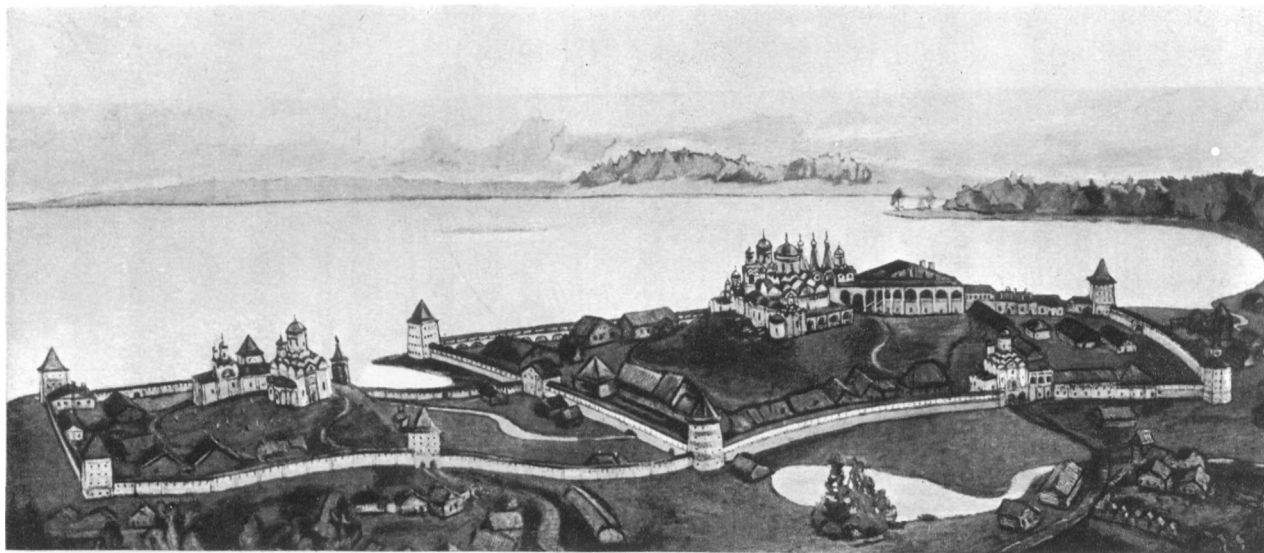


Рис. 21. Кирилло-Белозерский монастырь. Реконструкция С. С. Подъяпольского на 1601 г.

кресты — представляют огромное научное и художественное богатство с не всегда еще разгаданным историческим смыслом.

Значение древнерусского искусства было признано уже в первые годы Советского государства. В 1918 г. в газете «Известия ВЦИК» был опубликован подписанный В. И. Лениным список революционеров, а также выдающихся деятелей науки и культуры, которым предполагалось воздвигнуть монументы. Среди них назван Андрей Рублев, теперь всемирно известный московский иконописец начала XV в. В сентябре 1960 г.

небесного покровительства. Поэтому образы древнерусской живописи нередко становились знаменем в борьбе с иноземцами и в феодальных распрях.

Коллекционирование древних икон в конце XIX и XX в. породило надобность в знающих иконописцах-реставраторах. Жители старинных владимирских сел Палеха и Мстёры были хранителями старинного мастерства и народных традиций. С превращением иконы в предмет музейного собирательства именно уроженцы этих владимирских иконописных сел — Тюлины, Чир-

ковы, Брягины «и иже с ними» — стали поставщиками и добытчиками икон для купеческих коллекций того времени. Не жалевшие средств русские коллекционеры предреволюционной поры, устраивавшие не только молельни, но и настоящие роскошно обставленные музеи, отдавали предпочтение ярким, декоративным новгородским произведениям. В соответствии с эстетикой своего времени, а также вследствие неправильного представления об истории развития русской

ных работников, археологов и текстологов, этнографов и историков явилось научное истолкование многозначного изобразительного языка древнерусской живописи. В иконописи мы видим теперь отражение общественных движений и исторических событий. Стал понятнее иконописный язык, рассказывающий о страданиях и подвигах народа, о борьбе за национальную независимость, о построении могучего русского государства. Установлена связь икон со многими литера-



Рис. 22. Рождество Богоматери. Первая половина XIV в. Государственная Третьяковская галерея (ГТГ)



Рис. 23. Богоматерь Великая Панагия (Ярославская Оранта). Около 1114 г. ГТГ

иконописи они видели в древнерусской живописи лишь ее совершенную композицию, выразительный колорит, гармоничный рисунок, пренебрегая смыслом художественного образа в целом.

До Октябрьской революции все наиболее значительное в художественном отношении связывалось только с Новгородом. Советская же наука раскрыла исторически обусловленные корни разнообразных произведений иконописи многих феодальных земель Древней Руси, установила ряд областных школ. Завоеванием реставраторов и музей-

турными произведениями. В иконной живописи научились различать канонизированные образы христианства и мифологические представления, идущие еще от язычества. Но главное в научном понимании иконописи — возможность раскрытия психологической выразительности, глубокого внутреннего мира человека, чистоты и благородства его души. Широта содержания, глубина мысли и мастерство исполнения делают русскую икону, бесспорно, неповторимым явлением в истории живописи.

Художественный образ русской иконы —

это источник познания жизни народа. Через 50 лет после приобщения к науке этой живописи, ранее доступной лишь для набожного или эстетического любования, мы учимся понимать ее заглушаемую прежде образную и красочную речь.

Основой для советской науки о древнерусской живописи послужили открытия, сделанные в первые годы после революции и затем в 1920—1930 гг. Академик И. Э. Грабарь, возглавивший поиски советских ученых, обсле-

пример, в начале XX в. одной из древнейших русских икон считалось «Рождество Богоматери» (рис. 22). Фигуры на этой иконе грубоваты, они словно вырублены из дерева. В соответствии с таким представлением весь начальный период древнерусской живописи рассматривался как период упадка византийской традиции, а сама живопись той далекой поры — как варварская. Исследования советских ученых опровергли эту точку зрения и выявили в истории русской средне-



Рис. 24. Богоматерь Владимирская. Начало XII в. ГТГ

довал ранее недоступные для науки древнейшие «чудотворные» иконы наиболее известных церквей и монастырей. Организованные им экспедиции вывезли ценнейший материал из отдаленных областей России. К вывозу и раскрытию от позднейших записей собравшихся таким образом древних памятников были привлечены те самые мстѣричи и палешане, которые прежде комплектовали частные русские музеи. Было положено начало советской школе иконоведения.

Глубокое изучение русской иконописи раздвинуло ее исторические границы. Так, на-



Рис. 25. Спас .Нерукотворный. Середина XII в. ГТГ

вековой живописи столь же богатые традиции, как и в древнерусской литературе. Стало очевидным, что иконы, написанные в более архаичной манере, не всегда являются более ранними и что «Рождество Богоматери» — произведение XIV в. Нашедший эту икону А. А. Тюлин стал участником поисков, подготовивших обнаружение знаменитой «Ярославской Оранты» (молящейся Богоматери) (рис. 23). Белолицая, сияющая золотом Мария начала XII в. сродни торжественным образам киевских мозаик и фресок того времени, исследование которых продолжает-

102 ся и теперь. Эта икона — одна из древнейших известных ныне икон. Она свидетельствует о том, какова была в действительности начальная живопись на Руси. О том же говорит другое произведение XII в. — «Деисусный чин»* (рис. 26), — раскрытое в 1936 г. мстёрщиком И. А. Барановым. На длинной черной доске, издавна темневшей в Успенском соборе Московского Кремля над гробницей митрополита Московского Филиппа II Колычева, он обнаружил первоначальный

слои. Открылись три выразительных образа: юной Марии — девы-матери, Спаса — человека в расцвете лет, носителя действия и Иоанна Предтечи — старца, хранителя мудрости. Это обобщенные образы. Они отражают идеальное собирательное представление о человеке, воплощенное с большой тонкостью художественного мастерства.

Изучению древнейших русских икон помогает сопоставление их с иноземными, в частности с византийскими средневековыми



Рис. 26. Деисусный чин. Конец XII в. ГТГ

Сто лет назад
ИТАЛИЯ

В Помпее начинают находить не только произведения искусства, но также человеческие формы, точно вылитые в массе пепла. До сих пор эти находки рассыпались от легкого прикосновения. Теперь нашли средство превращать их в плотную массу, поливая это место составом, от которого крепнут все части.
«Иллюстрированная газета»,
№ 8, февраль 1866 г.

произведениями. Еще в 1918 г. замечательный мастер Г. О. Чириков из-под покрова глухой черной пленки позднейших записей открыл лица Марии и младенца, написанные в начале XII в. в столице Византии — Константинополе (рис. 24). В образе печальной матери, горюющей о судьбе сына, безы-

* Деисус — искаженное греческое слово деисис, означающее моление. Известны деисусы оплечные (по плечи), поясные (по пояс) и во весь рост. Наиболее древними являются оплечные деисусы из трех фигур.

мянный византийский иконописец создал произведение, обогатившее человечество непреходящим выражением возвышенной красоты страдания. Достойными ценителями художественного совершенства этой иконы оказались те киевляне, которые привезли ее на корабле для украшения резиденции своего князя, главного для всего народа «исповедника» еще нового на Руси христианства. Так икона становится средством утверждения новой религии на Руси. Затем икону

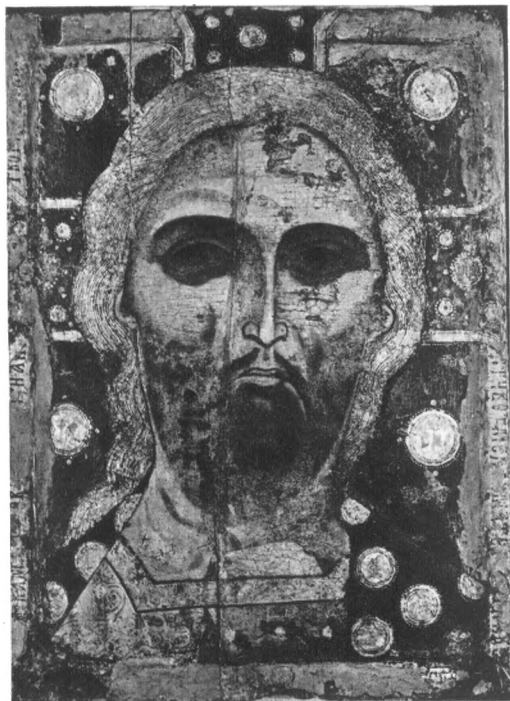


Рис. 27. Спас Златые Власы. XIII в. Музей Московского Кремля

ского Кремля (рис. 25). Приурочение этого произведения к областям Древней Руси (Ростово-Суздальской или Новгородской) и сейчас вызывает споры, но всем очевидна рука русского, а не византийского мастера, хотя оно и написано в духе византийской традиции.

«Спас Златые Власы» (рис. 27), получивший это народное прозвище благодаря золотому руну волос, обрамляющих тонкое темное лицо с глубокими глазницами — памятник суздальской живописи XIII в. Икона сохрани-



Рис. 28. Спас Вседержитель. Около 1249 г. Ярославский музей

перевозят во Владимир. Прославившаяся в этом городе, она стала называться Владимирской. Потом она попадает в Москву. В XVI в. эта икона стала «главной святыней» могучего государства Московского. История иконы и ее перемещения в Древней Руси отмечены в летописях. Судьба этого византийского произведения помогла определению особенностей русской средневековой живописи.

Через год после открытия первоначального слоя Владимирской иконы реставраторы расчистили еще одну икону XII в. — «Спаса Нерукотворного» из Успенского собора Москов-

Сто лет назад

ВИТЕБСК

На левом берегу реки Западная Двина найден рабочими глиняный круглый горшок, наполненный старыми серебряными монетами. Большая часть монет доставлена в Витебский статистический кабинет, все они польского происхождения XVI и XVII века и представляют большую археологическую ценность.

«Биржевые ведомости»,
14 мая 1866 г.

104 лась плохо. Небольшая доска была когда-то покрыта плотным слоем красок, подражающим перегородчатой эмали на золотой пластинке, искусством которой владели киевские мастера. Для нее характерно следование византийским традициям, однако много в ней и присущего русской живописи.

Ярославский образ «Спаса Вседержителя» середины XIII в. (рис. 28) свидетельствует уже об отходе от иконописной отвлеченности, о стремлении художника выразить идеал



Рис. 29. Спас Нерукотворный. Конец XIII в. ГТГ. Публикуется впервые

земного человека, человека Ростово-Суздальской Руси. Икону обнаружили в 20-х годах в ярославском Успенском соборе, где был погребен князь Василий Всеволодович. Быть может, она и написана в 1249 г. в память безвременной кончины юного князя. Облик Иисуса позволяет связать его неброскую красоту русского «добра молодца» с героизированным образом умершего. Такие персонализации иногда предполагаются в живописи раннего русского средневековья.

В 1966 г. экспедицией Третьяковской галереи в опустошенной Никольской церкви села

Нового (Первомайский район Ярославской области) была обнаружена иконная доска, отнесенная участницей экспедиции М. А. Реформатской по характеру обработки к XIII в. Этой доской было забито окно Никольской церкви так, что живопись подвергалась и летней палящей жаре, перемежаемой дождями, и зимним студеным ветрам и снегам. Молодому реставратору галереи Н. Б. Кишилову удалось открыть в этой гибнущей иконе нарядное, как праздничная роспись старин-



Рис. 30. Спас в силах. XV в. Музей им. Андрея Рублева. Публикуется впервые

ной деревенской утвари, изображение «Спаса Нерукотворного» (рис. 29). Легенда, родившаяся в одной из провинций Византии, рассказывала о том, что убрус (полотенце), которым утерся евангельский Иисус, сохранил «нерукотворный» образ его лица. Этот «святой убрус», замурованный от иноверцев в стене, оставил и там отпечаток. Изображение выломанного из стены отпечатка под названием «святое чрепие» наряду с иконой убруса получило еще в Византии значение победоносного военного знамени. Темой обоих изображений являлся лик божества — Спаса. На

чрепии (рис. 26) это отвлеченный философский образ, грозный и разящий, подобный богам античной трагедии. На убресе (рис. 29) это темно-русый, бодрый и жизнерадостный человек и в то же время борец, готовый сражаться на смерть.

В 1966 г. в селе Чернокулове Владимирской области была обнаружена покрытая почерневшей малярной записью XVIII в. большая доска с изображением «Спаса в силах». Пробное раскрытие, сделанное в музее



Рис. 31. Никола. XIV в. Загорский музей

имени Андрея Рублева, обнаружило суздальскую живопись XV в. (рис. 30). Освобожденные из-под слоя вековой грязи, появились мелкие черты живого лица светло-русого суздальца, написанного нежными чистыми красками. Так один из безымянных создателей древнерусского искусства обессмертил народного героя в образе божества.

Сравнение древних произведений на одну тему (см. рис. 26—30), разделенных столетиями, позволяет уловить наряду с повторением византийской композиции и существенные свойства русского художества, уход от

византийских канонов к реальности, к человеку, отражение своих национальных и местных особенностей.

В 20-е годы была обследована старая живопись Троице-Сергиевской Лавры, одного из известнейших монастырей, основанного ростовскими выходцами в начале XIV в. Среди других памятников внимание ученых привлекла небольшая скромная икона с поясным изображением Николы (рис. 31). По монастырскому преданию, эта икона принадле-



Рис. 32. Никола с житием. Середина XVI в. Владимирский музей. Публикуется впервые

жала основателю монастыря Сергию Радонежскому. Расчистка изображения Николы обнаружила светлый колорит первоначальной живописи, исполненной мазками жидко разведенной охры разных оттенков. Под скальпелем реставратора возник ясный и приветливый реальный образ простонародного мудреца с богатым внутренним миром.

«Никола с житием» (рис. 32) написан в середине XVI в. В этом произведении еще больше деталей, связывающих его с реальной жизнью. Сцены «жития» во многом реалистическое отражение быта того времени.

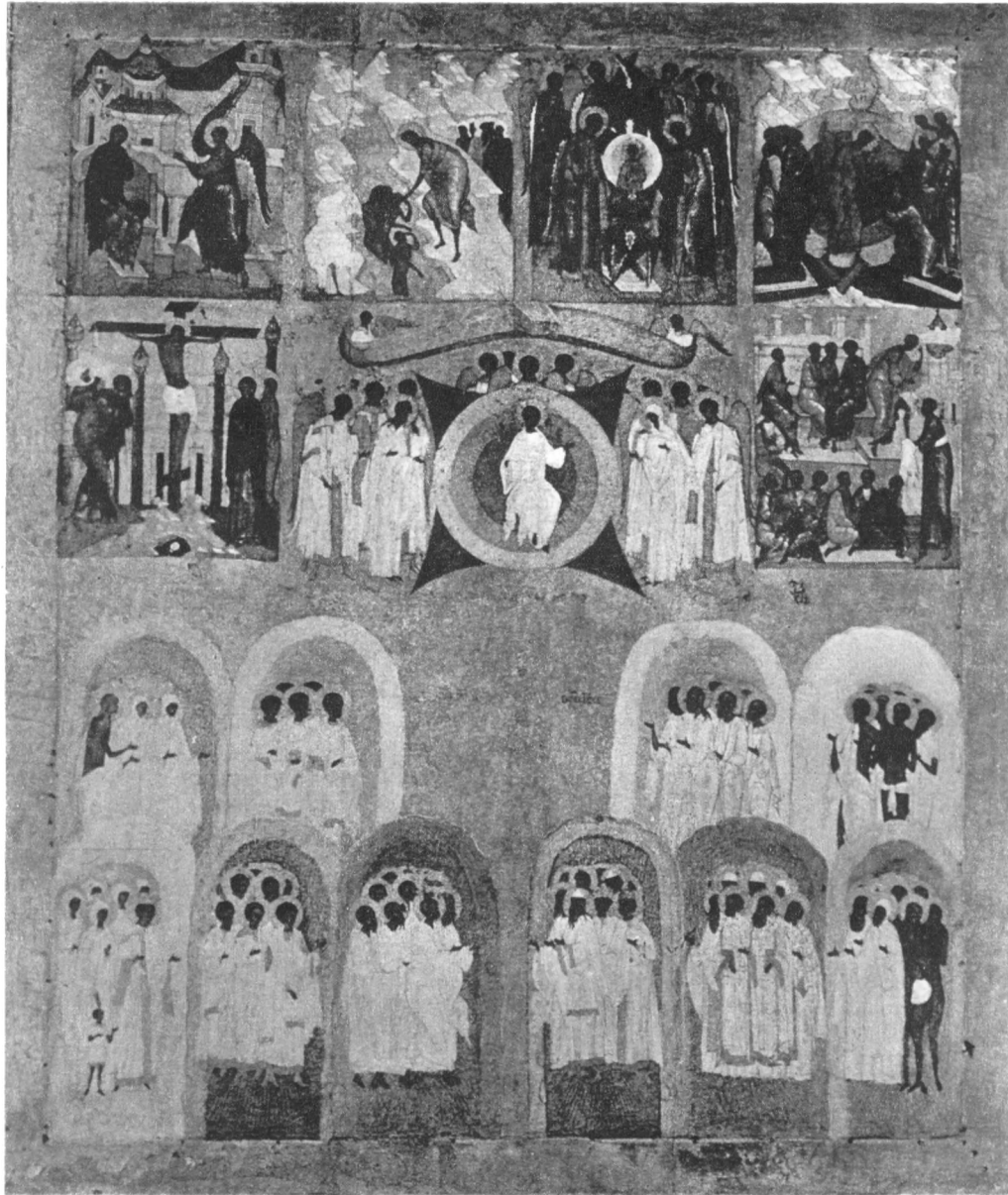


Рис. 33. Шестоднев. Начало XVI в. ГТГ. Публикуется впервые



Рис. 34. Огненное восхождение пророка Ильи. XIV в.
Горьковский музей

Светлая ситцевая пестрота сцен жизни Николы дает представление о палитре живописцев средневекового Суздаля. Теперь она нашла неожиданную аналогию в радостной многоцветности светлых красок «Шестоднева» (рис. 33) — замечательного произведения московского иконописца второй половины XV — начала XVI в. Дионисия. Эта икона была куплена в начале XX в. И. С. Остроуховым. В соответствии с еще несовершенными в то время представлениями о кра-

ион, где мы встречаем отражение народных типов. Особенно яркий народный образ запечатлен в «Огненном восхождении пророка Ильи» (рис. 34), относящемся к XIV в. Эту икону сохранил в своем собрании житель Городца на Волге Г. М. Прянишников. С переходом в музейную собственность она в 1926 г. была раскрыта, при этом обнаружилось большие невосстановимые повреждения. Эта икона — своеобразный апофеоз библейского героя пророка Ильи, неистового борца за правду



Рис. 35. Положение ризы и пояса Богоматери. XV в. Музей им. Андрея Рублева. Публикуется впервые



Рис. 36. Богоматерь Одигитрия. XV в. Музей им. Андрея Рублева. Публикуется впервые

соте русской иконы на первоначальной живописи, над раскрытием которой трудился со своими помощниками Е. И. Брягин, была оставлена золотистая, кое-где коричневеющая пленка старой олифы. В 1965 г. эту пленку, сохранившую под собой вековые загрязнения, снял художник-реставратор Третьяковской галереи В. О. Кириков, владеющий старинным палехским иконописным мастерством. Жемчужным сиянием засветились нежные, как северные зори, переливы красок торжественной и стройной иконы.

«Никола» и «Никола с житием» — примеры

Помещенное посредине «огненное восхождение» показывает заключенную в круг пламени четверку крылатых лошадей, уносящих колесницу Ильи в рай. Взятие пророка на небо обрамлено историей его подвигов на земле. Обращает на себя внимание вольномыслие произведения: пророк — избранник божий — изображен коренастым, босоногим мужиком в одежде простолюдина. Глядя на этого новгородского мужика, становится понятно, почему северные феодальные республики так дорожили своей независимостью. Подбор сцен из жизни Ильи говорит о том,



Рис. 37. Богоматерь из Деисуса. XV в. ГТГ

что носитель правды — народ, для которого рай прежде всего «одежда неизносимая и пища неистребимая». А земля (вместо канонического изображения ее в виде скал) изображена здесь, по мужицкому представлению, цветущим лугом. Это — гимн земному человеку!

Не так давно из деревянной скитской церкви, затерявшейся в лесу, окружающем Бородавское озеро Вологодской области, была вывезена икона «Положение ризы и пояса Бо-



Рис. 38. Богоматерь Одигитрия. XVI в. Владимирский музей. Публикуется впервые

гоматери», раскрытая в 1958 г. В. И. Брягинным в музее имени Андрея Рублева (рис. 35). Эта икона написана в 80-х годах XV в. лучшими мастерами северных «монашеских твердынь» государства Московского. У церковного престола, где лежат риза и пояс Богоматери, с одной стороны стоит митрополит с чернецами, с другой — царь и его свита. Митрополит и царь на одном уровне — они оба носители святости. В начале XX в. считалось, что ценность сохранившейся иконы заключается в следовании византийской традиции. Теперь в этой византийской сцене,

представленной на русской иконе, мы видим отражение реального исторического процесса — стремление укрепить авторитет царской власти.

В 1934 г. из Углича В. И. Антоновой была вывезена деисусная икона второй половины XV в., лишь в 1966 г. окончательно раскрытая в Третьяковской галерее В. И. Кириковым (рис. 37) Окутанная пышными, отороченными золотом коричневыми одеждами, Мария печально склоняет тонкое удлиненное лицо с близко поставленными глазами. Сосредоточенное выражение его усиливают чистый сапфировый тон стягивающего волосы повая и покорный жест изящных рук. Голову окаймляет бледное золото обведенного коричневой полосой нимба, выделяющего ее на фоне светозарной охры. В этом образе художник с необычайной чуткостью и мастерством воплотил чувство скорби. Это тонкое, поражающее глубокой психологической выразительностью произведение было искажено в XVIII в.: святящийся фон его был заменен грубой лепниной, мешающей восприятию изысканного поэтического замысла живописца. Изучение этой иконы только началось.

Изящество угличской Богоматери особенно ощутимо в сопоставлении с не менее выразительной выносной (снабженной рукоятью для участия в религиозных процессиях) Одигитрией (путеводительницей) из уже упомянутой скитской церкви близ Бородавского озера. На этой иконе (рис. 36). Мария со своим ребячливым младенцем представлена в облике женщины русского севера. Она осаниста и величава, как деревенская хозяйка далеких от центральной московской власти северных селений Древней Руси.

Ярким образцом насаждавшегося московской династией пышного искусства является недавно расчищенная Одигитрия из Княгинина монастыря во Владимире (рис. 38). По московской политической доктрине XVI в. власть была унаследована Москвой из начального Киевского государства через Владимирское княжение XII в. Поэтому обетшавшие древние храмы Владимира, еще на заре XIV столетия присоединенного к княжеству московскому, перестраиваются и возводятся вновь великими князьями и царями московскими. Вместе с ремонтом зданий обновлялось по вкусам московского двора и их убранство. Об этом времени в русском искусстве и позволяет судить Одигитрия из Княгинина монастыря. Образ связан с мощью Московского государства, он олицетворяет его величие, власть и силу. Горделивый об-

раз Богоматери — знатной русской красавицы, так же как и олицетворение деревенской женщины-хозяйки, коренится в том долгом пути, который прошли новгородские и ростово-суздальские живописцы, прежде чем стать кормовыми и жалованными мастерами при московском дворе.

Накопление реставрационного опыта раскрытия древнерусской иконы заставляет постоянно уточнять и пересматривать наши представления об отдельных этапах развития русской иконописи. Так, многие расчищенные еще в 20-х годах иконы в свете новых открытий оказываются не до конца исследованными и только теперь находят свое исторически обусловленное место.

По небольшому количеству рассмотренных здесь произведений трудно составить представление о том, как советские ученые исследуют русскую средневековую живопись, как растет их опыт, в частности, благодаря использованию методов точных наук.

* * *

За пределами нашего краткого очерка осталось множество произведений древних

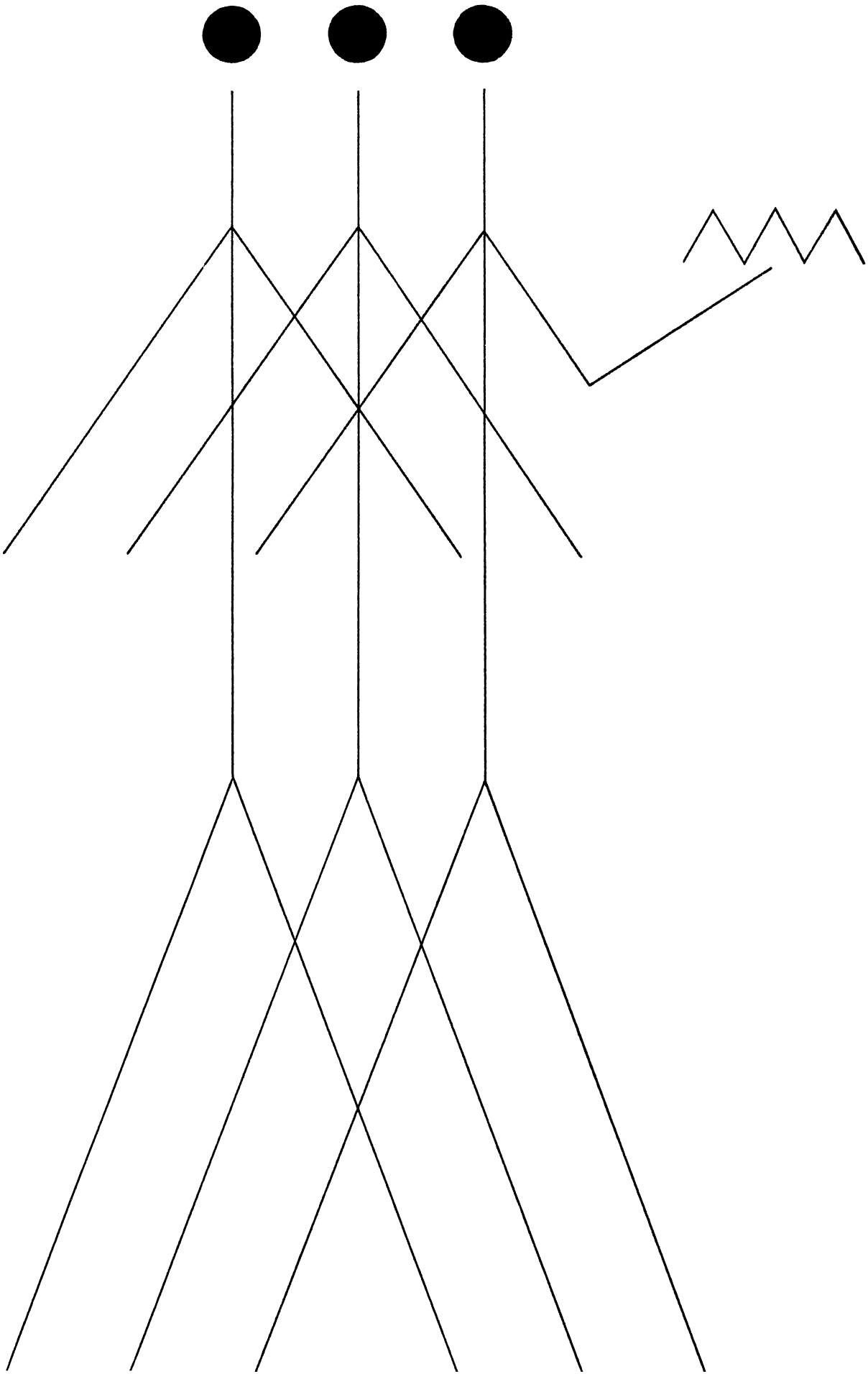
художников. Ведь только в крупнейших центральных музеях количество охваченных изучением икон исчисляется тысячами. Представление об этом богатстве, сосредоточенном лишь в Государственной Третьяковской галерее, дает недавно изданный капитальный каталог ее всемирно известного древнерусского собрания.

К станковой живописи примыкают творения художников книги — миниатюристов и циклы монументальных росписей храмов, где с неменьшей силой и яркостью отражается русский художественный гений и вторжение в круг «церковного» искусства живых наблюдений жизни. С мастерами кисти соперничают мастерицы «живописи иглой», достигающие в своих произведениях непревзойденной декоративности и поэтической выразительности. Мы также не сказали о других видах многообразного прикладного искусства, в которых нашли широкий выход народные представления о красоте «вещного» мира.

Вся эта сокровищница имеет непреходящее научное и художественное значение.

ЗЕМЛЯ! ЗЕМНАЯ ПЛАНЕТА!
НИЧТОЖНЫЙ ШАР В СЕМЬЕ ПЛАНЕТ!
ТВОЕ ВЕЛИЧЬЕ — ИМЯ ЭТО,
МЕЖ СЛОВ ТВОИ — ПРЕКРАСНЕЙ НЕТ.

Маяковский





АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ СИДОРЕНКО (р. 1917) — академик, министр геологии СССР, лауреат Ленинской премии.

Окончил геологический факультет Воронежского государственного университета. Участвовал в Великой Отечественной войне. С 1943 по 1950 заведует отделом полезных ископаемых Геологического института Туркменского филиала АН СССР. С 1950 — заместитель председателя, а с 1952 — председатель Президиума Кольского филиала АН СССР.

В 1962 назначен министром геологии и охраны недр СССР, в 1963 — председателем Государственного геологического комитета СССР, а в 1965 — министром геологии СССР.

В 1953 избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1966 — действительным членом АН СССР. Крупный специалист в области комплексного использования минерального сырья и его технико-экономической оценки. Занимается изучением геологии докембрия, разрабатывает проблемы влияния деятельности человека на земную кору. Автор более 100 научных работ по вопросам геологии.

Руководитель советской части постоянной комиссии Совета Экономической Взаимопомощи по геологии.

АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ СИДОРЕНКО

БОГАТСТВА

НАШЕЙ

ЗЕМЛИ

На XXIII съезде КПСС Председатель Совета Министров СССР тов. А. Н. Косыгин, подводя итоги развития экономики нашей страны, показал, что за годы индустриализации с 1928 по 1965 г. выработка электроэнергии выросла в 101 раз, выплавка стали и добыча нефти — в 21 раз, угля — в 16 раз, производство цемента — в 39 раз, добыча природного газа с 0,3 млрд. кубических метров достигла 129 млрд. кубических метров, производство минеральных удобрений выросло более чем в 220 раз.

В этом грандиозном развитии тяжелой промышленности Советского государства есть значительная доля труда геологов, обеспечивших народное хозяйство разведанными запасами нефти, природного газа, каменного угля, железных руд и руд цветных металлов, горнохимического сырья, каменных строительных материалов.

Достижения разведчиков недр в создании минерально-сырьевого потенциала страны за 50 лет нужно было бы сравнивать с состоянием запасов полезных ископаемых в дореволюционный период. Однако проводить такое сравнение по всем полезным ископаемым сложно, ибо ресурсы многих видов минерального сырья, добываемые ныне в огромных количествах, ранее вообще не были известны промышленности.

Дореволюционная Россия по разведанным запасам даже известных

видов минерального сырья занимала одно из последних мест в мире. Ресурсы угля оценивались к 1917 г. в 234 млрд. тонн. Запасы нефти в открытых к тому времени немногих месторождениях на Кавказе, Эмбе, в Средней Азии и на Печоре так же, как и ресурсы природного газа, вообще не были оценены. В топливном балансе страны дрова и солома составляли около 70%. Геологические запасы железных руд оценивались в 2 млрд. тонн (менее 4% мировых запасов), а добывалось 9,2 млн. тонн (1913 г.). Выявленные ресурсы цветных металлов, меди, свинца, цинка, никеля, ртути были ничтожны, цветная же металлургия только зарождалась. Ресурсы редких металлов, алюминиевого сырья, горючих сланцев, калийных солей, апатитов, серы и других полезных ископаемых не были известны совсем. Потребности страны в минеральном сырье удовлетворялись в основном за счет импорта.

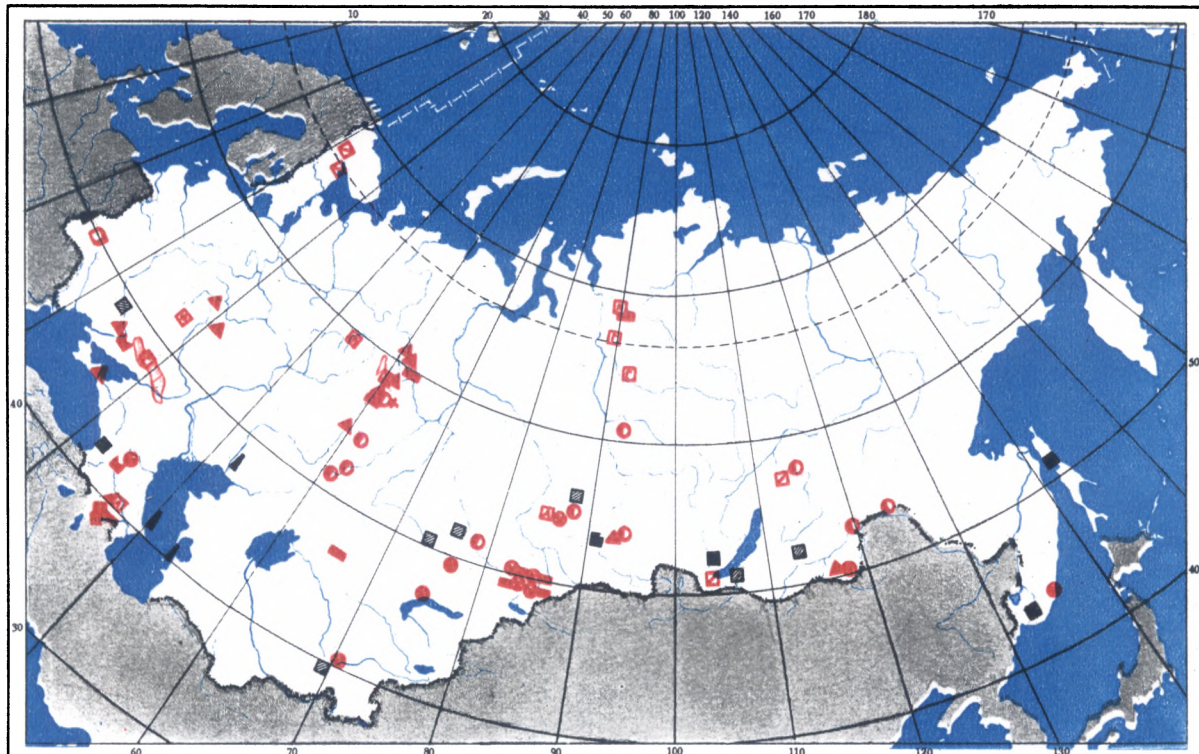
Отсталость царской России в развитии производительных сил и в использовании ее минеральных богатств выражалась еще и в том, что до революции не велись планомерные геологические исследования территории страны, специалистов-геологов было очень мало, а количество геологических партий не достигало и 100.

Ныне в Советском Союзе в геологических исследованиях участвуют более 100 тыс. специалистов с высшим и средним образованием, в том числе только инженеров и техников-геологов свыше 50 тыс. человек. Геологические исследования территории страны ведут около 10 тыс. экспедиций и партий, оснащенных современными геологоразведочным оборудованием, точной аппаратурой и транспортными средствами. Геологическая служба СССР располагает 40 отраслевыми научно-исследовательскими институтами и лабораториями, охватывающими в своих работах практически весь комплекс проблем геологической науки и тесно связанных с геологическим производством

Быстрые темпы развития минерально-сырьевых ресурсов Советского Союза достаточно хорошо иллюстрируются ростом разведанных запасов минерального сырья в послевоенный период. За двадцать послевоенных лет — с 1945 по 1965 г. — разведанные запасы нефти возросли в 3,3, природного газа — 38, угля — 4,7, железных руд — 10,7, калийных солей — 7,3, фосфоритов — 6,7, цветных металлов — 3 — 16,5 раза.

За 50 лет существования Советского государства выявлено и разведано свыше 15 тысяч месторождений важнейших полезных ископаемых. По уровню разведанных запасов минерального сырья наша страна стала ведущей державой мира. СССР занимает ныне одно из первых или первое место в мире по разведанным запасам железных руд, угля, многих цветных металлов, нефти, природного газа, по общим запасам апатитов, фосфоритов, калийных солей и некоторых других полезных ископаемых. Разведанные запасы, например железных руд, составляют около 50% мировых запасов.

За годы Советской власти в стране создана устойчивая минерально-сырьевая база для создания таких отраслей промышленности, которые в дореволюционной России и не существовали. У нас не было сырьевой базы для развития промышленности, производящей минеральные удобрения, не было металлургии никеля, титана, олова, молибдена, вольфрама, редких металлов, ядерной энергетики. Теперь имеются в достаточных количествах запасы руд для производства фосфорных и калийных удобрений, производства всех видов цветных, редких и жаропрочных металлов, для выработки атомной энергии, производства полупроводников, для электронной и радиотехнической промышленности. В последние годы в СССР создана крупная алмазодобывающая промышленность. Одновременно с этим быстро развивались такие давно сложившиеся отрасли народного хозяйства, как угольная, нефтяная, химическая промышленность, черная металлургия. Разведан-

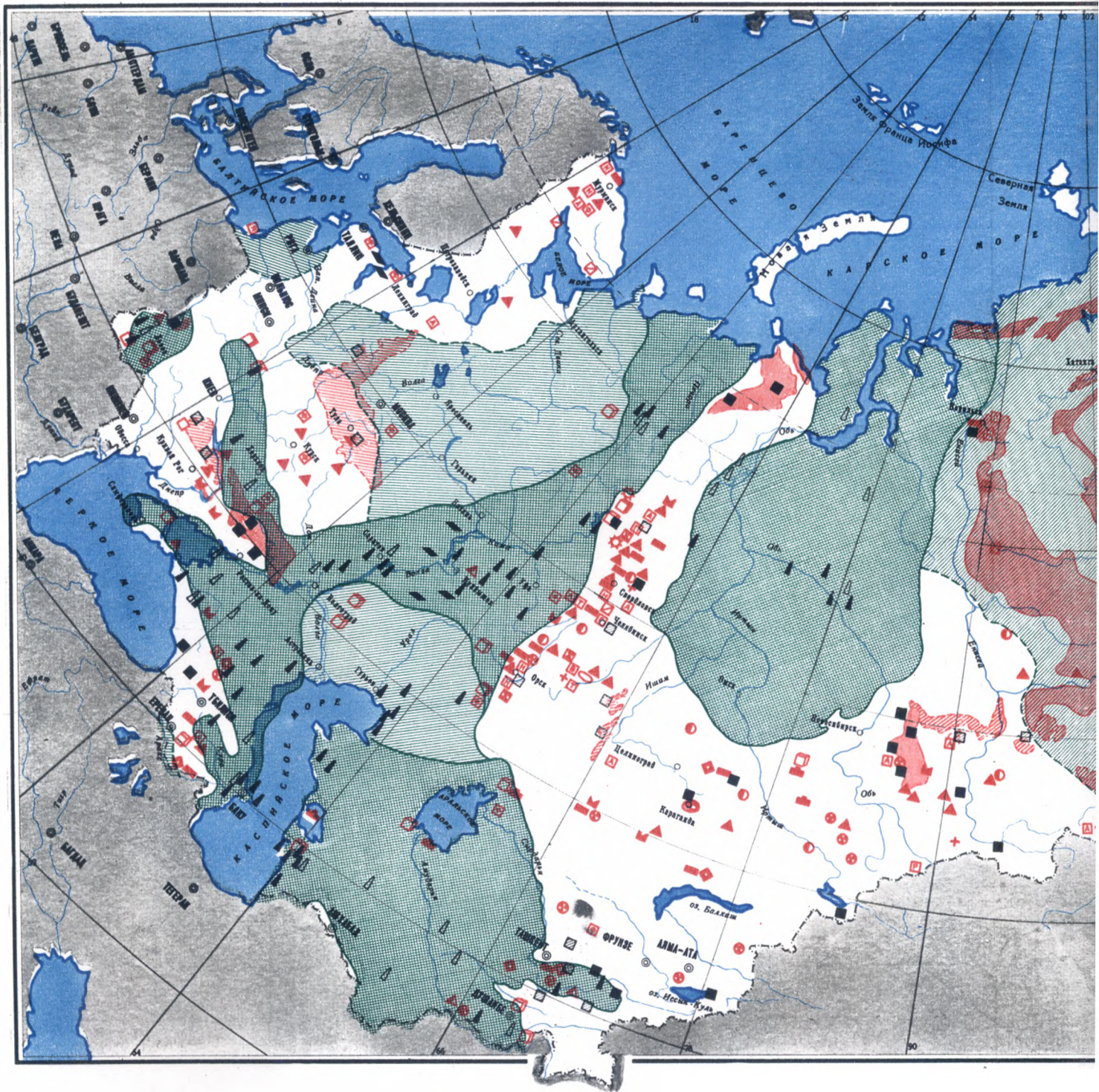


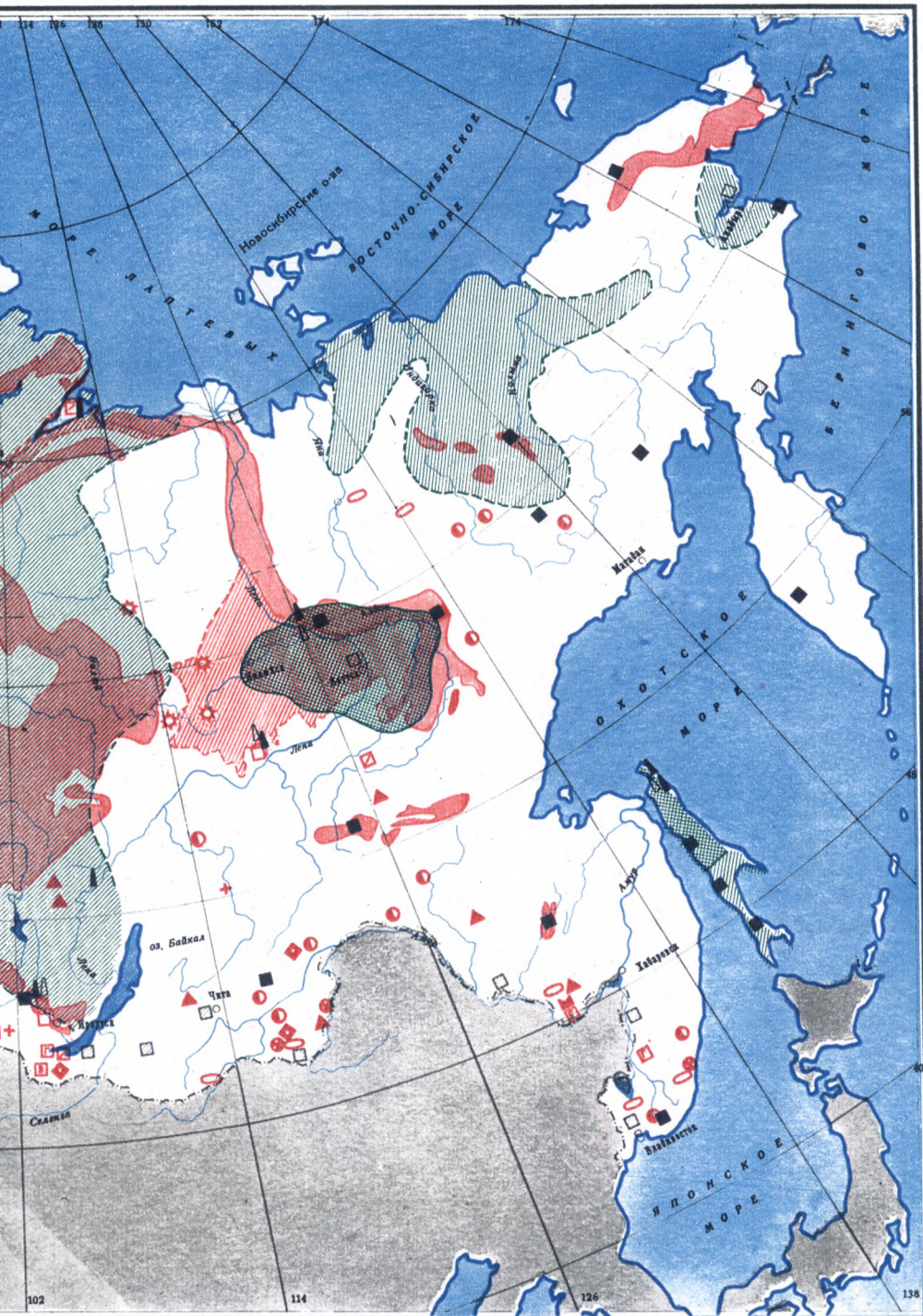
ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

- | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--|-------------------|--|------------------------|--|---------------------|
| | Бассейны каменного угля | | Железные руды | | Медные руды | | Слюда |
| | Бассейны бурого угля | | Марганцевые руды | | Полиметаллические руды | | Сера |
| | Каменный уголь | | Хромитовые руды | | Оловянные руды | | Фосфориты и апатиты |
| | Бурий уголь | | Титановые руды | | Ртутные руды | | Калийные соли |
| | Горючие сланцы | | Никелевые руды | | Золото | | Поваренная соль |
| | Нефть | | Вольфрамовые руды | | Платина | | Глауберова соль |
| | Горючие газы | | Молибденовые руды | | Асбест | | Янтарь |
| | | | Алюминиевые руды | | Графит | | Алмазы |

Нефтегазоносные районы

Перспективные нефтегазоносные районы





Карта месторождений
полезных ископаемых,
открытых до 1917 года и
к 1967 году

ные запасы полезных ископаемых способны обеспечить быстрое, экономически целесообразное развитие всех отраслей народного хозяйства. Сейчас у нас в стране нет, по существу, такой отрасли народного хозяйства, потребляющей минеральное сырье, которая бы не имела своей подготовленной минерально-сырьевой базы.

Характерно, что на всех этапах развития советской индустрии темпы роста производства не сдерживались из-за недостатка в подготовленных запасах минерального сырья. Отечественная геология всегда работала с большим опережающим заданием в подготовке минерально-сырьевых баз, что не только обеспечивало развитие индустрии, но и создавало возможность для наиболее рационального размещения горнодобывающей промышленности.

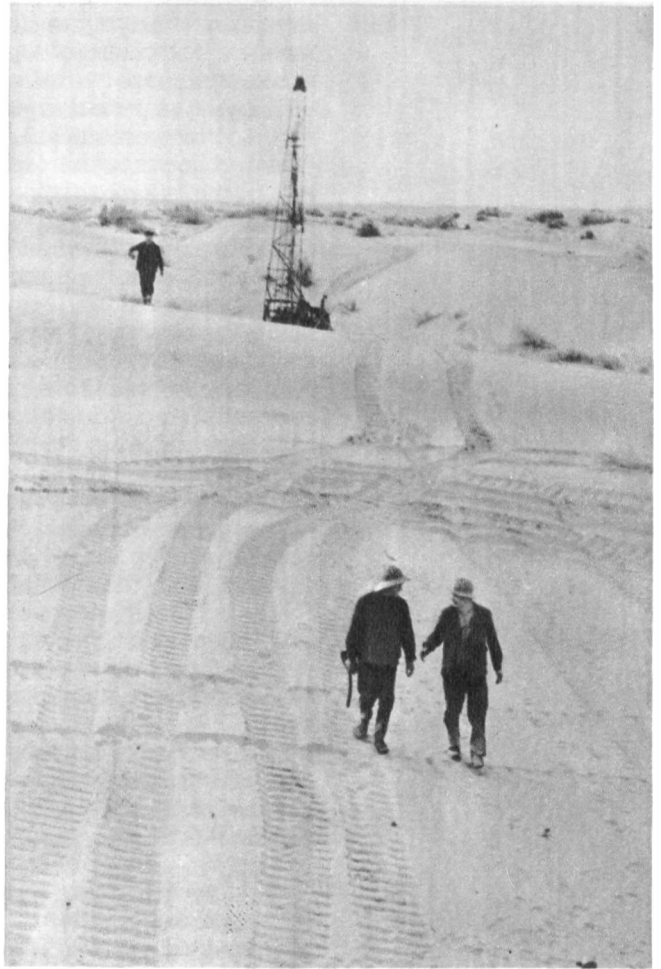
Подобные результаты могли быть достигнуты не только потому, что наша страна, занимающая одну шестую часть суши земного шара, обладает огромными потенциальными возможностями для открытия месторождений полезных ископаемых, ибо в ее недрах проходили все известные науке геологические процессы, создавшие все известные мировой практике виды минерального сырья. Подобные результаты были достигнуты прежде всего благодаря самоотверженной работе советских геологов, которые трудились в сложнейших природно-климатических условиях, а также благодаря высокому уровню геологической науки и геологического производства в нашей стране. Но главное — это постоянное внимание Советского государства к развитию минерально-сырьевых ресурсов и забота об их развитии.

Для геологоразведочных работ в Советском Союзе всегда была характерна тесная связь поиска и разведки с глубокими научными исследованиями. Поиск полезных ископаемых в СССР никогда не был простым кладоискательством. Планомерное изучение геологического строения страны, государственное геологическое картирование, научное прогнозирование, разработка кардинальных научных проблем геологии всегда были в основе геологического поиска и разведки месторождений минерального сырья. Можно привести немало примеров, когда глубокое научное обоснование и научное предвидение предшествовали решению минерально-сырьевых проблем страны. Россия знала нефть только в Баку и Грозном. Теперь список крупнейших нефтяных и газодобывающих районов резко расширен. Мы уже говорим о том, что 40% территории СССР перспективны на нефть и газ. Новые бассейны нефти и природного газа были открыты там, куда вели нас научные прогнозы, разработанные академиком И. Губкиным и успешно развиваемые научными коллективами страны. Теперь планирование геологоразведочных работ опирается на региональные прогнозы нефтегазоносности Советского Союза, анализ тектонических структур, их палеогеографического развития, литологического состава пород⁴, гидрогеологической обстановки. Все это оформлено в стройное учение о нефтегазоносных бассейнах страны. Прежде чем начать бурение поисковых скважин, выполняется огромный объем исследований. Мы теперь не только знаем, где искать нефть и газ, на какой глубине их можно встретить, но и оцениваем возможные их запасы, что необходимо для выбора наиболее перспективных районов разведки и для планирования народного хозяйства.

Геологический поиск может быть планомерным и целеустремленным только на хорошей научной основе. Если на первых порах поиски полезного ископаемого представляли собой научно направленный осмотр всех выходящих на дневную поверхность обнажений руд и горных пород, то теперь, когда изучены почти все такие месторождения,

⁴ Литология — отрасль геологии, изучающая осадочные горные породы: их вещественный состав, условия образования и процессы изменения. — *Ред.*





Чукотка. Прибыли грузы для геологов

Каракумы. Разведчики недр ведут наступление на пустыню

Чукотка. Заполярный обогатительный комбинат Иульгин



122 геологическая наука должна предсказать, где возможно открытие полезных ископаемых на некоторой глубине, и не только предвидеть, но и помочь открыть их с минимальными затратами труда и средств.

Наука, научный прогноз давно уже стали в геологии непосредственной производительной силой. Разве можно было бы без серьезного научного обоснования открыть месторождения калийных солей под многометровыми толщами осадочных пород Белоруссии или обнаружить крупнейшие месторождения нефти и газа на глубинах 1,5—2 км под болотами затаеженной Западно-Сибирской низменности, где нет ни одного выхода коренных пород на поверхность? Разве можно было без научного прогноза, без хорошо поставленных геофизических исследований открыть крупнейшие месторождения цветных металлов на Таймырском полуострове? Крупнейшие месторождения алмазов Сибири открыты не только в результате самоотверженного труда геологов, обследовавших труднодоступные малообнаженные пространства Западной Якутии, но и прежде всего потому, что они направлялись глубоко обоснованной научной гипотезой о формировании кимберлитовых трубок в условиях траппового* магматизма на Сибирской платформе и опирались на четко установленную закономерную связь алмазности кимберлитов с минералами-спутниками. Подобных примеров можно было бы привести множество.

Тесная связь теоретических исследований с геологической практикой обеспечила советской геологии передовые позиции в мировой науке. Советскую геологическую школу отличают широта постановки геологических проблем и глубокие творческие обобщения.

Советской геологии, как уже было сказано, присущи также опережающие темпы в подготовке разведанных запасов минерального сырья для развития промышленности. Геологи всегда стремились не только создать задел в разведанных запасах, но и обеспечить опережающее комплексное изучение всей территории Советского Союза, провести государственное геологическое картирование, оценить перспективы рудоносности каждого геологического региона. Благодаря такому геологическому предвидению все потребности в новых видах минерального сырья, которые выдвигают новые отрасли промышленности, могут быть, как правило, быстро удовлетворены. Развитие промышленности никогда не сдерживалось недостатком разведанных запасов полезных ископаемых. Конечно, в отдельных районах или на отдельных горнопромышленных предприятиях, где добыча полезных ископаемых достигла высокого уровня и значительно опережает темпы наращивания запасов, возможно возникновение напряженного положения с сырьевой базой, но, как правило, это носит частный характер, и такие предприятия встречаются нечасто.

Успехи в развитии минерально-сырьевых ресурсов страны определяются также и тем, что все геологические исследования в СССР носят плановый характер и ведутся в общегосударственном масштабе в отличие от частнопредпринимательского характера геологических исследований в капиталистических странах.

Еще в первые дни Советской власти, на заре становления Советского государства В. И. Ленин обращал внимание на развитие геологических исследований, на изучение минеральных богатств нашей страны.

В знаменательном документе — «Наброске плана научно-технических работ» В. И. Ленин еще в 1918 г. одной из первых задач Академии наук ставил изучение природных ресурсов нашей страны, чтобы обеспечить «...возможности самостоятельно снабдить себя всеми главнейшими видами сырья и промышленности».

* Трапповые породы — изверженные, вулканические породы. — Ред.

В осуществлении ленинских научно обоснованных принципов размещения производительных сил геология занимает особое место. У нас подготовлены или подготавливаются новые районы, экономическое развитие которых базируется на минеральном сырье. Если прежде горная промышленность преимущественно сосредоточивалась на Урале, в Донбассе, Криворожском бассейне, а также имелись небольшие горные предприятия на Алтае и в Забайкалье, то теперь широко известны апатито-нефелиновая, железорудная, никелевая промышленность Кольского полуострова, железорудная промышленность КМА, Тургая, Кузнецка, мощная цветная металлургия Казахстана, Узбекистана, Закавказья, Норильска, горная промышленность Колымы. Золотоносную и золотодобывающую Сибирь дополняют теперь золотые рудники Армении, Кызылкумов, Казахстана.

Если прежде вся нефтяная промышленность размещалась в европейской части СССР: на Кавказе и в Волжско-Уральской области, в Коми АССР, то теперь добыча нефти и природного газа далеко шагнула на восток.

На территории Западно-Сибирской низменности открыта крупнейшая нефтегазоносная провинция, в Западном Казахстане — на полуострове Мангышлак — выявлены крупные месторождения природного газа и нефти. Все равнинные пространства Средней Азии, между Каспийским морем и складчатými горными системами, представляют собою районы с крупнейшими месторождениями природного газа. Поиски нефти и газа уходят теперь далеко на восток.

Крупные месторождения природного газа открыты в Вилуйской впадине — в Якутии, ведутся поиски нефти и газа в Восточной Сибири. Подготовительные геофизические работы для поисков нефти и газа начаты на Дальнем Востоке. Степи Украины, Ставрополя, Кубани, леса Белоруссии также стали крупными районами добычи нефти и газа. Поиски нефти и газа расширяются в Центральных районах европейской части СССР, в Прибалтике, на севере Коми АССР.

Подобные примеры можно было бы привести и по другим полезным ископаемым. Калийные соли прежде добывались лишь в районе Соликамска — в Пермской области. Теперь крупные месторождения калийных солей открыты в Белоруссии и на Украине. Выявлен и разведан новый калиеносный бассейн в Туркмении, ведутся поиски калийных солей в Сибири.

Открывая новые месторождения полезных ископаемых, часто в неосвоенных, малообжитых местах, советские геологи становились пионерами в развитии экономики отдельных районов страны. Вряд ли

Сто лет назад

ЭКВАДОР

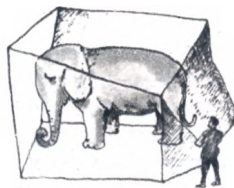
В Эквадоре открыты такие богатые месторождения золота, что даже авантюристы из Калифорнии отправляются туда. Вместе с тем, там же найдены замечательные остатки древностей, куски глиняных фигур, глиняная посуда и золотая утварь. Все эти остатки, принадлежащие к весьма отдаленной эпохе, находили на протяжении 300 миль.

«Биржевые ведомости»,
19 октября 1866 г.

НОВЫЙ ОРЛЕАН

Недавно близ города был открыт огромный пласт каменной соли, прозрачной, как хрусталь. На глубине 20 футов в нем нашли остатки слона, под которым лежала корзина, сделанная из камыша.

«Биржевые ведомости»,
10 августа 1866 г.



нужно доказывать, что изменение лица многих областей страны началось с открытий геологов. Хибинские апатиты, железные и никелевые руды преобразили облик Кольского полуострова, норильский никель создал первый промышленный форпост на Севере, а открытия Талнахского и Октябрьского месторождений медно-никелевых руд, а также промышленных месторождений природного газа вблизи Норильска, приведут к небывалому расцвету металлургической промышленности в Арктике. Золото Колымы, якутские алмазы создали не только новые города на северо-востоке, но и положили начало более глубокому освоению крупнейших территорий страны. Даже в таких давно освоенных областях, как Курская или Белгородская, железные руды КМА делают переворот в экономике этих областей.

Подчеркивая большие достижения советской геологии за 50 лет, мы намечаем и новые рубежи, на которые она должна выйти. Учитывая темпы развития промышленности, нужно готовиться к непрерывному и все возрастающему росту потребления минерального сырья. Весь мировой опыт развития хозяйственной деятельности указывает на прогрессивный рост потребления уже известных полезных ископаемых, а появление новых отраслей промышленности выдвигает потребности в новых видах минерального сырья.

Имея в виду предусмотренное планами дальнейшее развитие промышленности, советские геологи уже сейчас работают над тем, чтобы создать разведанные запасы минерального сырья для обеспечения добычи за пределами текущей пятилетки. Мы готовим сейчас разведанные запасы полезных ископаемых с учетом уровня развития промышленности в 1975 и даже в 1980 году. Мы задумываемся над тем, как будет развиваться горная промышленность и в каких видах минерального сырья она будет испытывать потребность и к началу нового тысячелетия.

Бесспорно, в дальнейшем развитии минерально-сырьевых ресурсов роль геологической науки будет не только непрерывно возрастать, но и станет определяющей. Проблемы современной геологической науки весьма многообразны. Это и изучение глубин Земли, так сказать, глубинная геология, и разработка новых методов геологических исследований: геохимических, геофизических, и математизация геологии.

Даже краткое изложение всех проблем геологической науки потребовало бы слишком много места. Я хотел бы затронуть только те из них, над которыми мне приходится работать.

Мне, как ученому, наиболее близки три научных направления в геологии, и в той или иной мере я пытаюсь их развивать, глубоко веря в то, что они тесно связаны с практической деятельностью, с усилением минерально-сырьевого потенциала нашей страны.

Первое научное направление — это экономика минерального сырья, экономическая геология.

Для правильной оценки потребностей в минеральном сырье и масштабе его потребления в будущем, определения новых видов минерального сырья, спрос на которые будет предъявлен промышленностью в соответствии с бурным развитием науки и техники, огромное значение имеют научные исследования в области экономики минерального сырья и геологоразведочных работ. У нас в стране успешно развиваются эти новые научные направления. По существу, это две ветви одной новой большой науки — экономической геологии.

Мне приходится работать в области, где разрабатываются насущные проблемы экономики минерального сырья, главным образом в направлении поисков его новых видов, на которые промышленность еще не предъявила спрос, но которые в ближайшее время могут составить основу для создания новых отраслей производства. В самом деле, понятие о минеральном сырье непрерывно меняется и зависит, в первую

очередь, от уровня развития экономики, науки и техники в стране. Если, например, на заре развития алюминиевой промышленности основным сырьем для получения алюминия были только бокситы, то сейчас экономические исследования показали, что ассортимент руд, пригодных для получения алюминия, может быть значительно расширен. Наряду с бокситами появились такие виды минерального сырья, как нефелины, из которых можно получать не только глинозем для производства алюминия, но и содопродукты и соду. Появился и, вероятно, в ближайшее время найдет широкое применение в алюминиевой промышленности такой вид сырья, как кианиты. Это алюмокремниевый минерал, из которого можно прямым электротермическим путем, минуя сложный процесс получения глинозема из руды, получать алюмо-кремниевые сплавы — силумины, широко применяемые в промышленности.

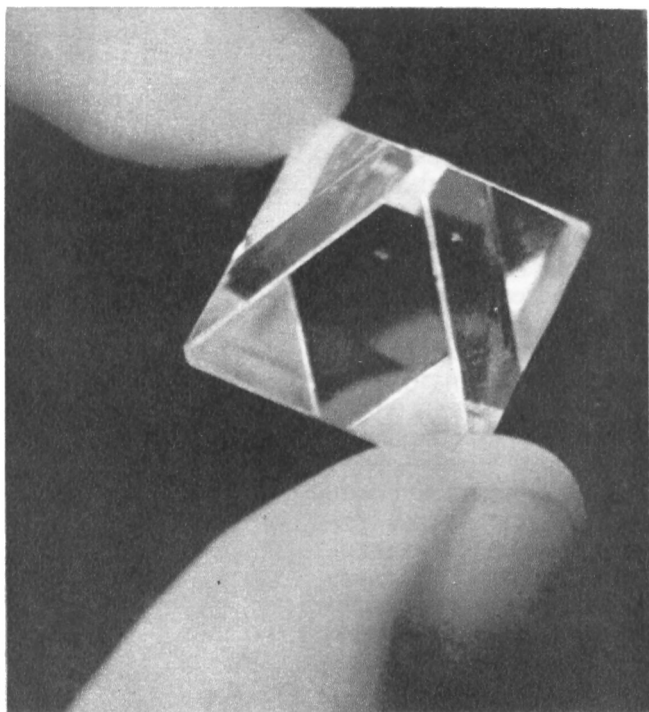
Имеется много и других примеров того, как меняется наше представление о минеральном сырье, и доказывающих, что необходимо упорно развивать новую отрасль науки — экономическую геологию.

Второе научное направление — изучение континентальных толщ, изучение континентальных процессов, которые проходят на поверхности земной коры. Я придаю этому направлению большое значение потому, что эта область наименее разработана в геологии. Геологи в основном занимаются изучением морских осадков, сформировавшихся на дне морей и океанов, и здесь достигли поистине грандиозных успехов. Однако источники того материала, который поступает в океан с суши или в виде подводных вулканических извержений, изучены очень слабо. Лично меня интересуют те источники обломочного материала, которые поступают в море или океан с суши. Меня интересуют те геологические процессы, которые проходят на ее поверхности. Я начал с изучения континентальных отложений, процессов геологического выветривания на континентах, проходящих и в настоящее время, и постепенно перешел к изучению древних континентальных погребенных осадков, древних континентальных процессов, процессов выветривания, проходивших в минувшие эпохи. Удалось установить, что процессы выветривания развивались на протяжении всей истории нашей Земли от докембрия и до наших дней. Сейчас стало ясно, что в древнейших, сильно измененных метаморфических толщах докембрия происходило мощное развитие континентальных процессов, древних кор выветривания, имеющих огромное значение для расшифровки истории формирования древних докембрийских щитов и платформ.

Изучение континентальных процессов представляет огромный практический интерес. С континентальными процессами на суше связано формирование многих месторождений: угля, россыпей золота, титана, бокситов, глин и других полезных ископаемых. Установлено, что многие нефтяные месторождения приурочены к песчаным толщам древних речных русел, речных долин. Для того, чтобы знать, как размещаются месторождения нефти в древних погребенных руслах рек и месторождения каменного угля в древних континентальных толщах, нужно изучить континентальные толщ, изучить историю и географию минувших геологических эпох и древний рельеф континентов.

К настоящему времени оформляется новое научное направление: учение о континентальном литогенезе, которое охватывает не только изучение пород континентального происхождения, но и условия, в которых формировались эти породы, то есть рассматривает палеогеографическую обстановку на континентах и характер древнего рельефа.

Третьим научным направлением, тесно связанным с практикой, является изучение древнейших осадочных образований в земной коре.



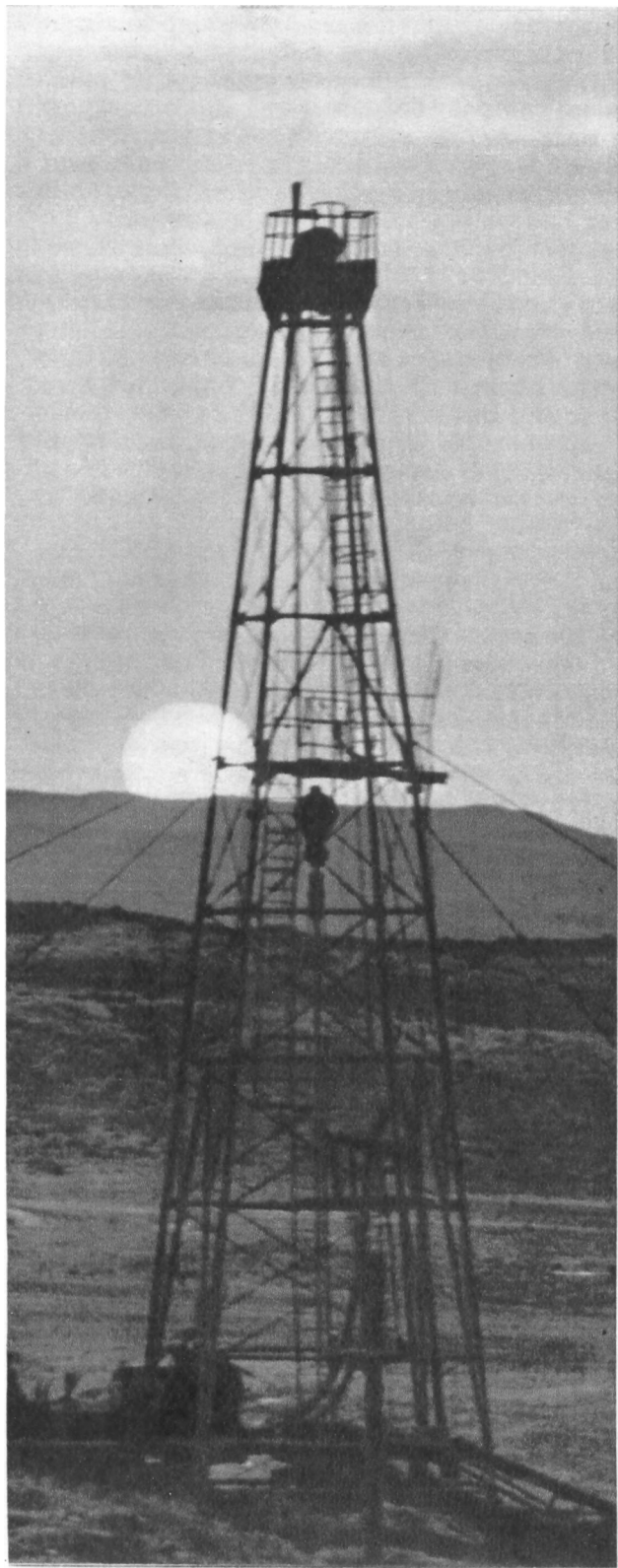
Якутская АССР. Алмаз в 45 карат, найденный в Мирном и названный «Горняк»

Добыча железной руды в Нижнем Тагиле (Урал)

Азербайджан. Буровая вышка

Хибины. В забое вертикального рудоспуска с плато Расвумчорр





Еще первые работы, проведенные нами, показали, что древнейшие участки земной коры, так называемые архейские, протерозойские или докембрийские щиты и платформы, сложены не только сильно измененными магматическими породами, но что они в своей основе представлены осадочными породами. Отсюда появились новые литологические методы изучения сильно метаморфизованных осадочных толщ. Это направление постепенно выросло в новую самостоятельную ветвь геологической науки — учение об осадочной геологии докембрия.

Докембрий — это древнейший период в земной коре, охватывающий этапы древнее 500 млн. лет. Опыт показывает, что от 50 до 90%, то есть большая часть запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых (кроме месторождений горючих ископаемых) сосредоточена в древнейших докембрийских толщах. И это не случайно, так как докембрийский период составляет 3,5 млрд. лет, т. е. $\frac{7}{8}$ геологической истории нашей планеты. Нужно также учесть, что докембрий — это не только древнейшие породы на Земле, но и образования, наиболее глубоко залегающие в земной коре и, соответственно, наиболее насыщенные рудным веществом, которое поднималось из глубин.

В связи с этим изучение докембрия является одной из важнейших задач современной геологии, ибо с докембрием связана большая часть минерально-сырьевых ресурсов.

В наше время открытие месторождений происходит уже не стихийно, не случайно, как это было прежде, а все более и более принимает планомерный организованный характер, характер научного поиска. Теперь мы уже не планируем геологоразведочные работы, основанные на простом осмотре обнажений и выходов руд на дневную поверхность. Как отмечалось выше, в направлении поисков все более и более преобладает научный прогноз, научное предвидение, основанные на обобщении обширных геологических материалов и проверяемые геологическим картированием, данными геофизических исследований, бурением скважин, проходкой горных выработок в поисках месторождений, находящихся на некоторой глубине. В качестве примеров можно было бы привести много фактов: Западную Сибирь с уже упомянутыми открытиями крупных месторождений нефти и газа, открытие промышленных месторождений нефти в Белоруссии и т. д. Характерно, например, открытие богатых месторождений железных руд в Белгородской области, сделанное на основе анализа условий палеогеографического развития в девонское время на склоне Воронежского кристаллического горста*. Палеогеографический анализ, изучение характера выветривания в верхнем девоне показали, что наиболее богатые железные руды должны находиться к югу от Курской магнитной аномалии. Последующими буровыми работами это было блестяще подтверждено. Такой же научный прогноз применяется сейчас и при поисках россыпных месторождений титана в центральных районах европейской части СССР, апатитовых и никелевых месторождений на Кольском полуострове, а также многих других полезных ископаемых в различных районах страны.

Будущее геологии мне представляется весьма интересным. Я не принадлежу к числу людей, которые считают, что с развитием физики, химии и математики геология постепенно утратит свое значение и все геологические проблемы будут решаться математическими и физико-химическими методами. Наоборот, мне представляется, что геология будет иметь самостоятельное развитие как наука, изучающая процес-

* Горст — приподнятый над окружающей местностью вытянутый участок земной коры, ограниченный трещинами с крутым или даже вертикальным падением. — Ред.

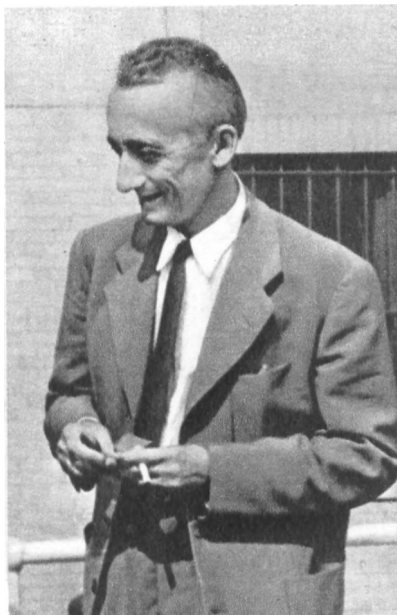
сы в земной коре, как наука, изучающая закономерности концентрации отдельных элементов в недрах Земли, т. е. закономерности формирования месторождений полезных ископаемых. Но в дальнейшем геология, несомненно, будет развиваться все более на математической основе, в геологию все больше и больше будет внедряться число и мера, и геология из описательной науки все более будет становиться наукой точной.

Чтобы решить те сложные задачи, которые поставлены перед советской геологией XXIII съездом КПСС, наметившим грандиозную программу развития экономики народного хозяйства нашей страны, предстоит выполнить огромную работу. Геологические исследования должны будут проводиться в новых, еще мало изученных районах страны и охватить не только новые районы, но главным образом более глубокие горизонты земной коры.

Нам нужно пересмотреть геологическую изученность таких районов, которые кажутся нам давным-давно известными. Взять, например, европейскую часть СССР. Кажется, что этот район давно закартирован, хорошо изучен, и здесь вряд ли можно ожидать каких-либо новых открытий. Но это далеко не так. Европейская часть Советского Союза, наиболее обжитая, наиболее доступная, изучена, оказывается, значительно хуже, чем многие отдаленные районы нашей страны. Объясняется это тем, что территория европейской части СССР закрыта мощной толщей современных наносов, которые маскируют полезные ископаемые, находящиеся на глубине. В связи с этим перед нами стоит огромная задача переоценить степень геологической изученности европейской части СССР и выявить новые месторождения полезных ископаемых. Уже ведутся в больших объемах работы по поискам нефти и газа в Белоруссии, на Украине, в Коми АССР, в Архангельской области. Начаты поиски нефти и газа к северу от Ярославля, в районе Вологды, а также между Рязанью и Саратовом.

Уже первые результаты работ в Воронежской и Курской областях показали, как мало мы знаем геологию европейской части нашей страны. Здесь обнаружены крупнейшие месторождения железных руд, одновременно ведутся поиски месторождений бокситов и разведка месторождений никелевых руд. Есть все предпосылки к тому, чтобы найти здесь и месторождения меди, а может быть, и алмазов. Осадочный чехол, перекрывающий многокилометровой толщей кристаллический фундамент европейской части СССР, оказался богатым полезными ископаемыми. Среди песков встречены крупные титан-циркониевые россыпи, огнеупорные глины, а в дальнейшем здесь могут быть найдены и многие другие полезные ископаемые.

Мне представляется, что советская геология находится на подъеме, накануне перехода на более высокий уровень развития, и второе пятидесятилетие существования Советского государства будет ознаменовано новыми крупными достижениями в геологической науке и практике.



ЖАК ИВ КУСТО (*Cousteau*) (р. 1910) — французский специалист по исследованию морских глубин, директор Океанографического музея в Монако.

Родился в Сент-Андре-де-Кюбзаке, недалеко от Бордо. Окончил Военно-морскую академию в Бресте, затем поступил в Академию морской авиации, которую вынужден был оставить, пострадав в автомобильной катастрофе. Был военным моряком и активным участником Французского Сопротивления.

В 1943 вместе с инженером Э. Ганьяном изобрел акваланг, произведший революцию в водолазном деле и положивший начало широчайшему развитию во всем мире подводного спорта.

Позднее под его непосредственным руководством были созданы первая научно-исследовательская лодка-малютка — «Ныряющее блюдо», гигантский обитаемый буй «Таинственный остров» с подводными наблюдательными камерами на глубине до 50 м, подводные дома «Прекоинтермент» I, II и III, разработан ряд других принципиально новых средств подводных исследований. В методику гидробиологических, океанографических и даже подводных археологических исследований Ж. Кусто и его сотрудниками внесен значительный вклад. Ж. Кусто — создатель многих научно-популярных фильмов и автор книг о подводном мире и его освоении.

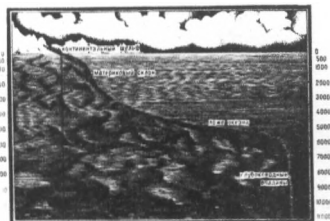
ЖАК ИВ КУСТО

ПРОЩАНИЕ

С ПОВЕРХНОСТЬЮ

Океан всегда создавал и создает многочисленные препятствия на пути человеческого познания. Огромные расстояния и штормы издавна делали мореплавание ненадежным и опасным делом. Для водолаза море всегда было враждебной средой, где давление, холод и темнота уменьшали или вовсе отбивали охоту к погружениям в его глубины. Даже рыбак, добывающий свое пропитание из моря, все еще вынужден действовать вслепую: он единственный в мире охотник, который не видит и не знает своей добычи. И, наконец, последнее, но не менее важное — океанограф все еще более или менее наугад погружает в воду свои приборы. Его можно сравнить с исследователем, который приступает к открытию нового континента с совершенной аппаратурой, но с невидящими глазами.

Однако со временем стало насущной необходимостью видеть под водой, видеть, чтобы лучше понимать, что же мы там делаем. Еще недавно это было невозможно, в настоящее же время совершается победоносный поход, который, начавшись погружениями в акваланге, вскоре завершился историческим погружением батискафа «Триест» на самую большую глубину Марианской впадины (Тихий океан). Теперь мы имеем техническую возможность погружаться, наблюдать и проводить исследования на любой глубине.



Донный рельеф Мирового океана имеет четыре явно выраженные зоны: континентальный шельф, материковый склон, ложе океана и глубоководные впадины



Проект скафандра XVI в.

У меня нет уверенности, что мы полностью осознали этот факт (я хотел бы сказать — эту революцию), и, очевидно, психологически мы еще не подготовлены, чтобы целиком его использовать.

СЛОЙ, ОСВЕЩАЕМЫЙ СОЛНЦЕМ

От поверхности до глубины 40 метров имеется 15 миллионов кубических километров воды, доброжелательно принимающих аквалангистов. Это наиболее насыщенный жизнью слой моря, слой, где создается фотосинтезом почти вся растительная жизнь океанов. Жизнь здесь подчиняется смене дня и ночи, следует сезонному ритму. При заходе солнца множество морских животных поднимается с почти 800-метровых глубин близко к поверхности, поедает там микроскопические водоросли или ведет молчаливые сражения. С наступлением дня все эти незваные гости, избегающие по различным причинам света, снова исчезают в зоне, которой достигают лишь самые яркие солнечные лучи.

Морская вода большую часть времени прозрачна. В открытом море довольно обычна видимость, превышающая 60 метров. Здесь зрение представляет собой очень важное чувство — вероятно, главное из пяти чувств. Снабженный маской ныряльщик может наслаждаться зрением в тех же пределах, что и рыба. Он чувствует себя удобно, уверенно, а часто даже испытывает прилив отваги.

Кристалльная чистота океанской воды сменяется молочной мутью весной, когда море цветет. Однако вдоль омываемых прибоем и приливными течениями берегов вода часто остается довольно прозрачной. Но вблизи гаваней и устьев рек бесчисленные частицы взвеси рассеивают свет, и нередко водолаз не видит даже собственных рук. В этих мутных водах, наполненных мелкими зернами песка или аллювиального материала, многие микроорганизмы отмирают из-за неприспособленности к таким условиям. Различные виды водорослей и большинство кораллов здесь не выживают. Но в подобных водах иногда скопляется рыба, движимая голодом или страхом. Глаза в указанных

ИЗ ИСТОРИИ ВОДОЛАЗНОГО СНАРЯЖЕНИЯ

За столетие (1845—1951), протекшее между научно-исследовательскими погружениями под воду А. Мильн-Эдвардса и П. Драша, ученые пользовались имевшимся в то время водолазным снаряжением.

Работа в вентилируемом (помповом) скафандре требовала значительных физических усилий, наличия громоздкого снаряжения и целой команды, обеспечивающей погружения. Тем не менее вентилируемый скафандр применяли многие исследователи. Обычно ученые использовали при этом профессиональных водолазов, реже — погружались сами.

В более теплых водах уже в первой четверти XX в. при подводных исследованиях применялся гораздо более портативный водолазный шлем, также вентилируемый при помощи помпы. Но здесь зато можно было обходиться без неуклюжего и громоздкого костюма, сковывавшего движения и легко превращавшего водолаза в беспомощный, надутый воздухом поплавок — стоило лишь зазеваться и не выпустить вовремя излишек воздуха. Неудобство этого шлема (представлявшего по существу водолазный колокол в миниатюре) заключалось в том, что водолазу приходилось подныривать под него и затем все время держаться вертикально, чтобы шлем не залило водой. Можно отметить и японскую, еще более портативную «рейдовую маску».

Все аппараты указанных типов были тесно связаны с обеспечивающим судном, а водолаз нуждался в непрерывной подаче ему воздуха помпой, работающей на поверхности.

В Советском Союзе еще с 30-х годов и до внедрения в научно-исследовательскую практику акваланга успешно применялись автономные аппараты с замкнутым дыхательным циклом, работающие на сжатом кислороде. Обладая и некоторыми достоинствами, как например большей портативностью, кислородный аппарат, в отличие от акваланга, требует от подводника не любительской, а настоящей профессиональной подготовки.



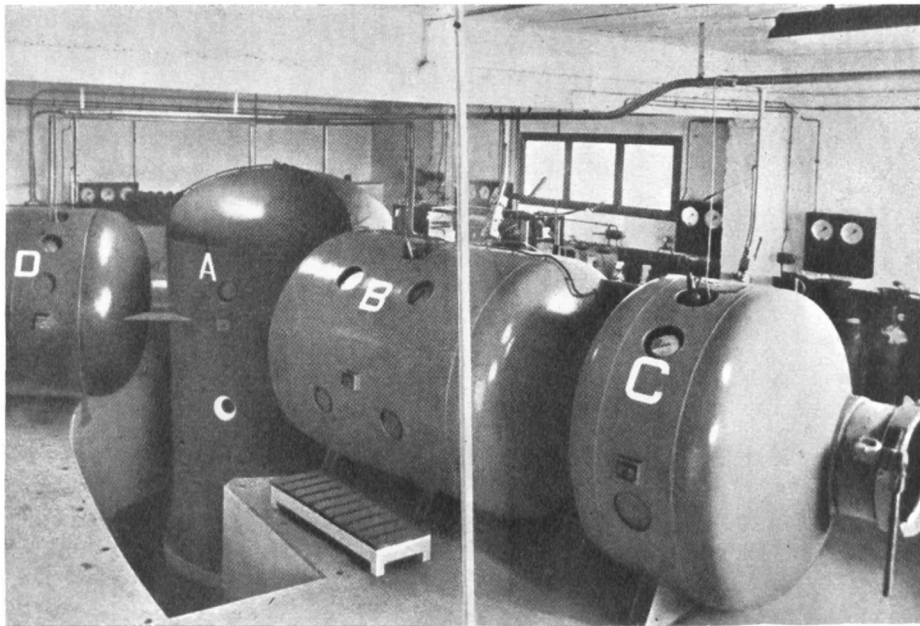
Подлинную революцию в водолазном деле совершило изобретение акваланга

условиях оказываются бесполезными, заменяясь другими органами чувств: например, боковая линия рыб позволяет им воспринимать малейшие колебательные движения воды и указывает, как двигаться в мутной воде.

В освещаемом солнцем слое аквалангист может пребывать в среднем 20 минут и испытывать чувство сравнительной безопасности и свободы движений. Погружения на глубину 40 метров стали такими простыми, что больше не являются привилегией профессионалов: ведь значительно легче обучить геолога подводному делу, чем водолаза — геологии.

А. Мильн-Эдвардс был первым ученым, который погружался в водолазном шлеме и производил интересные для морской зоологии наблюдения. Позже профессор Пьер Драш был пионером научных исследований с автономным дыхательным аппаратом. Под его руководством водолазы исследовательского судна «Калипсо» в 1951 г. методически производили сборы донной фауны в Красном море. В Гер-

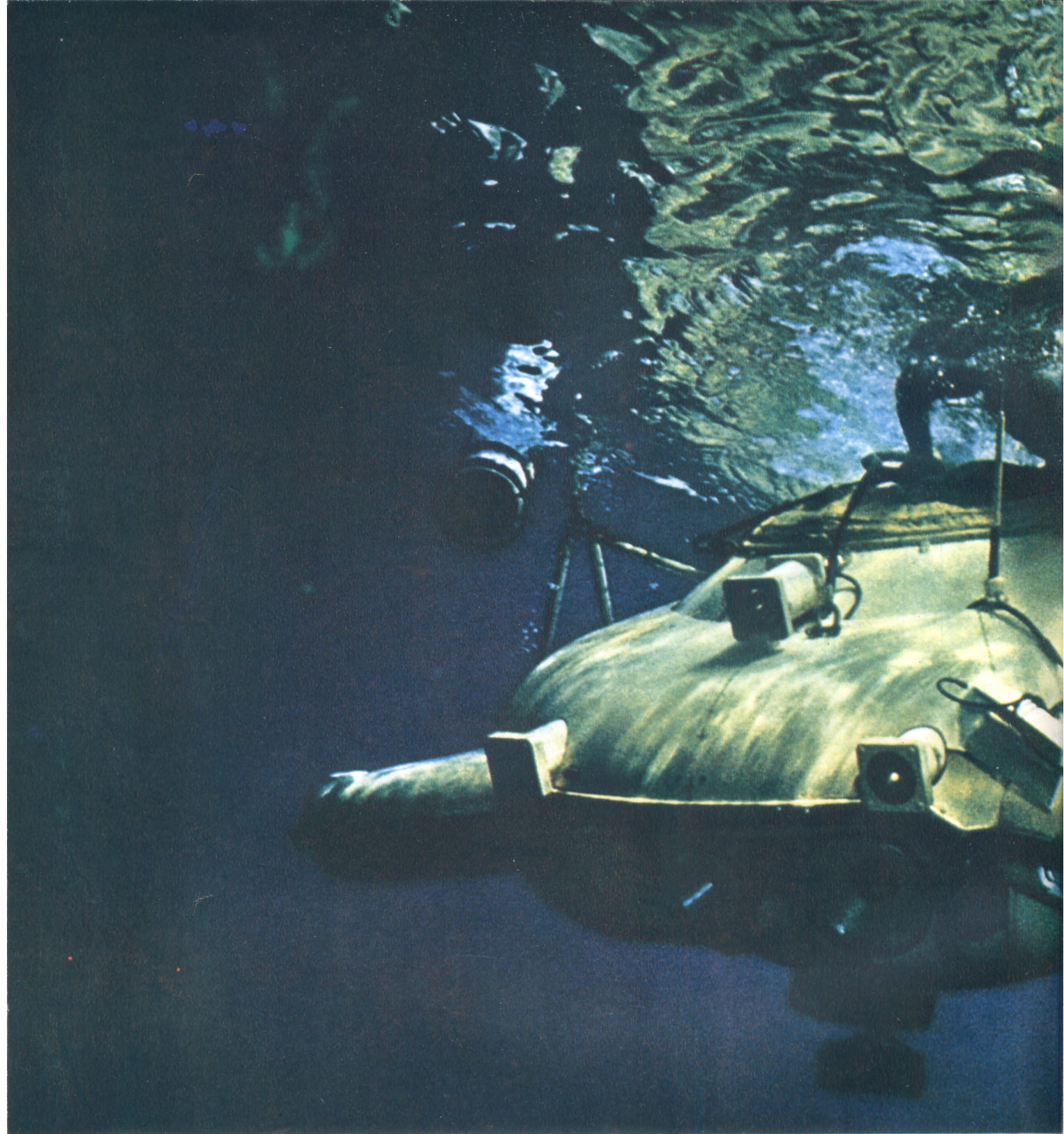
Многоотсечные барокамеры широко используются для физиологических исследований в водолазном деле. На снимке многоотсечная барокамера французской фирмы «СОМЕХ». Камера имеет четыре отсека. Отсек «А» — вертикальный цилиндр высотой 4 м и диаметром 3 м.



мании Ханс Хасс внушал университетским ученым мысль о необходимости стать водолазами. В Соединенных Штатах Океанографический институт в Вудс-Холе тренировал группу подводных фотографов и исследователей. В Институте Скриппса (Калифорния) молодые биологи погружались под воду в поисках новых видов животных и растений, геологи наблюдали и производили кино съемки явления, известного под названием каскада, на месте измеряя абсолютную устойчивость отложений и изучая активный подводный каньон*. В Средиземном море родилась подводная археология. Геологическая разведка использовала аквалангистов для поисков подводных нефтяных месторождений, будь то в Персидском заливе, Калифорнии или Мексиканском заливе. Подводное дело очень быстро стало незаменимым для научного исследования моря: его применяют даже в полярных экспедициях.

* Подводный каньон — подводная долина с очень крутыми, нередко ступенчатыми склонами и относительно узким дном. — Ред.

Отсек наполовину заполнен водой и дает возможность имитировать погружения до глубин 300 м. Отсек «D» — шлюзовой вход в отсек «А». Он может использоваться также и для опытов на животных. В отсеке две козы могут «погрузиться» на глубину до 350 м. Отсек «B» допускает имитацию погружения до 180 м и служит в основном для лечения водолазных заболеваний. Отсек «C» является шлюзовым входом в отсеки барокамеры. Во всех четырех помещениях имеются светильники, отопление, связь, кресла и кушетки

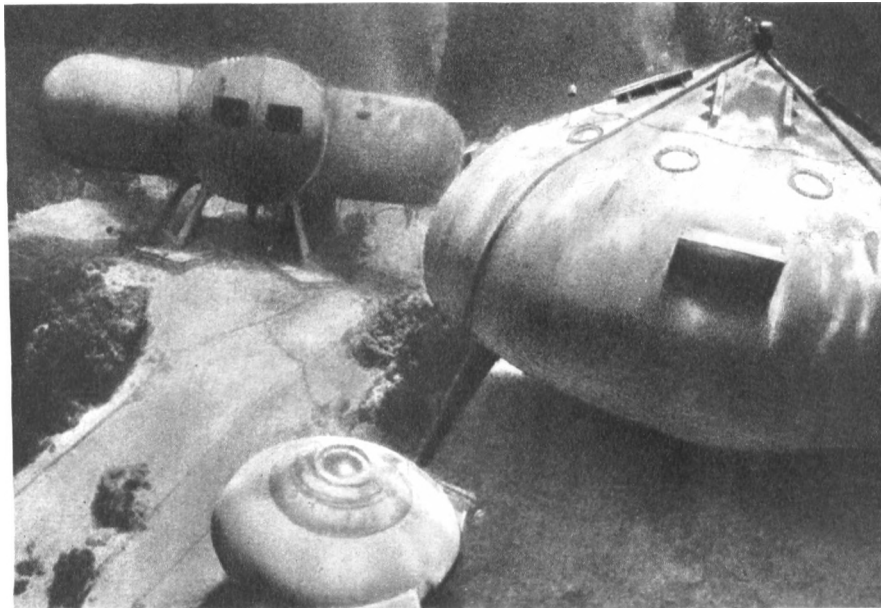




Приведем такое сравнение: на суше, в нашей родной стихии, населенное пространство можно представить в виде слоя, простирающегося от нескольких футов под землей до вершины самых высоких деревьев, что по своему объему составляет около четырех миллионов кубических километров — едва ли больше четверти того освещенного и насыщенного жизнью верхнего слоя моря, который доступен миллионам подводников.

СУМЕРЕЧНАЯ ЗОНА

Ниже 40 метров кажется, что свет поступает со всех сторон, здесь больше нет теней. Если вы смотрите вверх, то не видите сияния солнца. При дыхании аквалангисты начинают ощущать первые признаки «опьянения глубиной» — другими словами, действие азотного наркоза, который угрожает их безопасности, подавляя инстинкт самосохранения... Давление, холод и темнота подчеркивают враждебность подвод-



Общий вид подводной «деревни» «Преко́нтинент-II». В левом верхнем углу — дом «Звезда», в правом — гараж малой исследовательской подводной лодки «Дениза». На переднем плане «ныряющее блюдо» — «Дениза».

ного мира. На глубине около 300 метров в видимой части спектра сохраняется только тусклый свет, едва достаточный для того, чтобы различать предметы на коротком расстоянии и то лишь, если ваши глаза привыкли к отсутствию света. Ниже практически царит полная темнота.

«Сумеречная зона» содержит 80 миллионов кубических километров воды, включая все те районы моря, которые известны как континентальный шельф*. Часто она распространяется и на крутой материковый склон** ниже линии свала. Эта исключительно богатая зона изучена еще не очень хорошо, хотя она и представляет собой весьма широко используемую область глубоководного рыболовства. Предполагается, что сумеречная зона хранит по меньшей мере столько же

* Континентальный (материковый) шельф — прибрежная зона морского дна с глубиной от 0 до 200 м. — Ред.

** Материковый склон — наклонная поверхность значительной крутизны, представляющая переход от края материкового шельфа к большим глубинам. — Ред.

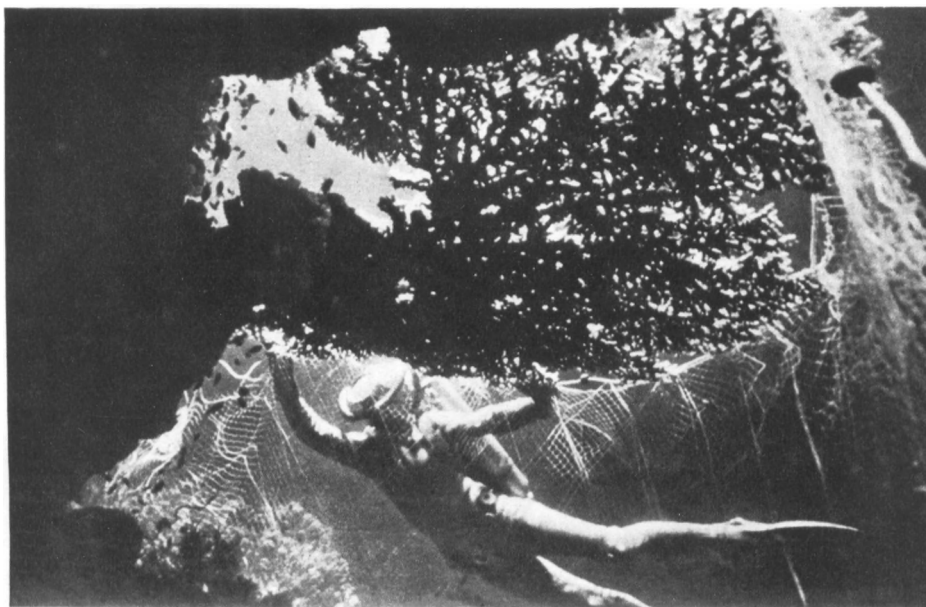
минеральных богатств (в пересчете на квадратный метр), сколько и прилегающая суша. Континентальный шельф занимает около 8% проективной поверхности моря — пространство в три раза большее, чем Соединенные Штаты. Автономные аппараты позволяют с риском для жизни проникнуть в сумеречную зону. Итальянским подводникам удалось при дыхании сжатым воздухом достигнуть на несколько секунд глубины 135 метров. Используя гелио-кислородную смесь, Ханс Келлер выплывал из своего колокола менее чем на минуту на глубине 300 метров. Эти смелые попытки расшатывают старые теории и возлагают большие надежды. Но за несколько секунд пребывания на такой глубине приходится расплачиваться долгими часами декомпрессии под медицинским наблюдением. Нужно найти другие пути, чтобы работать под водой дольше, глубже и с наибольшей эффективностью.

В МОРЕ, КАК ДОМА

Газы, которыми дышит водолаз, растворяются в его крови и тканях тела. Если водолаз возвращается на поверхность без соответствующих



Пионер подводного «домостроения» Ж. И. Кусто объясняет идею, положенную в основу подводных домов. На доске изображена схема подводного дома «Прекоонтинент-I»

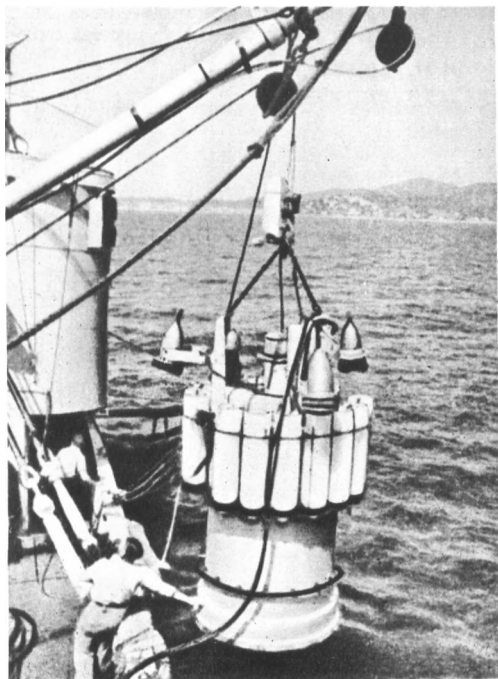


остановок для декомпрессии, в его кровеносных сосудах образуются пузырьки, которые блокируют кровообращение и вызывают тяжелые последствия, часто кончающиеся смертью. Надежное время декомпрессии зависит от характера дыхательной газовой смеси, глубины и длительности погружения. Но при определенном составе газов на той или иной глубине тело водолаза насыщается газами дыхательной смеси в течение нескольких часов, а затем время надежной декомпрессии остается тем же самым, независимо от того, поднимается ли водолаз на поверхность сразу же после насыщения, или остается на глубине или недели. Такое исключительно долгое нахождение под давлением называется «погружением при насыщении». Военный моряк Соединенных Штатов Джордж Бонд был первым, кто обратил внимание на практический интерес «погружений при насыщении» и разработал проект «оккупации» морского дна человеком.

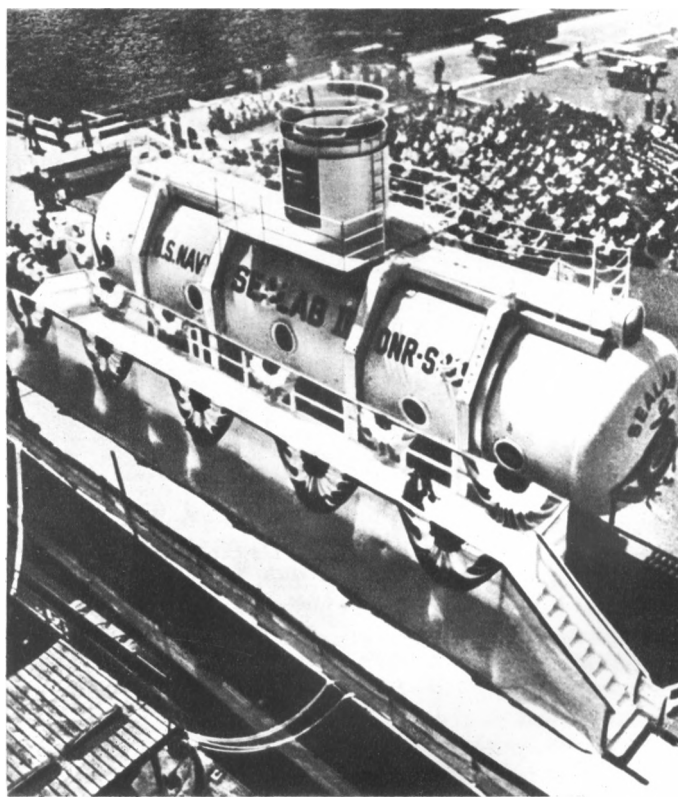
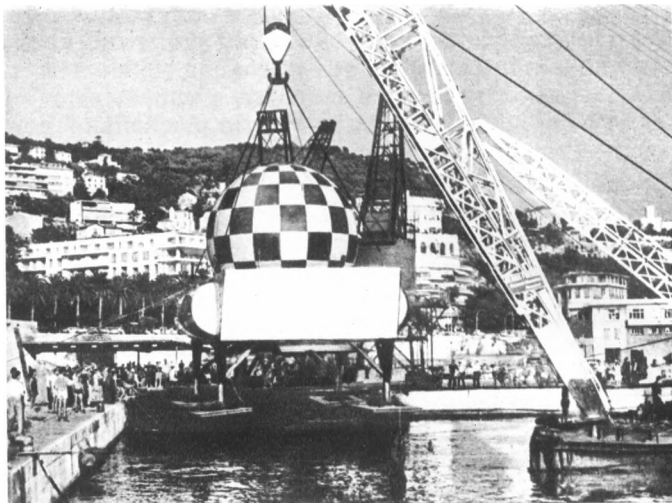
Впервые «погружение при насыщении» было произведено в сентябре 1962 г. Робером Стэнюи в маленькой декомпрессионной камере, спущенной с судна Эдвина Линка «Морской подводник» в заливе

Акванавт «Прекоонтинента-II» проводит биологический эксперимент

Спуск на воду подводного дома «Преко-
тинент-III»



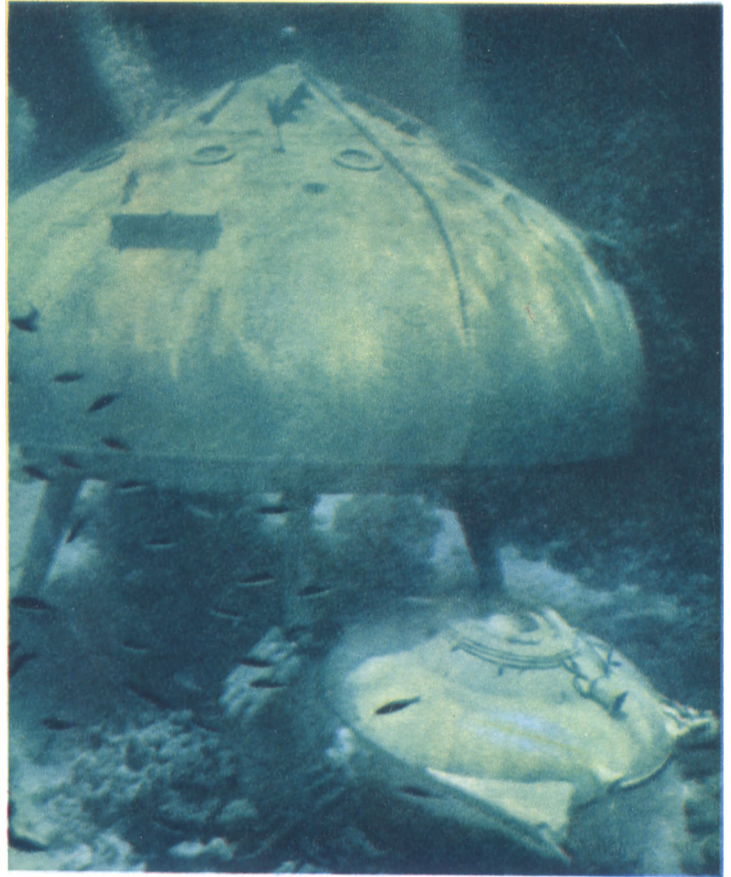
Летом 1965 г. английские водолазы про-
вели серию глубоководных погружений,
используя показанную на снимке двух-
местную погружаемую барокамеру. Спускаясь парами на глубину 183 м,
они выходили в воду, используя авто-
номные дыхательные аппараты, и рабо-
тали в воде по часу каждый, выполняя
измерения температуры в разных слоях
воды, производя фото- и киносъемку



Американская подводная лаборатория
«Силэб-11» перед спуском под воду

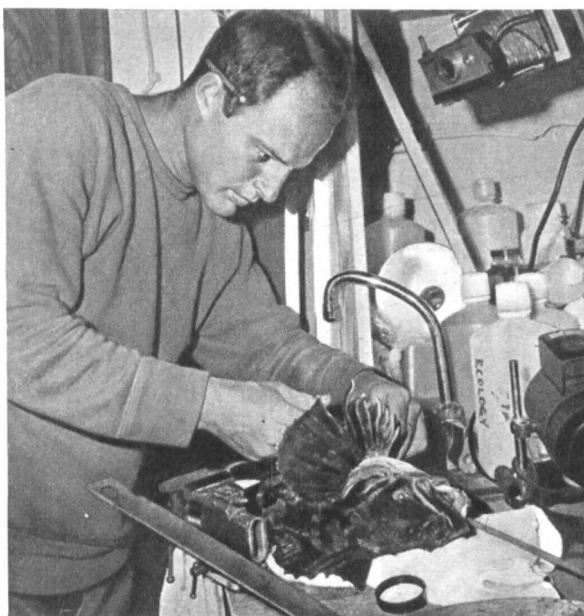


Дом «Звезда» во время сборки. В двух его лучах находятся спальные отсеки, в третьем — размещена лаборатория, а в четвертом — водолазный отсек. В центральном помещении, куда сходятся все лучи, установлен пульт управления и оборудована кают-компания



«Нырряющее блюдо» возвращается в свой гараж после погружения в глубины океана

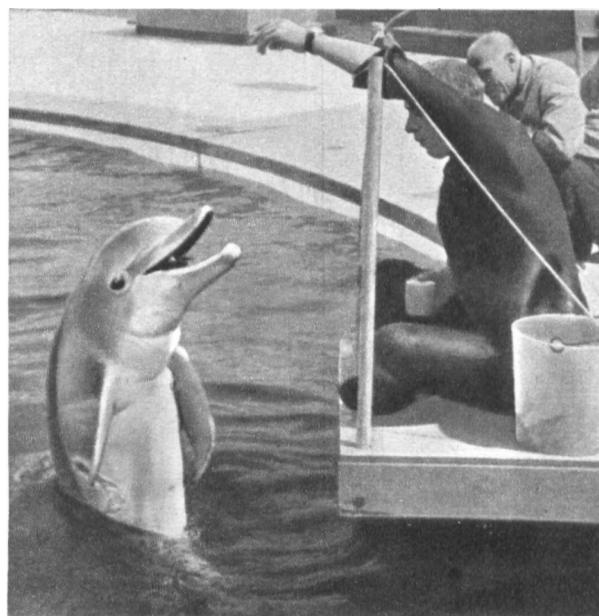
В работах «Силэб-II» ученые-океанологи проводили ряд биологических экспериментов: метили рыб, крабов и морские звезды, изучали условия обитания рыб и донных организмов, давление и состав газовой смеси в плавательных пузырях рыб, реакции морских обитателей на запахи и звуки, отбирали пробы планктона в районе дома и со склонов близлежащего каньона Скриппса. На снимке акванавт «Силэб-II» препарирует пойманную рыбу



Одним из примечательных моментов в программе «Силэб-II» была попытка использования дрессированного дельфина Таффи, который и изображен на снимке, для выполнения некоторых вспомогательных операций. Таффи подплывал на зов акванавта, находящегося на глубине 60—70 м, регулярно доставлял с поверхности в подводный дом почту и мелкие грузы

Вильфранш (Франция). Стэнюи оставался сутки на глубине 60 метров. К сожалению, из-за плохой погоды программа не была завершена, а процедура декомпрессии была прервана ввиду аварии. По причине несовершенства водолазного снаряжения Стэнюи мог выплывать из камеры только на крайне непродолжительные экскурсии. Но тем не менее был продемонстрирован новый метод. Еще раз стал очевидным тот факт, что подвешенное к судну убежище при плохой погоде подвергается значительной опасности. Подводная станция будущего должна быть установлена на дне. Капитан Жан Алина, мой ближайший помощник с 1957 г., уже сознавал необходимость этого, когда разрабатывал «Преко́нтинент» («Коншельф») — программу, которая должна была шаг за шагом привести к тому, чтобы человек в любой точке континентального шельфа чувствовал себя «в море, как дома».

«Преко́нтинент-I» был первой обитаемой подводной станцией. Эта станция, построенная и эксплуатируемая Французской службой подводных исследований, была погружена и находилась в течение недели



на весьма умеренной глубине (10 метров) в районе Марселя, в том же самом плодотворном сентябре 1962 г. Находясь на дне в загруженном балластом стальном цилиндре 6 метров длиной и 2,5 метра в диаметре, Альбер Фалько и Клод Весли проводили ежедневно нелегкую работу на глубине до 25 метров, в среднем по 4 часа. Через семь дней они благополучно вышли на поверхность, не испытав никаких болезненных последствий. Фалько и Весли были первыми «океанавтами».

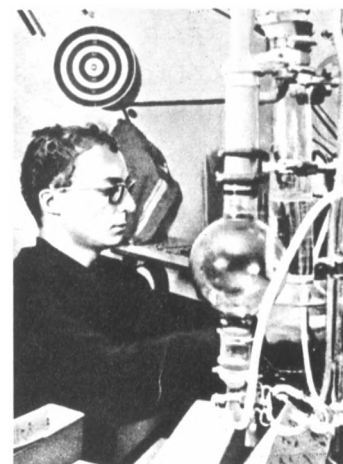
После этих исторических завоеваний техника «погружений при насыщении» продемонстрировала быстрый прогресс. Летом 1963 г. в Красном море «Преко́нтинент-II» дал возможность группе из пяти океанавтов работать на глубине от 10 до 25 метров в течение целого месяца, а второй группе из двух океанавтов жить и работать семь дней на 25—55 метрах глубины, в то время как «ныряющее блюдо» — наша маленькая исследовательская подводная лодка — обслуживалось подводным гаражом.

В июне 1964 г. на Багамских островах (Атлантический океан) Робер Стэнюи и Джон Линдберг предприняли смелую попытку достигнуть

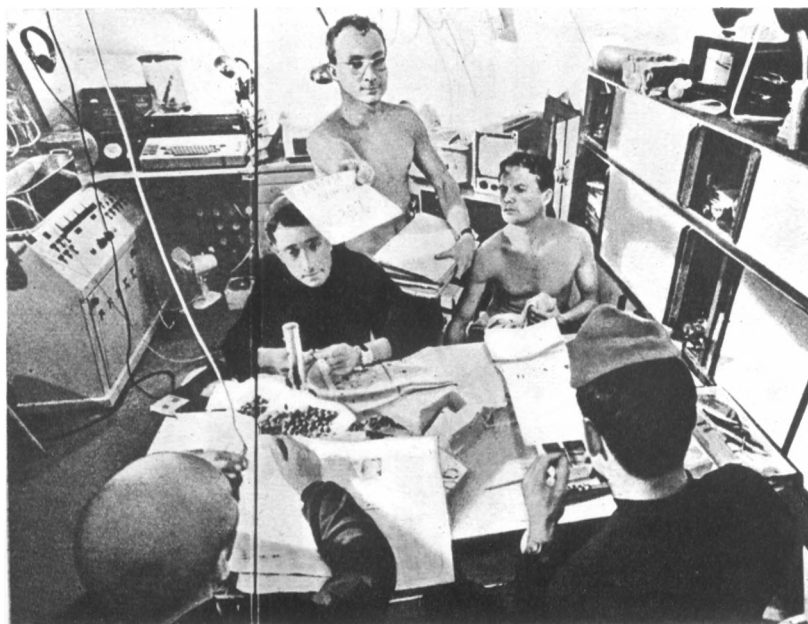
глубины 130 метров в надувной конструкции, но эксперимент был прерван через 48 часов, декомпрессия же продолжалась 92 часа вследствие проявления кессонной болезни у одного из подводников.

Вскоре за этим Военно-морской флот США начал осуществлять программу Джорджа Бонда «Силэб»: «Силэб-I» была опущена близ Бермудских островов (Атлантический океан); четыре человека прожили и успешно проработали 11 дней на глубине 56 метров.

Последние успехи в истории «погружений при насыщении» были достигнуты одновременно американскими и французскими исследователями. В подводном доме «Силэб-II», установленном в районе Ла-Хойя (Калифорния) на глубине 62 метров, три группы из 10 акванавтов каждая провели с 28 августа до 10 октября 1965 г. по 15 суток, со средней продолжительностью выходов в воду по 50 минут в день на человека. Один из акванавтов, Скотт Карпендер, оставался в «подводной лаборатории» 30 суток. В то же время, в канун 21 сентября, наша группа опустилась на дно в 140-тонном сферическом сооружении «Преко-



Французский акванавт Ролле производит химический анализ. Условия работы в подводном доме не только не уступают условиям работы на обычных судах, но в некоторых отношениях являются и более благоприятными. Подводный дом не подвержен качке и вибрации, он находится в непосредственной близости от исследуемого объекта, объемом и энергетика его позволяют использовать любую лабораторную измерительную аппаратуру



тинент-III» на край подводного каньона Вильфранш (Франция) на глубину 100 метров; шесть океанавтов «Прекоинтента-III» проработали 22 суток еще глубже (на 120 метрах), проводя в среднем по 2 с половиной часа в день на одного человека за исключительно тяжелой работой. Они успешно прошли 3,5-дневную декомпрессию и до настоящего времени у них не обнаружено никаких осложнений.

Готовятся еще более честолюбивые программы «Силэб-III» и «Прекоинтент-IV». Но уже теперь стало очевидным, что повсюду в мире, по крайней мере до самого края континентального шельфа, могут проводиться обширные и тяжелые работы любого рода. Значение этого завоевания для человечества переоценить невозможно.

ПОГРУЖЕНИЕ В ОБОЛОЧКЕ

Обитаемые подводные станции действительно открыли океанавтам сумеречную зону. Однако для соблюдения необходимой безопасности такие эксперименты непременно должны проводиться в широком мас-

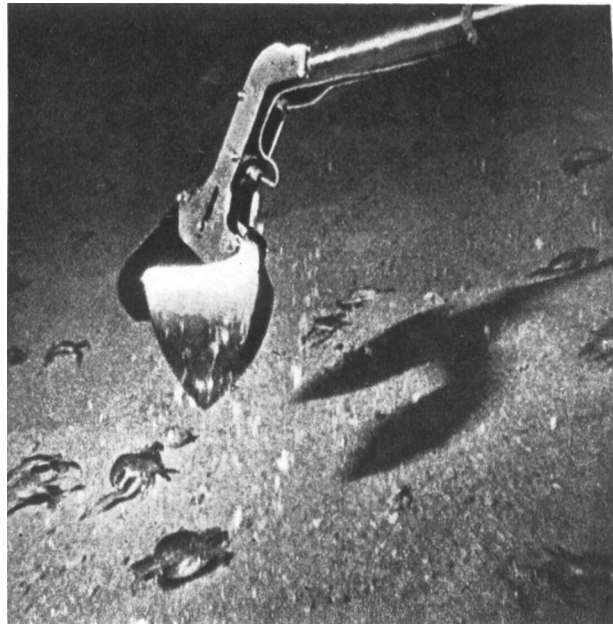
Акванавты «Прекоинтента-III» в кают-компани. Только что произведенный в ней анализ дыхательной смеси показал нормальное содержание кислорода... всего лишь 2,5%

142 штабе и хорошо оснащаться, а отсюда — их высокая стоимость и громоздкость оборудования, особенно ощутимая при переносе из одного исследуемого места в другое. В слое между 40 и 300 метрами для исследователя во многих случаях удобнее быть защищенным от давления твердой оболочкой (корпусом); вряд ли пригодны для работы висящие на кабеле шары или цилиндры: их место в музеях.

Акванавты «Прекоинтента-III» работали в воде по 2,5 часа в день на глубине до 120 м. В их задачу входила отработка ремонтных операций макета раздаточной колонки нефтяной скважины. Акванавты выполнили требования инженеров-нефтяников и доказали, что и на этих глубинах работа человека может быть выполнена экономически эффективно

Аппараты, соответствующие современным требованиям, созданы недавно. Они представляют миниатюрные свободно движущиеся исследовательские подводные лодки.

Родоначальником этого семейства было «ныряющее блюдце», созданное в Марселе Французской службой подводных исследований и пущенное в эксплуатацию с исследовательского судна «Калипсо» в Карибском море в 1959 г. С тех пор оно совершило 430 научных погружений до глубины 300 метров. «Ныряющее блюдце» весит всего 3,5 тонны, легко умещается в трюме судна, имеющего длину 40 метров, и приспособлено для двух человек — пилота и наблюдателя.



«Механическая рука» «Денизы». С помощью такой «руки» можно взять образец грунта, установить на дне прибор или даже поймать малоподвижное животное. В настоящее время практически все подводные аппараты снабжены подобными устройствами

«Блюдце» может оставаться в погруженном состоянии более 12 часов, его батареи содержат достаточный запас электроэнергии для движения при нормальных условиях в течение 5 часов. Его скорость весьма умеренна (3 километра в час), но вполне достаточна для исследований. Аппарат движется при помощи водометных движителей. Необычная форма корпуса была запроектирована для повышенной маневренности

ПОДВОДНЫЙ ПЛАНЕР

Советский Атлантический институт морского рыбного хозяйства и океанографии (Атлант-НИРО) недавно ввел в эксплуатацию принципиально новый тип привязного подводного аппарата для буксировки с повышенной скоростью — батиплан «Атлант-1». Этот аппарат внешне похож на миниатюрный самолет, но по существу он представляет собой подводный планер с отличной маневренностью. Он особенно удобен для того, чтобы изучать в работе рыбопромысловые тралы различных конструкций. Еще недавно исследователям-аквалангистам приходилось для этого совершать рискованные головокружительные поездки на движущихся тралах. Батиплан же сделал наблюдения за работой трала более безопасными и значительно более эффективными.

ности «блюдца». Оно оборудовано гирокомпасом, гидролокатором, работающим в трех направлениях, радиотелефоном, магнитофоном, фото- и кинокамерами, а также «механической рукой» для взятия проб.

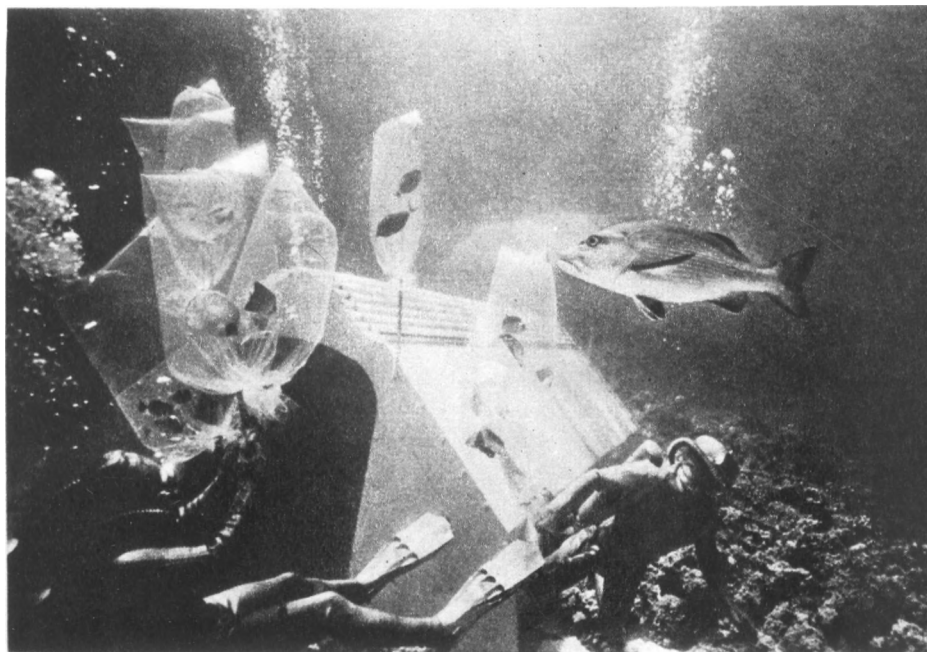
ОБРЫВИСТАЯ ГРАНИЦА

Практически для сумеречного слоя аппарат «ныряющее блюдце» вполне эквивалентен аквалангу в слое, освещаемом солнцем. Благодаря своему легкому весу он, по-видимому, был первой летающей подводной лодкой, так как уже четырежды пересек Атлантический океан на борту грузового самолета. В самом ближайшем будущем сумеречный слой будет наводнен множеством аппаратов типа «ныряющего блюдца».

Когда на борту «ныряющего блюдца» вы достигнете края континентального шельфа, вас поразит, как внезапно и круто обрывается дно. Под ярким лучом прожекторов дно исчезает в голубизне. Есть основа-



Жизнь в подводном доме вполне комфортабельна. Вот только в гости ходить некуда...



ние опасаться, что может возникнуть головокружение. Затем вы наклонитесь на 30 или 35°, чтобы проследить, как склон уходит вниз. Поверхность склона нередко бывает изрезана очень узкими и крутыми подводными каньонами, которые иногда образуют ступени, словно в их стенах вырублена гигантская лестница. При таких ландшафтах даже лучший в мире эхолот не способен передать то, что вы видите сквозь иллюминатор «ныряющего блюдца».

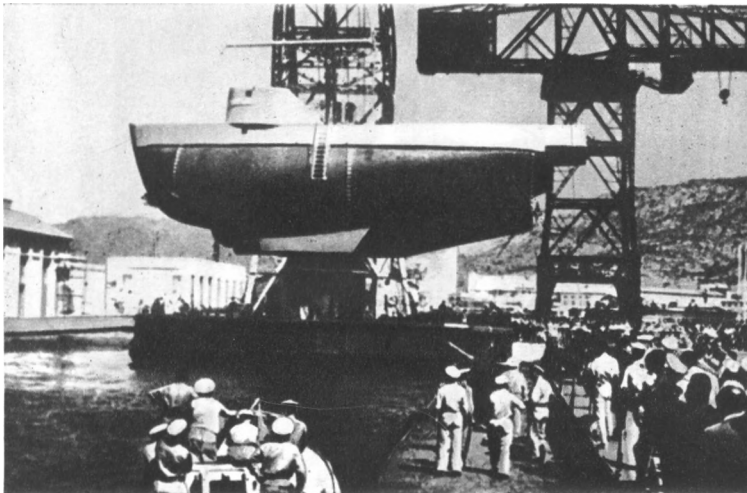
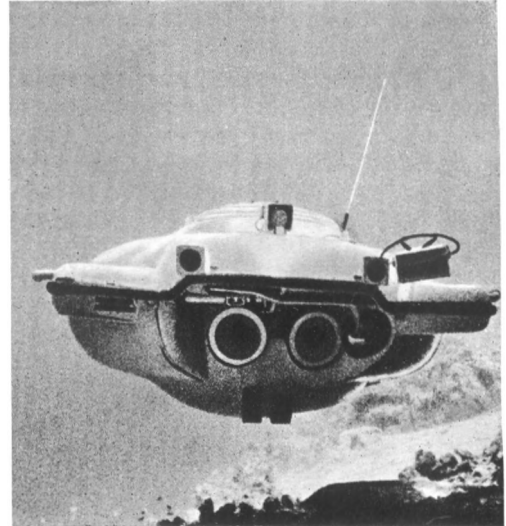
Одной из задач, поставленных перед жителями подводной деревни, был отбор экспонатов для Океанографического музея в Монако. Помещенные в полиэтиленовые мешки, рыбы самолетом доставлялись из Красного моря в Монако

В ГЛУБИНАХ МОРЯ

Здесь, на глубине 300 метров, «ныряющее блюдце» должно остановиться и уступить работу по изучению «средних глубин» моря (от 300 метров и глубже) аппаратам с более прочным корпусом. Более глубоководные снаряды относятся к двум категориям: это батискафы и исследовательские лодки (речь о них будет дальше). Мне выпала честь несколько раз погрузиться в эти глубины моря в 1953 г.

Верхняя часть материкового склона на средних глубинах представ-

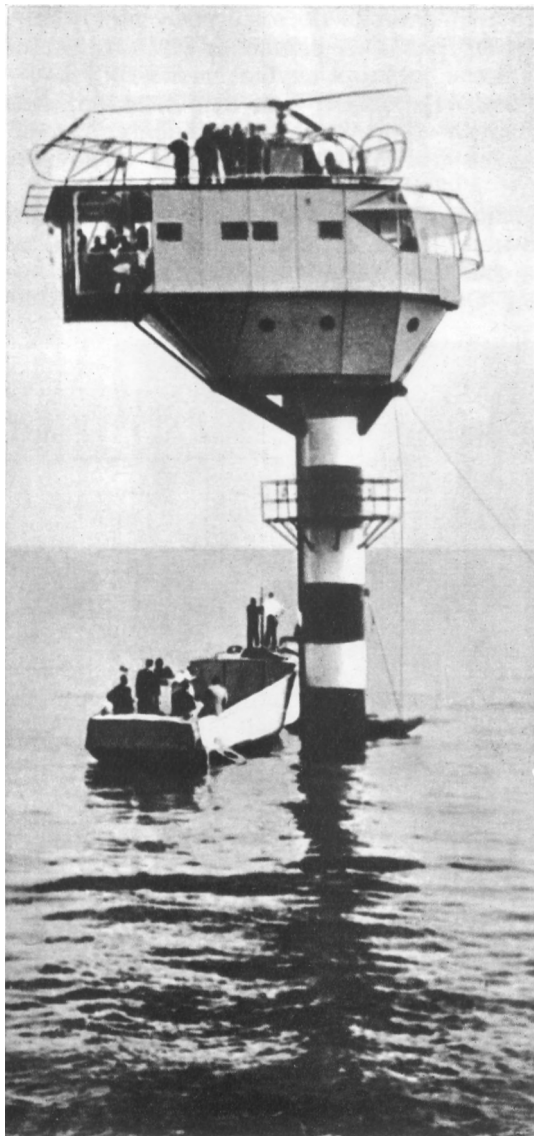
Батискаф «Архимед» — пример поплавковой конструкции. К сожалению, предельные глубины океана пока доступны лишь таким мастодонтам



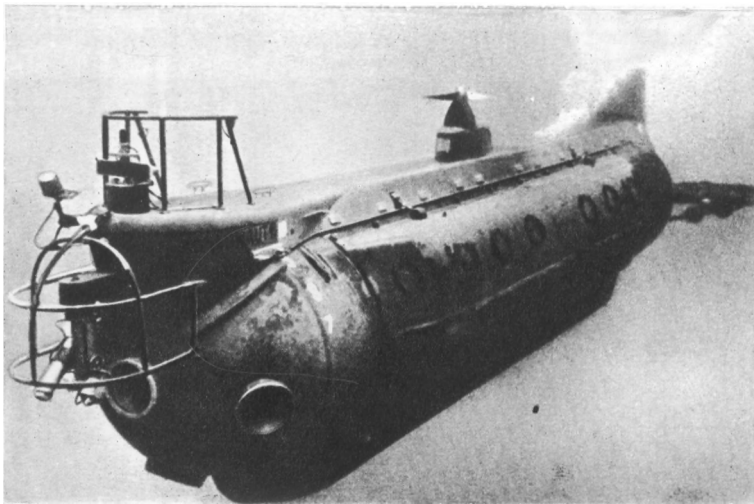
Как бы высока ни была приспособляемость организма человека к давлению, на средние глубины океана может проникнуть только подводная лодка. Первой ласточкой малых исследовательских подводных аппаратов была «Дениза» — двухместный аппарат, специально спроектированный для подводных исследований. Совершив уже несколько сот погружений, «Дениза» сделала огромный вклад в наши знания о морских глубинах.

Франко-американский исследовательский подводный аппарат «Дипстар-4000» — младший член семьи «ныряющих блюд»





Несколько лет назад на вооружение океанографов поступило новое оригинальное устройство — обитаемый плавучий буй. Специальная форма буя — удлиненный вертикальный цилиндр — делает буй устойчивым на волне. Это позволяет производить наблюдения над морским волнением и ветром, исследовать процессы в поверхностных слоях океана и в пограничном слое океан — атмосфера. Таких буй сейчас два. Один из них — французский «Тайнственный остров» — показан на снимке



Американский подводный аппарат «Элюминат» — единственная в мире подводная лодка из алюминия — рассчитан на погружение до 4500 м



Для работы под водой акванавты «Прекоинтента-III» использовали дыхательную аппаратуру нового типа. На снимке Ж. И. Кусто испытывает новый дыхательный аппарат

ляет собой наклонную стену, иногда причудливо расчлененную, иногда покрытую илом. Склон резко обрывается к равнинам и менее заметным выступам. Большие океанские бассейны, лишь местами усеянные изолированными скалистыми вершинами, вулканами или даже горными цепями, в основном представляют собой гигантские осадочные равнины. Эта довольно однообразная (только по внешнему виду) зона находится на глубине 3—6 тысяч метров. Она занимает 67% всей площади морей и океанов. Границы зоны средних глубин четко соответствуют физическим и геологическим переходам. Над ней расположены континентальный шельф, обрывистый прогиб дна и основной слой температурного скачка, а внизу, за ее пределами, — большие океанские впадины.

Итак, на средние глубины несколько сот раз проникали батискафы «ФНРС-III», «Триест» и «Архимед». Эти сооружения основаны на принципе дирижаблей: тяжелая стальная гондола поддерживается поплавком, наполненным бензином. Они представляют собой подъемни-



Обитатели коралловых рифов быстро нашли «общий язык» с французскими акванавтами

ки без каната. Эти большие, хрупкие, маломаневренные устройства стали славными пионерами глубоководных исследований. Но идея их создания относится к довоенным дням, их конструирование затянулось и они действительно устарели, прежде чем появились.

Сегодня мы уже в состоянии достичь без всякого поплавка глубины 4 и даже 6 тысяч метров. Технология высококачественной стали, легких сплавов, титана, стекла или пластиков, применяемых по отдельности или в сочетании, дает возможность создать корпуса, которые могут противостоять с достаточным коэффициентом прочности давлению 500—600 атмосфер и вместе с тем всплывать самостоятельно.

Такие очень прочные и в то же время очень легкие корпуса технически осуществимы главным образом потому, что приемлемая величина запаса прочности уменьшается при возрастании рабочего давления. Это логично, поскольку относительные изменения давления, обуславливаемые данными частными изменениями глубины, меньше, если подводная лодка рассчитана на то, чтобы работать на 4 тысячах метров, чем если она может погружаться лишь до 400 метров.

Для исследовательских подводных лодок, как и для аквалангистов, условия на поверхности могут оказаться более критическими, чем те, которые приурочены к большим глубинам. Поэтому переноска подводной лодки в воду и из воды каждый раз представляет собой серьезное испытание.

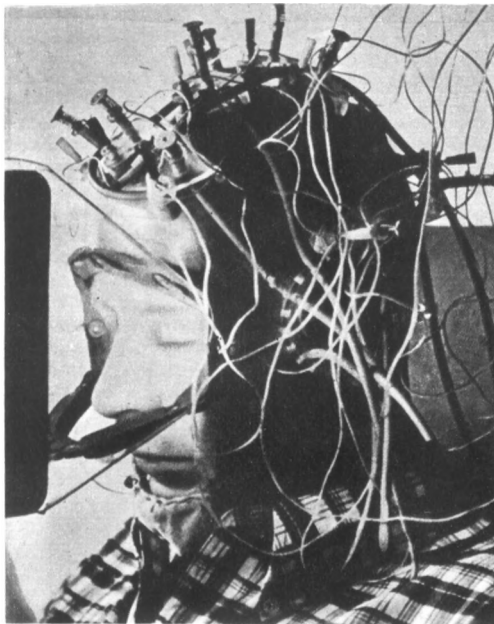
Малый вес лодки существенно облегчает ее спуск и подъем. Уменьшение размеров увеличивает также и маневренность в условиях сложного рельефа.

Совсем недавно стали функционировать три малые исследовательские подводные лодки — «Элюминаут», «Алвин» и наша «Дипстар-4000». Они только начали свои странствия в сердце моря.

Следует добавить, что батискафы и глубоководные исследовательские лодки открыли новые перспективы и для познания средних глубин.

Научный баланс этих погружений еще устойчиво находится в состоянии задолженности. Из многочисленных наблюдений пока могут

Члены экипажа подводного дома «Прекоинтinent-III» регулярно подвергались тщательному и всестороннему медицинскому осмотру



быть сделаны два общих вывода: во-первых, стало несомненным, что в открытом море плотность планктона не обязательно убывает с увеличением глубины (вовсе не редкость, когда приходится проходить сквозь исключительно густой слой планктона на глубине тысячи метров), и, во-вторых, дно моря, большей частью покрытое толстыми слоями отложений, служит ареной интенсивной жизни в толще грунта. Едва ли можно найти один квадратный метр без нор — малых, средних и крупных. Обитатели этих очень густо расположенных нор все еще представляют для нас в значительной степени загадку.

БЕЗДНА

Большие океанские впадины (Марианская, Филиппинская, Тонга и т. д.) представляют собой глубокие и узкие желоба, расположенные главным образом в Тихом океане. Можно сказать, что их зона начинается на глубине 6 тысяч метров, простирается более чем на 11 тысяч метров и занимает только 2% всей площади моря. Глубоководные

Изменение состава дыхательной смеси вызывает ряд побочных явлений. Одно из них — искажение голоса человека. При дыхании гелиокислородной смесью обычная речь превращается в почти неразличимое кваканье. Акванавты рано или поздно привыкают к столь необычному звучанию их голосов, но для переговоров с поверхностью им приходится использовать различные аппараты. Один из них показан на снимке. С помощью такого устройства акванавты «Прекоинтinent-III» разговаривали со дна Средиземного моря с экипажем подводной лаборатории «Силэб-II» в Тихом океане у берегов США

впадины — это критические точки, где земная кора очень тонка и является ареной высокой сейсмической активности. Полностью доказанное наличие разнообразной жизни при давлении более чем тысяча атмосфер — волнующий вызов физиологам и биологам. Систематическое изучение этих глубоководных впадин представляет столь большой интерес, что вполне оправдывает расходы по строительству и эксплуатации такого супербатискафа, как «Архимед». Супербатискаф — это большое судно с огромным поплавком, содержащим бензин или другие легкие вещества. Он включает одну или несколько стальных сфер с достаточными помещениями для нескольких ученых и значительного полезного груза, в том числе научных приборов. Он обладает достаточ-

ЭВЕРЕСТ И «АНТИ-ЭВЕРЕСТ»

В то время как Эверест (Джомолунгма) имеет высоту 8882 м над уровнем моря, максимальная известная глубина Мирового океана достигает в Марианской впадине 11 034 м. Вершину Эвереста впервые покорили в 1953 г. Э. Хилари и Тен-Синг, глубины 10 910 м, которую автор называет «Анти-Эверестом», достигли в 1960 г. на батискафе «Триест» Ж. Пиккар и Д. Уолш.

ПОГРУЖЕНИЕ И ДАВЛЕНИЕ

Ж. И. Кусто подчеркивает, что для исследования глубин поверхность моря представляет собой самый неудачный и неблагоприятный плацдарм. Любые операции осложняются здесь волнением и ветром. Кроме того, именно у поверхности моря происходит наиболее резкий перепад физических условий, в том числе и давления среды.

Приведем лишь один пример. Известно, что при погружении на каждые 10 м наружное давление возрастает на одну атмосферу. Так, погружающийся аквалангист испытывает на поверхности давление, равное одной атмосфере, на глубине 10 м — двум, на 20 м — трем и т. д. Таким образом, при погружении на первые 10 м давление на организм подводника возрастает вдвое, в диапазоне 10—20 м (то есть при дальнейшем погружении на те же 10 м) — всего лишь в полтора раза, от 20 до 30 м — в 1,33 раза и т. д.

Сходным образом изменяются и нагрузки на прочный корпус различных подводных аппаратов; перепад этих нагрузок наиболее велик именно вблизи поверхности. Переход аппарата из одной физической среды в другую также чреват различными осложнениями. Поэтому автор и ищет различные пути (пример тому — «подводные дома») для того, чтобы изучать море не с его поверхности, а «изнутри».

Сто лет назад

НЬЮ-ЙОРК

Один американский моряк объявил в газетах, что он отправляется в Европу на лодке. Он уже раз пытался совершить на таком микроскопическом судне путешествие через Атлантический океан в Ливерпуль в сопровождении мальчика и своей собаки, но через несколько дней должен был возвратиться в Нью-Йорк, потому что его миниатюрный бриг был сильно поврежден.

«Биржевые ведомости»,
12 апреля 1866 г.



ГРЕЦИЯ

В Эгейском море после сильных подземных ударов поднялся огненный столб близ острова вулканического происхождения Санторино. Цвет воды в море сделался красным от раствора железных солей, и вода в море кипела, как в котле. Для исследований прибыла лодка с греческими учеными, которые обнаружили поднявшийся новый остров на том месте, где раньше поднимался огненный столб. Остров был назван Георгиевским. Через несколько дней в 150 метрах от него комиссия ученых заметила быстро поднимающийся из моря новый вулкан. Кроме того, во многих местах появились из-под воды новые горы, которые еще не исследованы.

«Иллюстрированная газета»,
№ 27, 14 июня 1866 г.

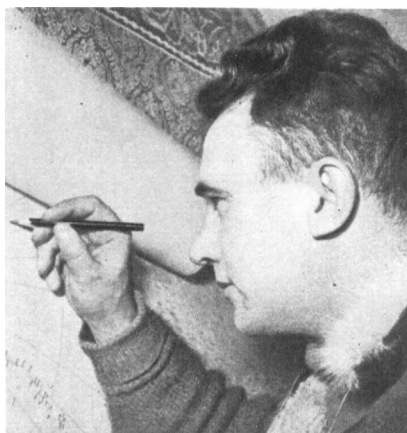


ной мощностью для существенного горизонтального перемещения с соответствующей скоростью. Поскольку «Триест» после своего исторического завоевания «Анти-Эвереста» пришел в упадок, возникла насущная необходимость в других супербатискафах, помимо единственного французского «Архимеда».

149

ПРОЩАНИЕ С ПОВЕРХНОСТЬЮ

Все перечисленные или описанные выше современные достижения должны привести к новому типу отношений между человеком и морем. Поверхность (и даже поверхностный слой) представляет собой самый неудачный плацдарм для изучения океана. Вертикально поднимающиеся и опускающиеся гидропланы и вертолеты, устойчивые обитаемые буи, поставленные на якорь в ключевых пунктах, тысячи буй-отметчиков, рассеянных по океанам и передающих сигналы спутникам, могут дать нам во много раз больше информации, чем океанографические суда. К этой грандиозной и постоянно действующей сети нам было бы нужно добавить не слишком много океанографических подводных лодок, причем некоторые из них должны оставаться на дне и служить подвижными обитаемыми подводными станциями, дающими возможность действовать океанавтам, когда и где это необходимо; нужны исследовательские подводные лодки, способные погружаться на большие глубины, нужны и супербатискафы.



А. Ф. Трешниковым написано более 70 научных книг и статей. Работа «История открытия и исследования Антарктиды» удостоена Всесоюзным географическим обществом золотой медали Литке. За выдающиеся успехи в исследовании Арктики А. Ф. Трешникову присвоено звание Героя Социалистического Труда.

АЛЕКСЕЙ ФЕДОРОВИЧ ТРЕШНИКОВ (р. 1914) — географ, доктор географических наук, директор Арктического и Антарктического института, вице-президент Географического общества СССР, заместитель председателя Полярной комиссии, член Национального тихоокеанского комитета, член бюро Междуведомственной антарктической комиссии, член президиума Научно-технического совета Гидрометслужбы СССР.

Родился в селе Павловка Ульяновской области. В 1939 окончил Ленинградский университет и начал работу в Арктическом научно-исследовательском институте. Спустя год он впервые зимовал в Арктике, на Новосибирских островах. С тех пор А. Ф. Трешников ежегодно бывает на Севере. В 1946 он закончил аспирантуру Арктического института, защитив кандидатскую диссертацию.

В 1948, 1949, 1950 А. Ф. Трешников участвовал в высокоширотных воздушных экспедициях. С 1950 по 1954 А. Ф. Трешников — заместитель директора Арктического научно-исследовательского института. В 1954—1955 возглавлял дрейфующую научную станцию «Северный полюс-3», которая собрала уникальные материалы по водным массам, перемещению и структуре льдов, аэрометеорологии, земному магнетизму, рельефу океанского льда и ионосфере.

В 1936—1958 А. Ф. Трешников возглавлял Вторую советскую антарктическую экспедицию, руководил первым внутриконтинентальным санно-гусеничным походом к Южному полюсу и созданием одной из самых отдаленных от побережья материка станции «Восток». В 1958—1960 А. Ф. Трешников руководил арктическим отделением Арктического и Антарктического института.

АЛЕКСЕЙ ФЕДОРОВИЧ ТРЕШНИКОВ

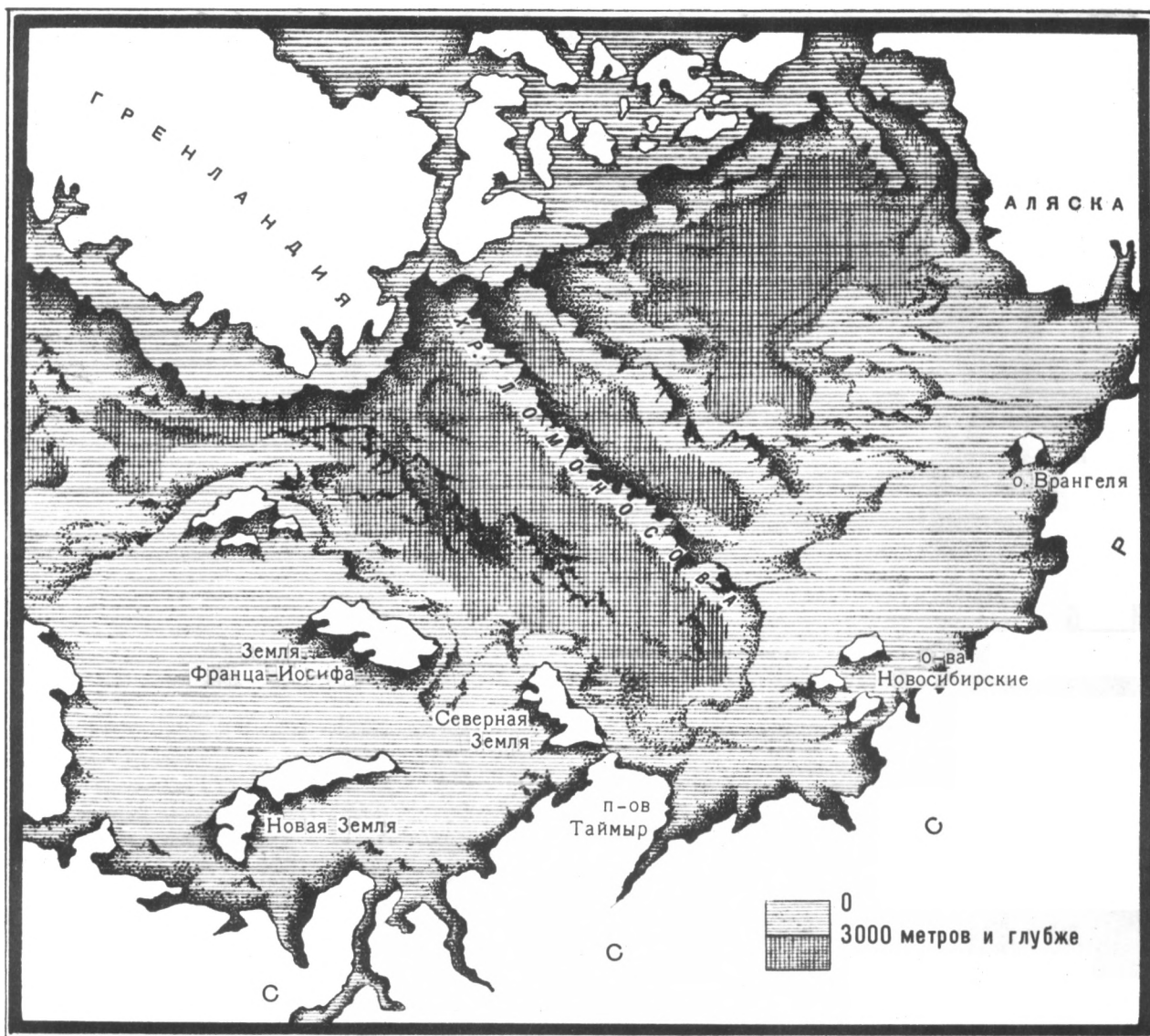
АРКТИКА

И ЕЕ ИЗУЧЕНИЕ

Богата, но сурова природа Сибири и всего нашего Севера. Добыча полезных ископаемых, разработка огромных лесных массивов Сибири требуют развития транспорта. Основными транспортными артериями являются сибирские реки, текущие с юга на север, и Северный морской путь, пролегающий по арктическим морям Северного Ледовитого океана.

Льды покрывают арктические моря в течение большей части года и представляют основное препятствие при плавании кораблей. Окраинные моря, омывающие северные берега Советского Союза, являются лишь заливами глубоководного арктического бассейна. Образование, движение, распределение и разрушение льдов в них зависят от циркуляции атмосферы, движения водных масс, географических условий Северного Ледовитого и прилежащих частей Атлантического и Тихого океанов.

В прошлом, когда о природе арктических районов люди знали очень мало, плавания судов в арктических морях были связаны с огромными трудностями и большим риском. Потребовались гигантские усилия ученых, мореплавателей, летчиков, чтобы изучить суровую природу Арктики и приступить к освоению природных богатств Севера. Только сейчас, оглядываясь назад, мы в полной мере можем оценить важность



Арктический бассейн, до 1948 г. представлялся, по Нансену, обширной чаше-подобной впадиной с относительно крутыми склонами и плоским дном. Советские исследователи выявили совсем иную структуру дна этого бассейна. Ее характерными особенностями, наряду с котловинами, являются три океанических хребта: хребт Ломоносова (открыт советской высокоширотной экспедицией 1948 г.), поднимающийся со дна океана местами более чем на 3000 м, хребт Менделеева (открыт советской высокоширотной экспедицией 1950 г.), хребт Гаккеля (открыт советскими исследователями-полярниками в 1960 г.)

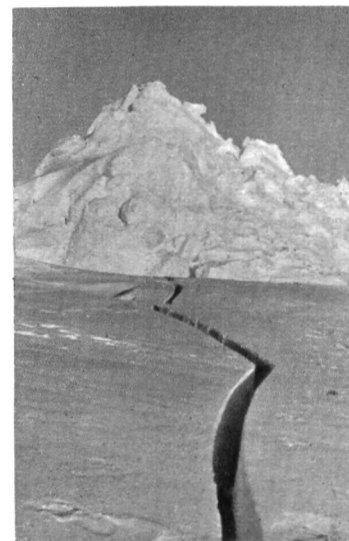
исследований, проводившихся в Арктике многие годы, и ответить на вопрос, нужно ли было тратить столько средств и человеческой энергии на изучение районов вечного холода и вечного льда. А такой вопрос часто в прошлом задавался полярным исследователям, да иногда задается и сейчас.

Большинство полярников, и я в том числе, влюблены в этот суровый край: красота пейзажей в полярный день, суровость полярной ночи, флора и фауна привлекательны своей необычностью. И многих людей туда влечет снова и снова. Мое мнение может показаться пристрастным. Поэтому я сошлюсь на слова человека, занимающегося не изучением природы Арктики, а конструированием сложных машин — главного конструктора гидротурбин Металлического завода имени XXII съезда КПСС Г. Щеголева. В газете «Известия» от 3 марта 1966 г. в статье об эффективности науки он писал: «...разве до войны, когда шло освоение Севера, так уж были очевидны немедленные выгоды народному хозяйству? А теперь Северный морской путь — одна из главных транспортных магистралей страны. Разве в тридцатые годы мы могли подумать о том, чтобы отправить рабочие колеса турбин Красноярской ГЭС водой, Северным путем? Теперь же эта операция была выполнена в кратчайший срок. Таковы пути большой науки, практические результаты которой поначалу нередко вызывают больше сомнений, чем надежд. Если теперь подсчитать эффективность затрат на освоение Севера, то она выразится в колоссальных цифрах».

В связи с 50-летием Советской власти мне хочется рассказать о некоторых этапах изучения и освоения Арктики. Я впервые поехал в Арктику в 1940 г. Уже были совершены полеты на полюс и через Ледовитый океан в Америку, а нам транспортом служили собачьи упряжки, как две капли воды похожие на те, которыми пользовались наши предшественники в XVIII и в XIX столетиях... Как некогда охотники за мамонтовой костью, мы жили в урасах промышленников, а то и в брезентовых палатках, когда, например, вели наблюдения на Новосибирских островах и морском льду проливов, разделяющих острова. Мы заканчивали наши исследования как раз в те дни, когда высокоширотная воздушная экспедиция на самолете «Н-169» осуществляла комплексные научные исследования в районе Полюса относительной недоступности. Я, разумеется, не предполагал, что через семь лет мне придется участвовать в еще более грандиозной экспедиции, которая в нескольких сотнях километров от Новосибирских островов откроет хребет Ломоносова, протянувшийся через околополюсный район к Земле Элемира. Но я понял тогда, что эта удивительная страна будет владеть моими мыслями, а ее изучение станет делом моей жизни...

Год, в который я принял свое полярное крещение, был юбилейным. Исполнилось 20 лет с начала планомерных исследований в Арктике, которые развернула Северная научно-промысловая экспедиция, впоследствии преобразованная в Институт по изучению Севера — ныне Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Создание Северной экспедиции было одним из проявлений того большого внимания, какое оказывалось В. И. Лениным изучению Севера. В число членов ее ученого совета вошли виднейшие советские специалисты А. Е. Ферсман, Ю. М. Шокальский, К. М. Дерюгин, А. П. Карпинский, Н. М. Книпович, Л. С. Берг, В. Г. Тан-Богораз.

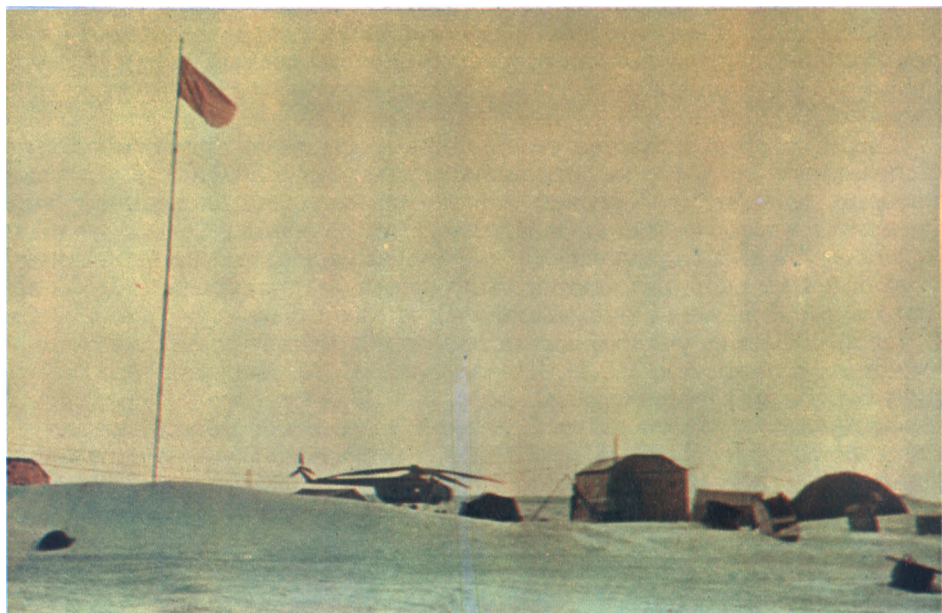
Интересы научных работ Северной экспедиции распространялись на геологию, зверобойные промыслы, оленеводство, охотничье дело, изучение почвенно-ботанических условий. Один из ее отрядов во главе с академиком А. Е. Ферсманом обнаружил на Кольском полуострове месторождение апатитов. Большое внимание было уделено изысканиям угля и нефти на Ухте, Печоре и геологическим исследованиям на Новой Земле.



Через льдину дрейфующей станции прошла трещина



Дрейфующая станция в
Центральной Арктике по-
лярной ночью и днем



Постепенно наряду с расширением геологических и биологических исследований получают развитие общегеографические, океанографические и метеорологические работы. Экспедиции на ледоколе «Красин» и ледокольных пароходах «Малыгин» и «Седов» по спасению участников полета на дирижабле «Италия» (1928 г.) не только принесли советским полярникам широкую международную известность, но и обогатили науку новыми, в то время уникальными данными по океанографии и метеорологии северных частей Гренландского и Баренцова морей. Затем была создана на Земле Франца-Иосифа самая северная в мире геофизическая обсерватория и обследована значительная акватория на севере Карского моря. Здесь экспедиция на ледокольном пароходе «Седов» открыла остров, существование которого теоретически предсказывалось советским ученым-полярником В. Ю. Визе. Та же экспедиция в том же Карском море открыла острова Исаченко, Воронина, Длинный, архипелаг Седова и остров Шмидта за 81° с. ш.

В 1930 г. Всесоюзный арктический институт (ВАИ) становится единым центром, который объединял изучение всех сторон природных явлений в Арктике.

Одним из первых крупных мероприятий ВАИ была подготовка и осуществление сквозного плавания по Северному морскому пути в одну навигацию.

Успешный рейс «Сибирякова» из Архангельска во Владивосток имел исключительно важное значение. Он практически подтвердил правильность идеи использования Северного морского пути не только для грузоперевозок между арктическими портами, но и как водной магистрали, соединяющей порты, расположенные в бассейнах Атлантического и Тихого океанов.

В том же году завершилось полное картирование архипелага Северная Земля, простирающие западных, северных и отчасти южных берегов которого до того оставалось загадкой.

В 30-х годах на повестку дня был поставлен вопрос о транспортной эксплуатации водной трассы Севера на всем ее протяжении. Вместе с тем возник ряд проблем перед советскими учеными-полярниками.

Плавание судов в арктических морях до 1932 г. осуществлялось практически без какой-либо информации о состоянии льдов на трассе. Небольшое количество полярных станций, имевшихся в то время на арктическом побережье, ни в какой мере не могло осветить ледовую обстановку даже в узкой прибрежной полосе. Отдельные сведения, передававшиеся с редких полярных станций, имевших весьма ограниченный обзор, могли скорее дезориентировать мореплавателей, чем помочь им выбрать правильный путь. Плаванья осуществлялись в основном лишь благодаря большому личному опыту отдельных капитанов, способных обобщить свои многолетние наблюдения и так или иначе ориентироваться в ледовой обстановке.

Возникла необходимость развернуть широкое изучение арктических морей и создать навигационные пособия. С этой целью были организованы специальные экспедиции и океанографические работы на многих кораблях, совершавших рейсы в различные пункты Арктики.

Вслед за сквозными рейсами ледокольных пароходов «Сибиряков» (1932 г.), «Челюскин» (1933—1934 гг.), «Литке» (1935 г.), собравшими обширный материал по гидрологии, в последующие годы осуществлены многочисленные комплексные океанографические экспедиции в Баренцово, Гренландское и Карское моря, позволившие осветить общие черты гидрометеорологического режима арктических морей.

Одновременно начались планомерные ежегодные экспедиции Арктического института по патрулированию кромки льдов в Баренцовом, Карском, Чукотском и Восточно-Сибирском морях на небольших экспедиционных судах. На этих судах, помимо разведки и патрулирова-



Измерение солнечной радиации на дрейфующей станции

Ледокольный пароход «Седов». 1928 г.



Ледокол «Сибиряков». 1932 г.



ния кромки льдов, велись наблюдения за температурой, соленостью морской воды, морскими течениями и дрейфом льдов. Материалы наблюдений этих экспедиций с борта корабля сразу же по радио передавались в научно-оперативные центры и использовались для предсказания условий плавания в арктических морях и сроков окончания арктической навигации.

Все большее развитие получала авиационная ледовая разведка. Сначала она носила эпизодический характер и использовалась лишь для выбора среди льдов наиболее благоприятного пути следования отдельных кораблей и небольших караванов судов. В дальнейшем эта разведка стала производиться ежегодно с февраля по ноябрь, что позволило выявить основные закономерности в изменении ледовых условий от сезона к сезону и от года к году. Научные работники — гидрологи в содружестве с летчиками полярной авиации на основании анализа наблюдений и обобщения опыта разработали тактику ледовой разведки в зависимости от ее цели, детальную номенклатуру льдов и методы картирования ледовой обстановки.

Вслед за рекогносцировочным обследованием арктических морей возникла необходимость приступить к изучению Арктического бассейна, обуславливающего ледовый, гидрологический и метеорологический режимы арктических морей.

В 1935—1937 гг. были осуществлены три высокоширотные экспедиции на ледокольном пароходе «Садко» в северную часть Карского, Гренландского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. При этом собраны уникальные материалы, которые легли в основу ряда научных работ. Вместе с тем стало очевидным, что на современных ледокольных судах не проникнуть в Центральную Арктику, которая в своей большей части оставалась белым пятном.

Развитие авиации позволило советским полярникам сделать новый качественный скачок в области научных исследований. В мае 1937 г. Воздушная высокоширотная экспедиция высадила первую в мире дрейфующую станцию «Северный полюс-1» («СП-1») в районе Северного полюса, открыв новую страницу в исследовании Центральной Арктики. Героические исследователи И. Д. Папанин, Е. К. Федоров, П. П. Ширшов и Э. Т. Кренкель провели девятимесячные наблюдения на дрейфующей станции и получили первые научные данные о перемещении воздушных масс в приполюсной области, о гидрологическом режиме, магнитных явлениях, животном и растительном мире. Станция оказала большую помощь в осуществлении трансарктических перелетов В. П. Чкалова и М. М. Громова. В этом году отмечался 30-летний юбилей «СП-1».

К тому времени, когда мне довелось впервые ступить на землю Арктики, в районы Севера за годы Советской власти было предпринято более 300 экспедиций. В основном это были небольшие научные группы и партии. Год за годом они настойчиво собирали все новые материалы о природе Северной полярной области, которые послужили основой для развития научных идей и принесли неоценимую услугу народному хозяйству нашей страны.

Советские ученые на исходе второго десятилетия научных исканий имели в своем активе, помимо апатитов на Кольском полуострове, открытие никелевых, платиновых и других ценных руд в Норильском районе, каменного угля в бассейнах Тунгуски, Лены, Таймыра, олова на Чукотке. Одновременно была высказана гипотеза о вероятности алмазных месторождений в Якутии, которая через несколько лет получила практическое подтверждение.

По окончании Великой Отечественной войны комплексное изучение природы Арктики получило дальнейшее развитие.

В 1948 г. организуются экспедиционные исследования в не посе-



Выпуск радиозонда на дрейфующей станции

Ледокольный пароход «Литке». 1935 г.



Атомный ледокол «Ленин». 1960 г.



щенных ранее районах Арктического бассейна, расположенных к северо-востоку от Новосибирских островов, включая Северный полюс. Весной 1949 и 1950 гг. продолжается исследование центральной части Арктического бассейна. Одновременно в апреле 1950 г. была организована дрейфующая научная станция «СП-2».

Высокоширотные воздушные экспедиции в 1948—1950 гг. в основном завершили общее рекогносцировочное обследование Северного Ледовитого океана, в результате которого был открыт уже упомянутый подводный хребет Ломоносова. Работа дрейфующей научной станции «СП-2» показала, что назрела необходимость перехода к регулярным длительным наблюдениям путем организации таких научных станций в Арктическом бассейне для выяснения изменений природных явлений и процессов на протяжении почти всего года.

С 1954 г. постоянно научную вахту несут две дрейфующие станции «Северный полюс». Как всегда, работа их коллективов усложнена частыми разломами ледяных полей, на которых расположены научные поселки. Внезапно среди ночи или дня вдруг раздается оглушительный треск и отрывается значительная часть льдины, иногда вместе с жилыми домиками и рабочими палатками. Несколько раз приходится переносить многие сооружения дрейфующих станций на новые места. Но, несмотря на эти трудности, наши полярники самоотверженно продолжают вести научные наблюдения.

Уже многими сотнями тысяч насчитываются метеорологические, магнитные и ионосферные наблюдения, выпущены десятки тысяч радиозондов и шаров-пилотов, в тысячах точек Северного Ледовитого океана измерены глубины, выполнены сотни глубоководных гидрологических станций. Но к стандартным наблюдениям надо добавить целую серию научных исследований на базе дрейфующих станций по теплообмену между морем и атмосферой, по физико-механическим свойствам льдов, изучению таяния и нарастания ледяного покрова, дрейфу льда и микробиологии Арктического бассейна, водообмену, рельефу и грунтам океана. Всякий раз дрейфующие станции, как правило, пересекают районы, которые ранее не исследовались и мало изучались. За последние годы особый интерес представлял дрейф станций «СП-8», «СП-12», которые передвигались из района к северо-востоку от острова Врангеля по направлению к Канадскому арктическому архипелагу. В 1965 г. во время эвакуации «СП-12» были установлены две усиленные дрейфующие автоматические метеорологические станции, которые в настоящее время продолжают свое путешествие и пеленгуются нашими радиостанциями. Анализ пеленгов вновь подтверждает наличие кругового дрейфа льдов в восточной части океана.

Весьма своеобразным был дрейф льдины, на которой находилась станция «СП-14». В самом конце 1965 г. она вплотную подошла к острову Жаннетты и подверглась сильному сжатию, затем отступила к северо-востоку, а потом снова направилась на запад, обогнув остров Жаннетты с юга, и вблизи острова Генриетты сильным сжатием окружающих льдов была разломана на мелкие куски. Во второй половине февраля 1966 г. состав станции пришлось эвакуировать на вертолете.

Исследования дрейфующих станций дополняются научными работами высокоширотных воздушных экспедиций.

В солнечные дни каждой весны в различных районах Северного Ледовитого океана самолеты полярной авиации высаживают на лед небольшие группы ученых. Проведя комплексные океанографические, геофизические, ледовые исследования и измерив глубины, полярники на самолетах перебазировались в новые точки. Таким образом, научными наблюдениями ежегодно охватывается значительная площадь Северного Ледовитого океана.

В июле-октябре моря Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское и



Метеорологические наблюдения в полярную ночь

Лагерь станции «СП-1» у Северного полюса в момент высадки. 1937 г.



Экспедиционная палатка дрейфующей станции «СП-1». 1937 г.



Чукотское бороздят три-четыре судна океанографических экспедиций. Эти научные патрули из года в год собирают материалы о гидрологическом режиме советских арктических морей.

Самолеты ледовой разведки с марта по октябрь обследуют распределение льдов в центральной части Северного Ледовитого океана и в арктических морях. Собранные во время облетов материалы — одна из отправных точек при составлении ледовых прогнозов для обеспечения морских операций.

Данные, получаемые на дрейфующих станциях, дополняются работой автоматических радиометеорологических станций, которые устанавливаются на дрейфующих льдах Арктического бассейна.

Ученые-полярники плавают на ледоколах, трудятся в научно-исследовательских группах по обеспечению морских операций в Арктике, ставя своей задачей оказание научной помощи в развитии производительных сил Севера.

Из года в год наши физикогеографы производят съемки и исследования на Северной Земле, Новосибирских островах, Чукотке, Земле Франца-Иосифа.

Только Арктическим и антарктическим институтом за годы Советской власти осуществлено около 800 экспедиций на Север. Благодаря их исследованиям внесены существенные изменения в карту Советского института, Открыты десятки островов, в том числе острова Арктического института, Известий ЦИК, Большевик, Комсомолец, Пионер, Октябрьской революции, Домашний, Ушакова, Шмидта, Визе, Исаченко и др. Установлено существование проливов Шокальского, Юнгштурм, Красной Армии и открыты заливы и фиорды Русанова, Ахматова, Неупокоева, Матусевича, подводная горная страна в Центральной Арктике, которую пересекают хребты Ломоносова, Менделеева, Гаккеля. Эти исследования признаны мировой научной общественностью одними из самых выдающихся в XX веке.

Известность получили высокоширотные океанографические экспедиции на север Гренландского моря, во время которых было установлено, что сплошного подводного горного поднятия между Гренландией и Шпицбергом не существует и что порог Нансена имеет подводный желоб, играющий важную роль в водообмене между Северным Ледовитым и Атлантическим океанами.

Были выявлены важные закономерности в циркуляции вод и льдов Северного Ледовитого океана, изучена циркуляция водных масс, водообмен, теплообмен в арктических морях, детально исследованы донные отложения и раскрыта геологическая история Северного Ледовитого океана.

Исследование свойств арктического льда началось в послевоенные годы. На первых порах определялись количественные характеристики прочности и грузоподъемности ледяного покрова. В дальнейшем работы были углублены в сторону проведения комплексных исследований физико-механических свойств льда. Одновременно на базе наблюдений дрейфующих станций выявлены закономерности теплообмена между водой и атмосферой через лед в течение года и определен тепловой баланс ледяного покрова. Анализ радиационного баланса позволил выявить большое поступление солнечного тепла весной и летом, что послужило основанием для разработки особого метода разрушения льда, с успехом применяемого для устройства радиационных каналов в припайных льдах.

Исследование арктических морей тесно связано с изучением крупнейших сибирских рек. В минувшие пятилетия поток грузоперевозок по великим сибирским водным магистралям непрерывно увеличивается. Но сибирские реки не только играют важную роль в транспортных связях Севера, они оказывают большое влияние и на гидрологи-



Измерение плотности льда



Спуск талой воды под лед
летом на станции «СП-2».
1950 г.

Начальники дрейфующих
станций «СП-1» И. Д. Папа-
нин, «СП-2» М. М. Сомов
(справа) и «СП-3» А. Ф. Тре-
шников



ческий режим арктических морей. Гидрологическими экспедициями были установлены зоны распространения речных вод в морях.

Обобщение материалов гидрологических экспедиций, станций и водомерных постов позволило детально проанализировать гидролого-навигационные особенности низовьев трех крупнейших рек Сибири — Енисея, Оби и Лены — с учетом нужд обеспечения транспортных операций в этих районах.

Изучение Арктики в метеорологическом отношении началось одновременно с созданием стационарной сети полярных станций. Это позволило в период Великой Отечественной войны выполнить первое климатическое описание Арктики. В послевоенный период исследования метеорологического режима Арктики получили дальнейшее развитие в количественном и качественном отношении. Особенно этому содействовало создание постоянно действующих дрейфующих станций и проведение Международного геофизического года и Года спокойного Солнца. Обобщение результатов наблюдений и применение аналитических и электронных счетных машин позволило получить в наиболее короткие сроки ряд сведений по радиационному режиму и климату Арктики, необходимых многим отраслям народного хозяйства, в том числе проектным, строительным организациям, морскому и воздушному флоту.

Наиболее интенсивные исследования относятся к Арктическому бассейну. Многолетние исследования радиационного режима Арктики, в том числе и Ледовитого океана, дают совершенно новое представление о распределении суммарной, поглощенной радиации и радиационном балансе. Значительный интерес представляют полученные за последние годы климатические характеристики Арктики, показывающие интенсивность циркуляционных процессов. Получены новые сведения об изменчивости климата Арктики в связи с колебаниями форм атмосферной циркуляции. Большое внимание уделялось изучению климата свободной атмосферы Арктики и физики облаков в этом районе.

Впервые получены надежные характеристики структуры циклонов и антициклонов с учетом стадии их развития и траектории. Барические системы в Арктике в преобладающем большинстве случаев охватывают всю тропосферу*.

Детально изучены особенности колебания высоты и температуры нижней границы тропопаузы**. Наиболее интересным является установленная связь колебания температуры в тропосфере и тропопаузе с условиями циркуляции атмосферы. Эти результаты имели значение при разработке методов прогнозов погоды для Арктики.

Со времени освоения Арктики возникла настоятельная необходимость обеспечить мореплавателей магнитными картами и организовать бесперебойную радиосвязь. Существенное внимание стало уделяться исследованию магнитного поля Земли, ионосферы и распространению радиоволн. Особенно большого размаха эти работы достигли в период Международного геофизического года и Года спокойного Солнца. Если раньше исследования ограничивались изучением явлений в отдельных пунктах, то в последние годы большая сеть станций и общая доступность материалов благодаря широкому международному обмену позволила проводить изучения пространственно-временных зависимостей не только в каком-то одном географическом районе, но



Измерение морских течений со льда буквопечатающей вертушкой (БПВ-2)

* Тропосфера — нижний слой земной атмосферы (в среднем 9—11 км вы-
соты), в котором происходит большинство наблюдаемых нами явлений погоды
(облака, осадки, грозы и др.); характеризуется убыванием температуры с вы-
сотой; над тропосферой начинается стратосфера.

** Тропопауза — переходный слой, отделяющий тропосферу от стратосферы.

164 по всей Арктике и Антарктике с привлечением субполярных областей северного и южного полушарий.

Запуск ракет и спутников значительно расширил круг изучаемых геофизических вопросов и позволил глубже понять природу многих явлений. Основные аномальные геофизические процессы, развивающиеся в высоких широтах, зоне полярных сияний и приполюсной области, нельзя теперь изучать вне связи с процессами в магнитосфере Земли и космическом пространстве. Все это дало возможность составить достаточно полное представление о морфологии многих явлений в ионосфере и магнитном поле Земли, развивающихся в верхней атмосфере физических процессов, выяснить их связь с активными изменениями в деятельности Солнца.



Начальник дрейфующей станции «СП-3» (1954—1955 гг.) А. Ф. Трешников

С основными типами вихревых образований в атмосфере, которые мы называем циклонами и антициклонами, обычно связаны наиболее характерные условия погоды и ее изменения. Поэтому изучение таких барических систем дает представление и об условиях погоды.

В течение многих лет проводились исследования, в которых выяснялись условия формирования, разрушения, основные пути перемещения и повторяемость, пространственная структура и погодные характеристики циклонов и антициклонов в Арктике.

Сейчас уже хорошо известны районы Арктики, где в различные сезоны могут возникать циклоны и антициклоны.

Старое представление об устойчивом полярном антициклоне уже давно отброшено, теперь можно говорить о заметных сезонных изменениях числа циклонов и антициклонов в тропосфере всех районов Арктики, включая околорасположенное пространство.

Известны и основные пути, по которым циклоны проникают во внутренние районы Арктики. В теплый период они перемещаются в Арктику преимущественно с материков, а в холодный — из северных районов океанов. Холодные же антициклоны, наоборот, перемещаются из высоких в более низкие широты. Антициклоны, возникающие в Арктике, нередко там же заметно усиливаются и давление в них может достигать довольно больших значений (до 1060 мб).

Обычно число вихревых возмущений в атмосфере с увеличением высоты убывает. Наибольшее число их отмечается в нижней тропосфере. Вместе с тем с увеличением высоты вихри становятся более обширными по площади. Такая постепенная их трансформация с высотой приводит к формированию в стратосфере обширного полярного вихря.

Если в тропосфере Арктики можно наблюдать почти такую же смену барических полей, как и в более низких широтах, то в арктической стратосфере эти поля имеют хорошо выраженную устойчивость.

Сейчас известно, что в арктической стратосфере устойчиво сохраняется обширный полярный циклонический вихрь. Он наиболее интенсивен зимой. Летом же вихрь значительно слабее развит по вертикали, а над ним формируется стратосферный антициклон. Явление, которое сопровождает процесс разрушения верхней части полярного вихря, в дальнейшем приводящего к формированию здесь антициклона, известно под названием внезапного потепления в арктической стратосфере. Оно обычно отмечается в конце зимы.

Земля — гигантский магнит. Магнитное поле Земли состоит из невидимых магнитных силовых линий, расположение которых подобно рисунку из железных опилок вокруг обычного магнита, имеющего форму стержня. Магнитные полюса не совпадают с географическими полюсами, и магнитная ось Земли наклонена к географической примерно под углом в $11,5^\circ$. Северный магнитный полюс находится у берегов Северной Америки, а южный — на Антарктическом континенте. Магнитные силовые линии, выходя из этих полюсов, огибают земной шар и находятся над экватором на высотах до 14 земных радиусов, образуя магнитосферу. Эта магнитосфера является «магнитной ловушкой» для заряженных частиц, испускаемых Солнцем, и других космических частиц огромных энергий.

Хотя магнитное поле Земли было обнаружено еще в XVII столетии, причины его до сих пор точно не известны. Наиболее общепризнанной в последние годы является теория, основанная на предположении о существовании непрерывных вихревых токов в ядре Земли, создающих гигантское магнитное поле. (Подробнее о теории возникновения магнитного поля Земли и планет изложено в статье М. Штеенбека «Магнитные поля планет и звезд», опубликованной в этом же томе. — Ред.). В ряде мест земной поверхности обнаруживаются резкие изменения магнитного поля — магнитные аномалии, обусловленные различным распределением магнитных масс в земной коре или в более глубоких частях Земли.

В последние 20 лет ведутся исследования взаимодействия между льдом и судами, которые позволили получить наиболее оптимальные решения по выбору формы обводов, главных размерений и мощности силовой установки ледоколов и судов, а также обоснованно определять необходимую прочность их корпусов. На основе полученных данных разработаны требования к постройке судов ледового плавания — ледоколов, буксиров, транспортных, исследовательских и промысловых судов — и их классификация.

Ледовый бассейн Арктического и антарктического института — единственная в СССР лаборатория этого профиля, которая систематически проводит испытания моделей судов ледового класса. Разработана методика и предложена формула для приближенной оценки ледопрото-

Длительные наблюдения за состоянием магнитного поля Земли показали, что оно может быть спокойным или периодически плавно изменяться в течение суток. Иногда на фоне спокойного поля приборы регистрируют резкие изменения — возникают так называемые магнитные бури или магнитные штормы. Эти магнитные бури связаны с активностью солнечной деятельности, имеющей цикл в среднем 11 лет.

Международный геофизический год (МГГ), проводившийся в 1957—1958 гг., совпал с периодом максимума солнечной активности. В это время наблюдались наиболее сильные магнитные бури. В 1964—1965 гг. активность Солнца ожидалась близкой к минимальной, этот период был объявлен Годом спокойного Солнца (МГСС). Наблюдения показали, что в год «спокойного Солнца» магнитных бурь было значительно меньше.

Ионосфера — разреженный ионизированный газ, окружающий Землю на высоте 100—300 км и состоящий из слоев различной плотности. Вместе со слоем озона, находящимся ниже ионосферы, она поглощает ультрафиолетовые и рентгеновские лучи Солнца, смертельные для органической жизни.

Ионосфера содержит много заряженных частиц и поэтому способна отражать короткие радиоволны, благодаря чему становится возможной радиосвязь на дальние расстояния. Так же как и магнитное поле, ионосфера подвержена возмущениям, связанным с активностью процессов, происходящих на Солнце.

Наиболее частыми и длительными ионосферными возмущениями бывают в полярных широтах. Они приводят к резкому ухудшению условий распространения радиоволн и даже иногда к полному прекращению радиосвязи в течение нескольких дней. Поэтому возникла большая практическая проблема — предсказания нарушений радиосвязи.

В результате взаимодействия солнечных корпускулярных потоков с магнитным полем Земли образуются также полярные сияния, возмущения в интенсивности космического излучения. Часть этих процессов разыгрывается на сравнительно небольшом расстоянии от земной поверхности — в пределах 100—300 км, другие же развиваются в экзосфере Земли, то есть в пределах ближайшей к Земле части космического пространства.

Счетчики космической радиации, установленные на советских и американских искусственных спутниках и космических ракетах, показали, что в космическом пространстве, окружающем Землю, имеются две (иногда три) области, или пояса, с повышенной плотностью заряженных частиц большой энергии. Эти частицы совершают быстрые колебательные движения вдоль силовых линий геомагнитного поля, переносясь из одного полушария Земли в другое и обратно. Из наблюдений следует, что во время магнитных бурь плотность частиц во внешнем поясе резко падает. Предполагают, что в это время частицы из внешнего пояса как бы «высыпаются из ловушки» по силовым линиям в верхние слои земной атмосферы, где и создают полярные магнитно-ионосферные возмущения, полярные сияния и прекращения радиосвязи. В настоящее время еще не создана ясная физическая теория как процесса «захвата» солнечных частиц в «ловушку», образованную магнитным полем Земли, так и разрушения ее, то есть «высыпания» частиц в ионосферу. Для построения такой теории, наряду с расширением активных исследований космического пространства посредством спутников и ракет, совершенно необходимы регулярные, систематические наблюдения магнитного поля и ионосферы на высоких широтах как в зонах полярных сияний, так и в приполюсных областях. (Магнитным бурям, полярным сияниям и другим ионосферным возмущениям, вызванным активностью Солнца, посвящена статья З. Швестки «Влияние Солнца на Землю», напечатанная в ежегоднике «Наука и человечество. 1966». В ежегоднике «Наука и человечество. 1968» будет опубликована статья Э. Р. Мустеля, которая расскажет о влиянии солнечной активности на нижние слои атмосферы. — Ред.)



Лагерь дрейфующей станции «СП-3»



Снежный домик на дрейфующей станции «СП-3»

ходимости судна в сплошных льдах. Эта формула отражает связь между мощностью ледокола, его главными размерениями и физико-механическими характеристиками ледяного покрова.

Комплексные исследования закономерностей природы Арктики позволили приступить к разработке методов предсказания погоды и состояния льдов на трассе Северного морского пути.

Методика прогнозов ледовых условий развивалась на базе широких научных исследований морских вод, атмосферы, ледяного покрова и ледового режима.

Обобщение наблюдений за движением льдов в Арктическом бассейне по материалам дрейфующих станций, радиовех и высокоширотных экспедиций дало возможность выявить ряд особенностей ледообмена советских арктических морей с центральной частью Арктического бассейна в разные сезоны при различных атмосферных процессах, определить влияние на ледовитость окраинных морей, а также выявить роль выноса из Арктического бассейна в колебания ледовитости и распределении льдов в некоторых окраинных морях.

Практическое применение теоретических методов расчета составляющих теплового баланса для Арктики помогло вскрыть физическую сущность процессов формирования и разрушения ледяного покрова.

Содержание и форма ледовых прогнозов существенно изменялись с развитием и совершенствованием их методики. В прогнозах последних лет заблаговременность по ряду элементов увеличилась до 8 месяцев. В настоящее время в таких прогнозах указывается ледовитость по каждому морю, площади основных ледяных массивов, сроки разрушения припая в районе основных портов, в проливах и бухтах, начало ледокольной и безледокольной навигации на основных участках трассы, сроки наступления нового ледообразования и другие важные для мореплавания характеристики.

Много сил ученые-полярники отдали созданию методики долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики. В настоящее время прогнозируются распределение давления, аномалии температуры, преобладающие ветры на каждый месяц и заблаговременно — до 10 месяцев, а также погода — за 3—10 дней вперед. Все эти данные используются при разработке ледовых прогнозов для арктических морей.

Одновременно с исследованиями, направленными на развитие и исследование метода метеорологических прогнозов малой и большой заблаговременности, выполнялись исследования и по проблеме сверхдолгосрочных гидрометеорологических прогнозов (на 15—20 лет вперед). В них установлены важные закономерности многолетних (эпохальных) преобразований форм атмосферной циркуляции северного полушария и связанных с ними колебаний гидрометеорологических условий в Арктике.

Тесно сочетая научно-исследовательскую работу с практикой обеспечения арктических навигаций, наши ученые создали основы макроциркуляционного метода прогноза погоды для Арктики, метод метеорологических прогнозов получил существенное развитие на основе учета закономерностей, выявленных расчетным методом с использованием электронно-вычислительных машин. Эти методы применяются для исследования дрейфа льда, теплового баланса, ледовитости морей, разработки методики прогноза температуры воды, непериодических колебаний ее уровня, а также для предвычисления и анализа гидрометеорологических полей.

В последнее время велась большая работа по автоматизации сбора, раскодирования и анализа гидрометеорологической информации, поступающей из Арктики. Мы надеемся, что решение этой задачи в полном комплексе позволит сделать новый качественный скачок в развитии и совершенствовании прогнозов льда и погоды для Арктики.

Наши ученые распространили свои исследования на Южно-полярную область. В последнее десятилетие были созданы научные станции на побережье и в глубине Антарктиды, предприняты походы к Геомагнитному полюсу, к Полюсу относительной недоступности, к Южному географическому полюсу, обобщены результаты исследований и создан первый в мире «Атлас Антарктики», который нашими и зарубежными учеными расценивается как выдающийся научный труд. (Исследованиям советских ученых на южно-полярном материке посвящена статья А. П. Капицы «Подледный рельеф Антарктиды» в ежегоднике «Наука и человечество. 1966». — *Ред.*).

Изучение Южно-полярной области помогает лучше понять многие явления и процессы, происходящие в Арктике. По мнению наших ученых, природные условия Антарктики напоминают природные условия ледникового периода на русском Севере. В природе Арктики и Антарктики наблюдаются как черты сходства, так и различия. Они касаются климата, форм рельефа, оледенения, морских льдов, водных масс, животного и растительного мира. Исследование явлений биполярности дает богатый материал для изучения вопроса о формировании современной географической оболочки всего земного шара.

Вступая в новый период исследований в Арктике, советские ученые-полярники надеются, что, как и в минувшие полвека, наша страна будет занимать ведущее место в изучении полярных областей.



СНИША СТАНКОВИЧ (*Stanković*) (р. 1892) — сербский эколог, доктор биологических наук, действительный член Сербской академии наук и искусств, профессор. Родился в Зайчаре (Сербия), учился в Белградском университете, окончил университет в Гренобле (Франция). До 1962 заведовал кафедрой зоологии на естественно-математическом факультете Белградского университета, в настоящее время руководит Институтом биологических исследований.

С. Станкович в течение многих лет занимается изучением фауны пресноводных водоемов Югославии. Его перу принадлежит много работ, получивших мировую известность, среди них монография о фауне Охридского озера, опубликованная в 1942 голландским издательством ЮНКА.

Во время второй мировой войны С. Станкович был членом Главного народно-освободительного комитета, после освобождения — первым председателем Президиума Народной Скупщины Народной Республики Сербии.

С. Станкович — иностранный член АН СССР и Болгарской академии наук.

СИНИША СТАНКОВИЧ

БАЙКАЛ

И ОХРИД—

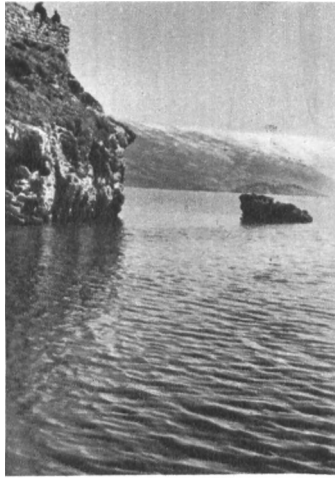
УНИКАЛЬНЫЕ

МУЗЕИ

Среди многочисленных современных озер земного шара Байкал и Охрид занимают особое место. Их происхождение очень древнее и относится к доледниковому периоду, к тому времени, когда не было еще человека. Подобные древние озера весьма редки: в Африке — озеро Танганьика, в Евразии — Каспийское море, возможно, некоторые озера на Сулавеси, Филиппинах и в Китае.

Древние озера — исключительные явления среди материковых водоемов земного шара. Материковые водоемы, особенно озера, отличаются краткостью существования и пространственной разобщенностью. Изолированные друг от друга, подобно островам в океане, они представляют временные явления на поверхности Земли.

Кратковременность жизни озер имеет решающее значение в истории и эволюции их населения. Существует, очевидно, противоречие между высокой степенью изоляции озера и низкой степенью дифференциации его фауны. Ограниченный срок существования озер ослабляет влияние географической изоляции на растения и животных и тем самым предохраняет их от изменений, особенно более древние и специализированные формы. Такие формы, если они недостаточно приспособлены к активному или пассивному переселению, гибнут вместе с озером в процессе его исчезновения. Переживают только виды, легко



Северо-восточная часть Охрида



Литоральные пещеры у подножья известняковых скал на берегу Охрида



Родниковое озеро, образованное мощным карстовым источником у берегов Охрида

расселяющиеся, особенно пассивным образом. Новое озеро заселяется преимущественно ими. Относительное однообразие состава органического мира современных озер объясняется прежде всего присутствием форм с широкими возможностями распространения.

И все-таки существуют озера, такие, как Байкал и Охрид, представляющие из ряда вон выходящее исключение в этом отношении. Оба озера были населены еще с момента возникновения древней доледниковой фауны и флоры. Изучение населения этих озер, состав которого является результатом продолжительной и сложной истории, позволяет лучше оценить значение длительной географической изоляции в развитии озерных организмов и их сообществ.

Исследование Байкала и Охрида имеет фундаментальное значение, особенно для освещения закономерностей истории органической жизни материковых водоемов, механизмов эволюционного процесса, равно как и геологических проблем. В последнее время эти исследования организовано проводятся в ряде научных учреждений, расположенных на берегах обоих озер (Байкальский лимнологический институт Академии наук СССР, Байкальская биологическая станция Иркутского университета, Охридская гидробиологическая станция).

В настоящей статье освещаются результаты исследований обоих озер. Они принадлежат к совершенно различному географическим областям. Байкал находится у северо-восточного обода Центральной Азии, Охрид расположен в средиземноморской области, внутри южной дуги великого альпийского массива Динарид, богатого известняковыми мезозойскими отложениями. Эти географические области неодинаковы в климатическом отношении: для Байкала характерен континентальный климат, для Охрида — средиземноморский. Резко отличаются озера и размерами, Байкал — одно из крупнейших озер мира, занимает площадь в 34 300 км², с максимальной глубиной в 1620 м. Охрид гораздо меньше, его площадь составляет только 348 км², а максимальная глубина — 286 м.

Оба озера тектонического происхождения и представляют тектонические впадины, с той разницей, что котловина Байкала состоит из трех впадин, котловина Охрида — из одной. Обе котловины окружены горными хребтами, достигающими высоты свыше 2000 м, и, таким образом, хорошо изолированы. Эти озера типично пресноводные, слабо минерализованы (не более 134 мг/л). Охрид в 2 раза богаче кальцием (31 мг/л), чем Байкал (15 мг/л). Водная масса обоих озер богата кислотородом, и количество его даже в наиболее глубоких слоях составляет около 70% насыщения. Оба озера очень бедны биогенными солями.

В гидрографическом отношении Охридское озеро представляет типичное карстовое озеро. В противоположность Байкалу, бассейн которого отличается большим богатством поверхностных притоков, Охридское озеро питается почти исключительно чистыми водами мощных подземных карстовых источников, в том числе и несущих воды из соседнего, Преспанского озера, которое не имеет поверхностного стока, а подземным путем стекает в Охрид. Так как воды карстовых источников очень чисты, Охриду не грозит опасность быть в близком будущем заполненным водными наносами, на что обречены другие озера с поверхностными притоками.

Термический режим этих озер также неодинаков. Байкал принадлежит в этом отношении к умеренному типу озер с сезонными колебаниями температуры, ограниченными только поверхностными слоями до глубины 250 м. Максимальная температура поверхности озера составляет всего лишь 12—14°C (Россолимо, 1957). Остальная водная масса характеризуется постоянной температурой 3,6—3,3°C. Зимой озеро замерзает, и ледяной покров сохраняется с конца декабря до конца мая.

Гораздо мягче термический режим Охридского озера, которое принадлежит к субтропическому типу. Многолетними исследованиями автора было установлено, что температура поверхности летом достигает $22,5^{\circ}\text{C}$ и никогда не спускается ниже 6°C . Водная масса глубже 50 м имеет постоянную температуру $5,6\text{--}6,2^{\circ}\text{C}$ (Станкович и Хаджишче, 1953).

ЭНДЕМИЗМ НАСЕЛЕНИЯ БАЙКАЛА И ОХРИДА

Систематическое изучение фауны и флоры обоих озер, которое ведется уже в течение десятилетий, открыло большое богатство их населения. В Байкале обитает свыше 1200 видов животных и 566 видов водорослей (Кожов, 1962). Подобное обилие видов неизвестно для других озер Евразии. Только рачков бокоплавов насчитывается 240 видов, что составляет треть всего числа видов бокоплавов-гаммарид из пресных вод и морей всего мира.

По сведениям автора и его сотрудников, то же самое характерно и для Охридского озера, хотя оно в фаунистическом отношении значительно меньше изучено. Моллюсков обнаружено 67 видов, ресничных червей — 47, а число известных водорослей достигает 500 видов.

Население Байкала и Охрида отличается поразительно высокой степенью эндемизма.*

Число эндемичных видов в Байкале составляет 82% всех его обитателей, причем эндемичны 87 родов и 11 семейств и подсемейств. Подобное же явление, хотя и слабее выраженное, характерно и для населения Охрида, в котором эндемичные формы среди эндопаразитических инфузорий составляют 88%, ресничных червей — триклад — 71%, брюхоногих моллюсков — 90%, малощетинковых червей — 64%, рачков остракод — 60% и рыб — 60%.

Современная эволюционная теория различает две основные категории эндемичных организмов: а) палеоэндемики — остатки (реликты) древних фаун и флор, чьи сородичи вымерли и прежний ареал которых сильно сужен в ходе исторического развития, б) неоэндемики — организмы, возникшие путем автохтонной эволюции.**

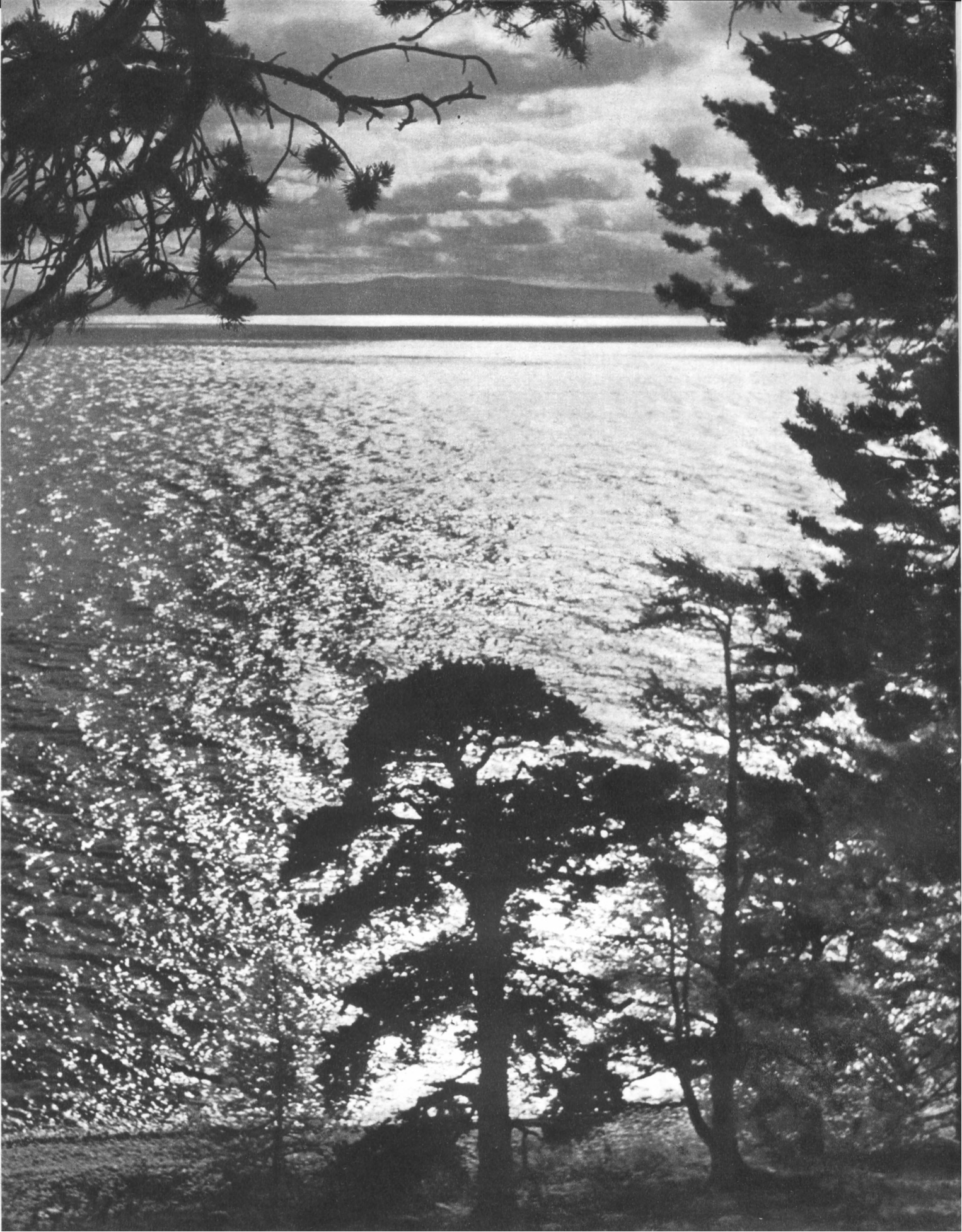
Какова же роль эндемичных элементов в современном населении Байкала и Охрида? Ответ, очевидно, может дать, прежде всего, изучение истории развития этих озер и исследование формирования их населения.

В свое время Д. Н. Талиев (1948) упрекал в односторонности предшествующих исследователей, которые стремились лишь выяснить, каково происхождение байкальской фауны и флоры — морское или пресноводное. Проблема же автохтонной эволюции до недавнего времени оставалась в тени. Это привело к представлению, что Байкал и Охрид — гигантские коллекторы древних реликтов — палеоэндемиков. В действительности новейшие более подробные анализы эндемичного характера их органического мира ясно показывают, что оба озера являются исключительно мощными очагами дивергентной эволюции***, которая протекала и протекает в условиях длительной географической изоляции. Население Байкала и Охрида — исключительно благоприятный объект для изучения закономерностей этого процесса, и в этом их большое теоретическое значение.

* Эндемики — виды животных и растений, обитающие в определенном месте и нигде больше не живущие. — Ред.

** Автохтоны — виды животных или растений, возникшие в определенной местности и живущие только в ней. — Ред.

*** Дивергентная эволюция — одно из направлений развития органического мира путем расхождения признаков. — Ред.



Однако было бы односторонним также сводить своеобразие населения Байкала и Охрида исключительно к присутствию неозндемичных форм, подобно тому как это делает Д. Н. Талиев. История этого населения много сложнее и охватывает, кроме проблемы внутризозерной эволюции фауны и флоры, еще и проблему палеонтологического происхождения отдельных элементов современного состава населения Байкала и Охрида. Фауна этих озер не могла возникнуть сразу в начале их существования, и процесс колонизации должен был протекать последовательно. Фаунистический обмен с соседними водами должен был происходить сообразно с наличием водных путей, которые изменялись в течение веков. Древность некоторых обитателей этих озер и их дальнейшая судьба должны были быть различны. Новейшие исследования, обобщенные в монографиях М. М. Кожова (1962) и С. Станковича (1960), в значительной степени освещают главные моменты истории обоих озер.

КОРНИ НАСЕЛЕНИЯ БАЙКАЛА И ОХРИДА

По мнению геологов, например В. А. Обручева (1938), еще в мезозое (юра) в Забайкалье возникают крупные межгорные впадины, предшествовавшие образованию Байкала. А озеро, вероятно, еще в начале неогена как следствие бурных тектонических движений.

Байкальские впадины представляют только часть огромной системы озерных бассейнов, которая с юга охватила древнюю Сибирскую платформу (Павловский, 1941). Самая древняя из трех впадин Байкала — южная, и она, возможно, существовала уже в мезозое. Современный вид Байкала оформился в плиоцене и четвертичном периоде.

Для истории байкальской фауны весьма важно, что начиная еще с мезозоя (юра, мел) в Азии и, в частности, в Северном и Западном Китае, Монголии, Центральной Азии, на Дальнем Востоке и в других местах, появлялись и сменялись крупные озерные системы, населенные богатой пресноводной, частью и солоноватоводной фауной (Мартинсон, 1961).

В последнее время была открыта ископаемая фауна из неогена в северо-западном Китае (область Синцзяна) типично пресноводного характера, которая содержит формы, весьма близкие к одному из современных байкальских родов брюхоногих моллюсков. Это указывает на широкую связь между озерами Китая и Сибири через озерные перемычки и речной сток. Столь же интересно открытие ископаемой третичной фауны моллюсков в Западной Сибири, на юге Омской области, где обнаружены, кроме палеарктических родов, еще и формы, сходные с байкальскими.

На основании современных достижений биогеографических и палеонтологических исследований М. М. Кожов различает следующие категории фаунистических элементов Байкала:

а) Потомки обитателей древних водоемов Центральной Азии. Это самые древние представители байкальской фауны, отличающиеся наиболее глубоко выраженным эндемизмом и проявляющие отдаленные родственные связи с современной фауной текучих вод Китая (моллюски *Baicaliidae*, *Choanophthalmus*, *Kobeltosochlea*, губки *Lubomirskiidae*) и некоторыми представителями водоемов Южной Азии (пиявки *Togiscinae*, мшанка *Hispolia*).

б) Потомки обитателей третичной Голарктики,* чьи родственники

* Г о л а р к т и к а — географическая область, расположенная в Северном полушарии, охватывает Европу, Северную Африку, большую часть Азии и Северную Америку.

174 имеют разобщенное распространение и встречаются в весьма отдаленных друг от друга местах сибирско-европейской подобласти Голарктики, отчасти — и в Северной Америке. Они поселились в Байкале в плиоцене и постплиоцене, проникнув сюда из северных районов Сибири в период похолодания климата. В Байкале они представлены эндемичными формами: многие виды червей (высшие — олигохеты и низшие — турбеллярии), пиявок, различных групп рачков, инфузорий и др.



На Байкале



Байкальская нерпа



Восточный берег Байкала

в) Представители современной сибирско-европейской фауны, широко распространенные и разные по своему происхождению элементы. Они принадлежат к различным экологическим группам: лимнофилам — обитателям стоячих вод, которые живут и теперь в окружающих Байкал мелководных озерах и других водоемах, а в Байкале населяют прибрежные участки, соры, глухие бухты, закрытые части заливов и т. д., и лимнореофилам — жителям текучих вод. В Байкале они населяют открытую литораль*, частью и сублитораль, входя в состав биоценоза** наравне с коренными байкальцами.

г) Иммигранты из Ледовитого океана и водоемов его побережий. К этой группе принадлежат байкальский омуль и тюлень, попавшие в Байкал по течению больших сибирских рек во время великой трансгрессии Ледовитого океана в четвертичном периоде.

В биогеографическом анализе различных категорий байкальских обитателей больше всего обсуждалось происхождение самой древней категории. В течение длительного времени многие исследователи Байкала считали, что она представляет элементы морского происхождения. Главным сторонником этой гипотезы был Г. Ю. Верещагин (1940), многолетний неустоимый исследователь Байкала.

Между тем, современные исследования недостаточно поддерживают его гипотезу. Трудно вообще говорить о морском происхождении тех фаунистических элементов, которые населяли гипотетические опресненные части моря и полуморские бассейны и из них попадали через другие водоемы в Байкал, будучи уже приспособленными к условиям пресноводной жизни. Происхождение их включается в общую проблему происхождения пресноводной фауны, в частности, ее менее древних членов. Очевидно, в Байкальскую озерную систему еще с самого начала могли проникать только древние пресноводные элементы из тогдашних бассейнов Центральной Азии, а позднее и из третичных водоемов Сибири. Все эти элементы представляют остатки древних фаун, сохранившиеся до наших дней в Байкале и частью в некоторых водоемах Южной Сибири, Монголии и Китае.

В противоположность гипотезе морского происхождения байкальской фауны выдающийся советский географ и ихтиолог Л. С. Берг еще в 1910 г. выдвинул предположение о пресноводном ее происхождении и отстаивал этот взгляд до конца своей жизни. Взгляды Л. С. Берга значительно больше соответствуют действительности потому, что он искал корни байкальской фауны в древней пресноводной фауне доледникового времени. Однако результаты современных исследований показывают, что дело не только в остатках верхнетретичной фауны, а в гораздо более древней фауне, которая населяла воды Центральной Азии и Южной Сибири еще с конца мезозоя и водоемы северной части Сибири — во всяком случае, с первой половины третичного периода вплоть до плиоцена. Следовательно, остатки древних фаун байкальского населения имеют различный возраст и, как это справедливо от-

* Литораль — прибрежная зона. Сублитораль — более глубокая часть литорали, всегда покрытая водой. — *Ред.*

** Биоценоз — сообщество животных и растений, объединенных в единое целое прямыми или косвенными жизненными зависимостями.

мечает М. М. Кожов, происходят из двух разных центров формирования гидрофауны — Центральной и частично Восточной Азии, с одной стороны, и Северной Сибири, с другой. Эти остатки — характерные эндемики байкальского животного мира, его реликтовая часть.

Обратимся теперь к Охридскому озеру. Оно, как уже сказано, расположено в горной системе Динарид, параллельные хребты которой тянутся с северо-запада на юго-восток от Восточных Альп на севере через западную часть Югославии, Албании и Греции вплоть до Крита на юге и подобно мощному барьеру отделяют Адриатическое и Ионическое моря от остальной части полуострова. Динарская горная система еще с момента своего возникновения в олиго-миоцене была центром мощных тектонических движений, которые создали резко пере-сеченный ее рельеф.

Охридский бассейн, расположенный у границы между Югославией и Албанией, представляет типичную тектоническую впадину, возникшую в результате мощных горообразовательных движений в целой области. При этом, рядом с Охридским бассейном появилась целая система озерных бассейнов, названная Дасаретской озерной системой (Цвиич, 1911), из которой сохранилось до наших дней только Преспанское озеро, в то время как остальные три (Корча, Билиште и Колонья) высохли. Возраст Охридской впадины еще не установлен точно. Вероятнее всего, она возникла в среднем плиоцене, во всяком случае после понтической эпохи (миоплиоцен — Ласкарев, 1935).

Балканская территория представляет область, где в течение длительного времени, с олигоцена до современности, почти непрерывно одна за другой сменялись озерные формации. Весьма характерная озерная фаза имела место к концу третичного периода на западе Балканского полуострова, в области динарского карста, отличающегося особым типом карстовой жизни, в условиях которой появляются поверхностные депрессии: «долины», «увалы» и «карстовые поля». В плиоцене многочисленные карстовые поля были наполнены водой и превращены в пресноводные озера, как, например, Скадарское озеро. Охридское и Преспанское озера, в сущности, — затопленные карстовые поля.

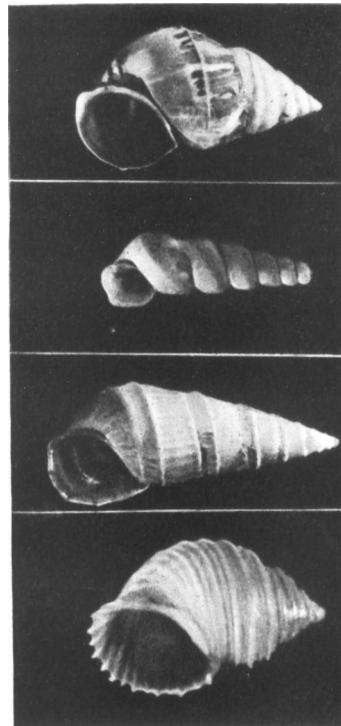
Обширными исследованиями, проводившимися в течение последних десятилетий Охридской гидробиологической станцией под руководством автора, были открыты многочисленные остатки древней третичной пресноводной фауны. Среди них можно различать три категории (Станкович, 1960).

1) Наиболее многочисленную группу охридских реликтов составляют виды, ближайшие родственники которых еще живут в других частях света. К ней относятся охридские брюхоногие моллюски; из 38 видов, живущих в самом озере, 34 эндемичны (23 вида переднежаберных и 11 — легочных).

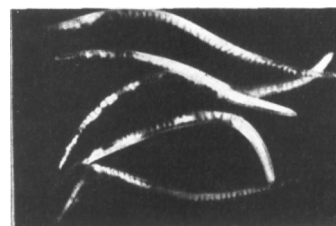
Часть переднежаберных, так называемые пиргулины, в настоящее время на пути к полному вымиранию, и их последние живые остатки сохранились почти исключительно в Охридском озере, где они представляют наиболее характерные древние реликты, подобно байкалинам Байкала.

К охридским реликтам относится род червей турбеллярий *Fonticola*, особенно подробно изученный автором. Это мелкие белые формы с обширной и разобщенной областью распространения. Два их вида живут в водоемах Центральной Азии, 5 — в Западной и Средней Европе, 1 — в Северной Африке и 8 — в Динарской области, из них 3 вида — эндемики Охридского озера. Динарские виды составляют группу родственных форм и, вероятно, имеют общее происхождение.

В Охридском озере обитает и настоящий житель Байкала — мало-



Охридские эндемичные моллюски



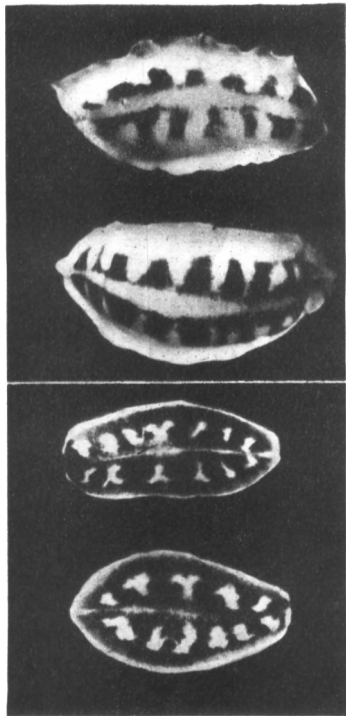
Реликтовый малощетинковый червь *Lamprodrilus pygmaeus*, обитающий в Байкале и Охриде



Эндемичные животные Байкала и Охрида



Ресничные черви — эндеми-
ки Байкала



Эндемичные ресничные черви Охрида: а — *Neodendrocoelum ochridense*; б — *N. st. naumi*

щетинковый червь *Lamprodrilus rugosus*, который ранее считался байкальским эндемиком. Эта находка говорит за предположение Л. С. Берга (1949) о прежнем широком распространении верхнетретичной теплолюбивой пресноводной фауны по всей Евразии.

В новейшее время в Охридском озере обнаружено (Пьюторак, 1959) значительное число паразитических инфузорий, живущих во многих эндемичных малощетинковых червях и, несомненно, представляющих столь же древние формы, как и их хозяева. Об их древности говорит и то, что они похожи на байкальские виды той же паразитической группы инфузорий и, вероятно, имеют с ними общее происхождение.

2) Особую категорию охридских реликтов составляют виды, чьи родственники живут исключительно на Балканском полуострове. К ним принадлежат черви планарии рода *Neodendrocoelum*, также исследованные автором. Этот род представлен в Охридском озере 11 видами. Их родственники найдены во многих других местах Балканского полуострова: в Герцеговине, на Ионических островах — Корфе и Кефалонии, во Фракии (в области Босфора). Охридские обитатели живут как в самом озере, так и в прибрежных источниках. Вне Охрида эти черви встречаются в Преспанском и Скадарском озерах. Первоначальный образ жизни этих червей, как это показывают охридские виды, несомненно, озерный. Планарии, очевидно, населяли в доледниковое время и другие древние балканские озера, а после их исчезновения нашли себе последнее убежище в водах соседних источников.

Показателен пример охридской эндемичной рыбы *Salmothymus ochridanus*, родственники которой населяют Динарскую область, в частности далматинские реки, впадающие в Адриатическое море. Вне всякого сомнения — это предледниковые реликты, которые здесь нашли изолированное убежище. В Охридском озере живет еще и эндемичный вид карповых *Rohychilus pictus*, который обитает еще только в Скадарском озере; подобное характерно и для охридской форели, называемой «летница».

3) Наиболее интересную группу охридских реликтов представляют формы, обитающие только в этом озере. К ним принадлежит охридская губка *Ochridaspongia rotunda*, которую по ее систематическому положению можно сравнить только с древними байкальскими реликтовыми губками (*Lubomirskiidae*), губками Каспия (*Metschnikovia*), Тивериадского озера в Палестине (*Cortispongilla*) и губками озера Сулавеси (*Rachyductium*). Все эти формы очень древние, и происхождение их относится к палеогену (Мартинсон, 1940). Этот автор считает, что охридская и байкальская губки, несомненно, имеют общее происхождение и их предки в прошлом были более широко распространены, но их эволюция должна была протекать в различные геологические эпохи.

В последнее время древние реликты найдены и среди охридских диатомовых водорослей. К ним относятся и настоящие «живые ископаемые», которые до сих пор были известны только по ископаемым остаткам, например, *Gomphonema transsilvaticum*, которого находили в третичных отложениях Южных Карпат (нижний плиоцен).

Все реликты Охридского озера в достаточной мере иллюстрируют исторический характер состава современного его населения. Многие доледниковые реликты нашли приют в подземном убежище, и их богатство в пещерах динарского карста долго называлось «загадкой адриатического угла». Между тем, богатство Динарской области не ограничивается подземным миром, в котором могла сохраниться только определенным образом селекционированная фауна; оно велико и в поверхностных водоемах, например в Охридском озере.

В Динарской фауне нет многих родов рыб, которые характеризуют богатую ихтиофауну паннонско-понтийской области, именно Дунай-

ского бассейна. Это говорит о том, что кругосредиземноморское и панноно-понтон-каспийское пространство еще в доледниковое время представляли две различные региональные фаунистические зоны, которые развивались в значительной степени самостоятельно.

По мнению автора, происхождение охридской фауны не следует искать в водах панноноско-понтонийской области. Эта фауна является непосредственным продолжением древней третичной фауны Динарской области как части кругосредиземноморского пространства. В этой области еще с олигоцена непрерывно сменялись озерные формации, и их население большей частью переселялось из одной в другую. Непрерывность этих водоемов во времени вместе с географической изоляцией обусловила непрерывность их фауны. Один из главных факторов сохранения охридской фауны, так же как и фауны всей Динарской области,—ее географическая изоляция. Мощные Динарские горы всегда представляли непреодолимую преграду для фаунистических иммигрантов, особенно с востока. Благодаря этому и могла сохраниться в динарских водах древняя третичная фауна, особенно в Охридском озере как своеобразном гигантском коллекторе. Этим, вероятнее всего, можно объяснить резкие фаунистические различия между западной и восточной частью Балканского полуострова. Западно-балканская (динарская) фауна представляет древнюю реликтовую фауну; восточно-балканская (эгейская) — новую, иммиграционную.

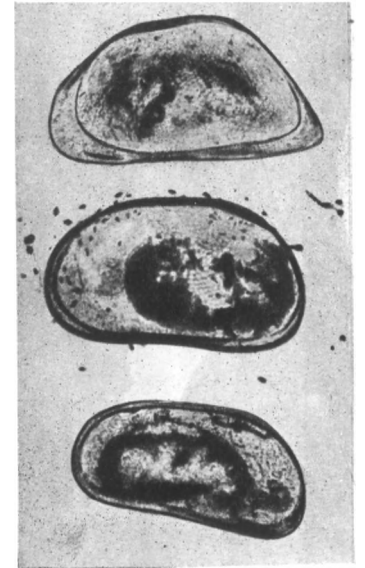
АВТОХТОННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

Обзор состава эндемичной байкальской и охридской фаун выявляет исключительное богатство некоторых групп животных. В Байкале группа рачков бокоплавов содержит около 240 видов, ресничных червей — 90, малоцетинковых червей — 62, брюхоногих моллюсков — 72, рыб бычков — 25 видов. При этом важно, что родственные виды одной группы могут быть объединены в большие или меньшие серии, в эволюционные ряды дивергентных форм общего происхождения. Подобное же наблюдается в фауне Охридского озера, где также встречаются эволюционные серии родственных видов, в частности — ресничных червей, брюхоногих моллюсков, рачков остракод и некоторых других.

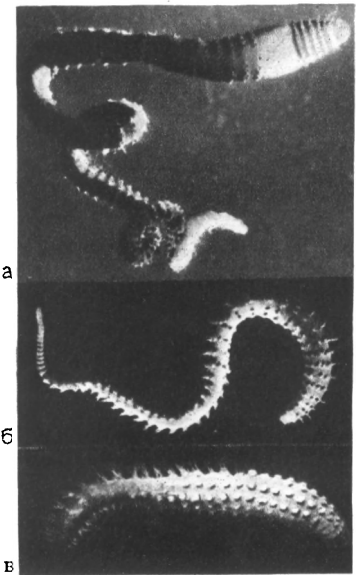
Здесь достаточно привести два самых выдающихся примера и из Байкальского озера — группу бокоплавов (*Gammaridae*) и рыб бычков (*Cottoidei*). Сам факт, что большое число видов байкальских бокоплавов составляют 34 различных рода, иллюстрирует высокую степень эволюции этой группы. Помимо менее специализированных видов с гладким телом без кожных выростов, появляются формы, вооруженные различными выростами на сегментах тела или виды с широким цилиндрическим телом и укороченным хвостовым отделом. Отдельные виды занимают самые разнообразные местообитания. Бокоплавов населяют озеро от берегов до предельных глубин, почти все они жители дна, в которое многие виды зарываются, в то время как другие живут на его поверхности. Пелагический* род *Macrohectopus* приспособился даже к планктонному образу жизни.

По А. Я. Базыкаловой (1945), различные виды бокоплавов могут быть сгруппированы вокруг нескольких центральных родов (4—5); они развились из небольшого числа мелководных предков, которые жили в литорали.

Аналогичный пример представляет байкальская группа бычков (*Cottoidei*), которых особо изучал Д. Н. Талиев (1948, 1965). Двадцать



Охридские эндемичные рачки остракоды



Различные формы малоцетинкового червя *Peloscolex stankovici*: а — литоральная, б — сублиторальная, в — глубоководная

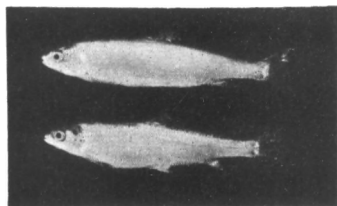
* Пелагиаль — зона открытого озера. Организмы, населяющие ее, называются пелагическими. — Ред.



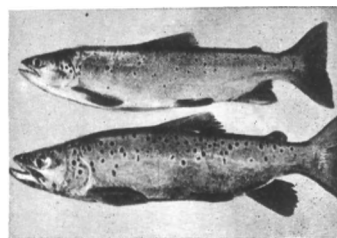
Байкальские эндемичные бокоплавы



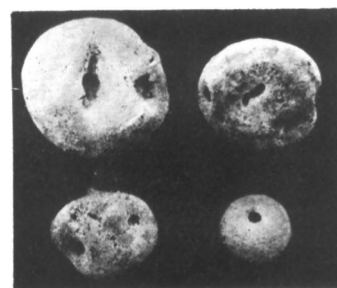
Различные виды эндемичных бычков Байкала



Охридская рыба «белевица»
Salmo trutta



Охридская эндемичная форель *Salmo letnica*



Эндемичная губка Охрида
Ochridaspongia rotunda



Эндемичные губки Байкала

пять видов этой группы распределены между 9 родами или 2 семействами. Большинство видов ведет придонный образ жизни, однако голомянки и бычки желтокрылка и черногривка приспособились к жизни в пелагиали, а кроме того, и живородящи. Хотя главная масса бычков встречается преимущественно в литоральной полосе, многие виды (из родов *Abyssocottus*, *Aspilocottus*, *Batrachocottus*, *Cottinella* и других) спускаются в глубоководную зону, даже до предельных глубин. Глубоководные виды приспосабливаются к различным экологическим условиям в отношении питания (детритоядные, хищные и другие).

Дивергентная эволюция характерна и для эндемичной фауны Охридского озера, хотя в значительно меньшей степени, может быть, потому, что это озеро менее древнее, чем Байкал. Здесь достаточно привести лишь два более подробно исследованных автором и его сотрудниками примера эволютивных серий близких родственных видов в группах ресничных червей и рачков остракод.

Эндемичный род планарий *Neodendrocoelum* охватывает серию из 11 близко родственных видов, которые между собой различаются прежде всего своеобразным рисунком на спине. Их вертикальное распределение в озере весьма характерно; 4 вида живут преимущественно в верхней литорали и прибрежных источниках, остальные — в сублиторальной и только частично — в глубинной зоне. Один из этих видов, непигментированный, живет и вне Охридского озера, на Ионических островах, в Преспанском и Скадарском озерах и их прибрежных источниках и даже во Фракии. Другой, пигментированный вид открыт в соседнем Преспанском озере; он свидетельствует о том, что между этими двумя озерами неизбежно происходит фаунистический обмен.

Еще более показательная эволютивная серия открыта недавно в группе охридских рачков остракод, в роде *Capropa*. Всего описано 17 видов этого рода, которые составляют непрерывный ряд. И хотя экология типично придонных форм недостаточно изучена, их вертикальное и горизонтальное распределение весьма характерно: 1 вид исключительно литоральный, 4 — живут только в сублиторали, 9 — населяют сублитораль и глубинную зону, при этом 3 вида наиболее многочисленны именно в глубинной зоне. В то время как 5 видов распространены горизонтально по всему пространству озера, 5 встречаются в отдаленных и изолированных местах и 7 видов обитают в различных частях озера. Большинство видов живет преимущественно на илистом субстрате, а 5 видов избирают песчаное дно.

Этот замечательный процесс автохтонной дивергентной эволюции, который захватил население Байкала и Охрида, равно как и другие древние озера земного шара, ставит на повестку дня основной вопрос о его факторах. То, что древность и непрерывность существования этих озер, их величина и глубина представляют общие благоприятные условия для возникновения новых видов во многих группах животных, само собой разумеется. Современные исследования (Майр, 1942, 1963) стремятся разъяснить механизм возникновения новых органических видов в недрах старых. Вид может дивергентно развиваться, если его местные популяции изолированы одна от другой.

Так, значительное число видов из упоминавшихся эндемичных рачков остракод Охридского озера имеет разобщенное горизонтальное распространение, и их популяции пространственно изолированы, то же характерно и для родственных видов малоцетинковых червей (*Criodrilus lasium* и *C. ochridensis*), популяции которых живут изолированно, одна в северной, другая в южной части озера. Популяции моллюска *Ascoloxus macedonicus*, обитающего на каменистом субстрате литорали, распространены прерывисто и дифференцированы генетически. Участки грунта, разделяющие их, отличаются другим петрографическим

составом и имеют относительно небольшие размеры, но все-таки они достаточны, чтобы служить изоляционной преградой.

М. М. Кожов приводит подобные примеры разобщенного горизонтального распространения популяций многих байкальских эндемичных моллюсков. Вид *Chonophthalmus maacki* — массовый обитатель литорали озера. Популяция, живущая на каменистом грунте, отличается высокой раковинной. Популяция же, населяющая песчаные грунты Малого моря и к северу от него, имеет совсем низкую, плоскую раковину. Популяция вида *Baicalia herderiana*, живущая на каменистом грунте прибрежной зоны южной части Байкала, отличается ясно выраженной ребристой раковинной; у популяции же на песчаном грунте эта ребристость исчезает. Очевидно, что здесь наблюдаются приспособления популяции к различным условиям мест обитания.

Между тем, более существенную роль в дивергентной эволюции байкальской и охридской фаун играют факторы, связанные с вертикальной зональностью озер. С возрастанием глубины, начиная от прибрежной зоны, заметно изменяются основные условия жизни: термический режим, освещение, движение водной массы, характер дна, химизм воды и прочее; появляются новые местообитания. Так, возникают более или менее ясные вертикально разделенные зоны, каждая со своим комплексом экологических условий, подобно высотным зонам гор суши. При расширении области распространения популяции какого-либо вида могут осваивать различные вертикальные зоны озера и развиваться независимо друг от друга, приспосабливаясь к специфическим экологическим условиям. Наибольшее число примеров дивергентного расщепления видов в Байкале и Охриде дает именно вертикальное распределение их популяций. Так, например, охридский вид из группы малоцетинковых червей *Pelosclex stančovič* ясно дифференцирован в три различные популяции, из которых каждая занимает отдельную зону — литоральную, сублиторальную и глубинную.

Новейшие исследования Байкала и Охрида ясно показывают, что глубоководные виды развились из небольшого числа мелководных литоральных форм, чьи представители постепенно спускались глубже и осваивали отдельные вертикальные зоны. М. М. Кожов подчеркивает, что значительное большинство байкальских эндемиков встречается не в прибрежной мелководной зоне, а на глубине от 5—10 до 100—200 м (сублиторальная зона). Согласно данным указанного автора, эта зона была «первоначальной родиной громадного большинства байкальских эндемиков, своего рода «фабрикой», в которой перерабатывалась осваивающая Байкал мелководная в широком смысле фауна». То же наблюдается и в Охридском озере, в котором большинство эндемиков встречается в сублиторальной зоне.

Итак, высокий эндемизм и разнообразие населения Байкала и Охрида не ограничивается реликтами. Интенсивная автохтонная эволюция накладывает характерную печать на состав их населения и делает его исключительно своеобразным. Но детали дивергентной эволюции органического мира этих озер еще далеко не разъяснены, и нужны более глубокие исследования.

ИНТЕГРАЦИЯ ОЗЕРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

Эволюция населения озера не протекает независимо от среды. Местообитание и его население неразрывно связаны в динамическое целое — экосистему — в результате многочисленных и исключительно сложных взаимодействий. Экосистема как одно целое развивается в двух противоположных и диалектически взаимосвязанных направлениях — дифференциации и интеграции.

Байкал и Охрид — две гигантские озерные экосистемы с исключительно длительной и сложной историей, которая привела к значительно более высокой ступени видовой дифференциации и функциональной интеграции, чем у остальных, более молодых озер. Поэтому они представляют благодарные объекты для изучения основных биоэкологических проблем формирования обособленных ценологических комплексов, их функциональной структуры, пространственного распределения и взаимоотношений, равно как и регуляторных механизмов, на которых базируется существование озерных систем как организованного целого.

Слои водной массы Байкала и соответствующие части дна, начиная с 250 м и до предельных глубин, образуют его глубоководную зону, которая может быть названа абиссальной. Ее характеризуют не только специфические экологические условия, а и их постоянство: низкая температура, отсутствие света, относительная неподвижность водной массы, однообразная природа дна, покрытого тончайшим озерным илом, отсутствие зеленой растительности. В Охриде также существует ясно дифференцированная глубинная зона, которая начинается с глубины ниже 50 м, самая глубокая часть характеризуется подобным же постоянством комплекса экологических условий. Фауна глубоководной зоны Охрида и Байкала неизбежно должна быть приспособлена к этим специфическим жизненным условиям.

Байкал и Охрид отличаются от всех остальных озер тем, что в ходе их эволюции в них сформировалась специфичная глубоководная фауна, состоящая из элементов, приспособленных к глубоководным условиям существования и ограниченная исключительно определенной озерной зоной. Это глубоководные эндемики, чьи специфические морфологические, физиологические и экологические отличия сложились в процессе адаптации к комплексу глубоководных условий жизни. Процесс адаптивной эволюции привел и к формированию своеобразных сообществ с внутренней системой дифференциации в отношении способов питания (различные типы детритофагов и хищников). И хотя глубоководная фауна Охридского озера далеко не достигает степени обособленности байкальской, она все-таки в достаточной мере проявляет черты самостоятельного фаунистического комплекса.

Это иллюстрирует степень дифференцированности экосистем обоих озер. Наравне с этим возросла и степень их интеграции. В качестве примера достаточно привести только одну из общих экологических особенностей фауны Байкала и Охрида. Население прибрежных вод Байкала, более или менее обособленных от открытой части озера, так называемые соры, закрытые и защищенные губы, бухты, так же как

Сто лет назад

ЕНИСЕЙСК

В Тазовской губе был найден гигантский мамонт, сохранившийся с кожей в сибирской тундре.

«Русские ведомости»,
23 апреля 1866 г.

ГЕРМАНИЯ

Близ Кельна найден великолепный экземпляр гигантской допотопной птицы птеродактиля. Скелет сохранился в целости и ясно обнаруживает формы и организацию животного.

«Иллюстрированная газета»,
№ 8, февраль 1866 г.



и предустьевые участки крупных притоков, состоят преимущественно из элементов широко распространенной сибирской пресноводной фауны с относительно очень слабым участием байкальских эндемиков, которые нормально населяют открытые воды озера. И, наоборот, элементы сибирской фауны обычно не встречаются в открытой части озера, а если и проникают в нее, то не могут здесь длительно сохраниться. Так, например, бокоплав *Gammarus lacustris*, который нормально населяет соры и прибрежные мелководные озера, не встречается в открытых частях Байкала, хотя его уже годами в огромных количествах рассеивают в прибрежной полосе озера как приманку для рыб. Существует, следовательно, относительная несмешиваемость в Байкале сибирских и байкальских фаунистических элементов, которая ждет своего объяснения.

Подобное же явление характерно и для Охридского озера. Малые прибрежные воды (литоральные лагуны, болота, источники, устья притоков) населены преимущественно элементами обычной европейской фауны; число охридских эндемиков в них весьма ограничено. И в Охриде существует, следовательно, несмешиваемость обыкновенной европейской и эндемичной охридской фауны, отсутствие взаимного обмена этих двух фаун.

Сводить причины этой несмешиваемости фаун только к некоторым физическим факторам, таким, как низкие температуры воды в Байкале или, возможно, присутствие в ней «тяжелой воды» (Верещагин, 1940), по мнению автора, нет достаточных оснований. Во всяком случае, такое объяснение не было бы применимо к Охридскому озеру. Кажется более оправданным искать причины этого явления в высокой степени интеграции экосистем обоих озер. В течение длительной эволюции эндемичным байкальской и охридской фаунам удалось полностью приспособиться к своеобразному комплексу экологических условий в этих озерах. Эндемичные обитатели этих озер более приспособлены к сложившемуся в них комплексу жизненных условий и с успехом противостоят проникновению посторонних элементов в озеро. Байкальский и охридский биоценозы в высокой степени интегрированы и сохраняются как таковые.

Итак, Байкал и Охрид представляют два уникальных природных памятника Евразии, возникших в те далекие эпохи, когда Земля еще не знала человека. Современные исследования их жизни и истории органического мира открывают целый ряд научных проблем, имеющих большое значение для биологии и географии.



АКЕ ТОРСТЕН ГУСТАФССОН

(Gustafsson) (р. 1908) — шведский ботаник, доктор наук, член Шведского исследовательского совета по естественным наукам, член комиссий этого Совета по вопросам радиобиологии, по атомной энергии, ответственный за исследования в области мутации по сельскому хозяйству, член Шведской королевской академии наук и Германской академии естествоиспытателей Леопольдина (ГДР). Родился в Стокгольме, в семье ботаника К. Э. Густафссона. В 1930 получил степень бакалавра в Лундском университете, а в 1933 — степень магистра наук по ботанике. Спустя два года А. Густафссон, защитив диссертацию, становится доктором наук. В том же году он получает звание доцента и преподает ботанику в Лундском университете.

С 1940 А. Густафссон руководит исследованием мутаций в Шведской ассоциации семеноводства, а через семь лет он — профессор Государственного института лесоводства. Возглавляет Главную Государственную комиссию по контролю семян. С 1962 заведует отделением генетики лесных растений в Королевском колледже лесоводства.

В круг его научных интересов входят проблемы ботаники, генетики, сельского хозяйства и лесоводства. А. Густафссоном опубликовано около 150 монографий и статей. Ему принадлежат также сборники лирических стихов и ряд критических статей.

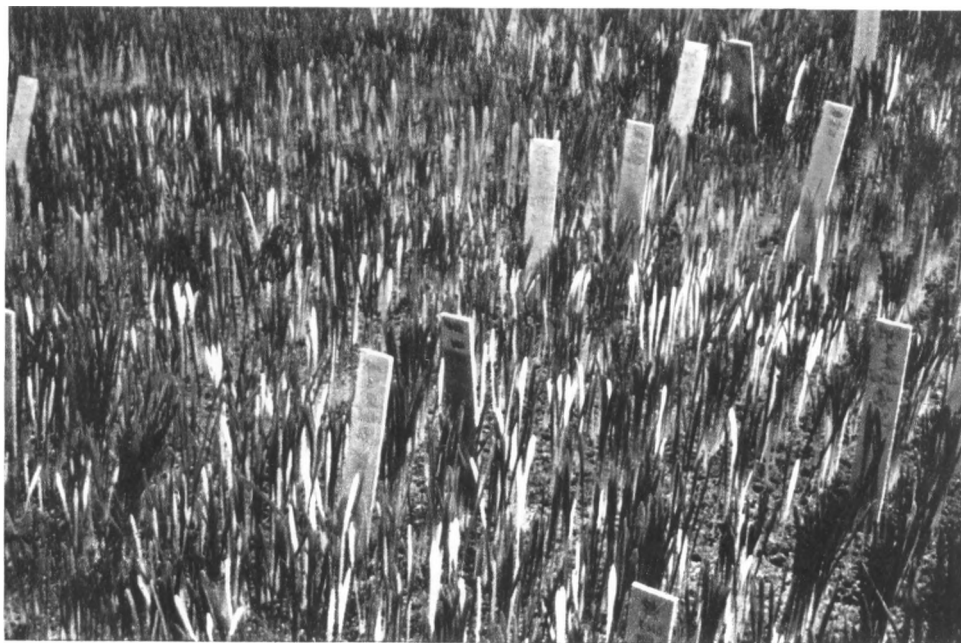
АКЕ ГУСТАФССОН

РОЛЬ ГЕНОЭКОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ МУТАЦИЙ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ

СЕЛЕКЦИЯ РАСТЕНИЙ —
ПРАКТИЧЕСКАЯ ГЕНОЭКОЛОГИЯ

Селекцию растений обычно рассматривают с точки зрения приложения к практике генетических принципов. Я предпочел бы охарактеризовать селекцию растений как раздел генэкологии в понимании этого термина, предложенном Г. Турессоном (1923 г.). Смысл этой концепции сводится к тому, что нет таких генотипов* или популяций организмов, которые существовали бы в некоем вакууме по отношению к факторам внешней среды. Не было подобного вакуума и для их предков, не может его быть и для их потомков. Фактически гены, хромосомы, цитоплазматические структуры организмов представляют собой продукт взаимодействия генотипа и среды, длившегося тысячелетия или миллионы лет, и это взаимодействие будет продолжаться в будущем. Такое утверждение является, конечно, трюизмом, что, однако, не умаляет его значения не только для правильной интерпретации эволюционных процессов, но и для создания новых сортов

* Все необходимые пояснения, кроме тех, которые сопровождают данную статью, читатель найдет в подстрочных примечаниях и заметках к статье М. Мезельсона «Редупликация и рекомбинация генов», помещенной в этом же томе ежегодника. — *Ред.*



Расщепление у ячменя по индуцированным хлорофилльным мутациям

сельскохозяйственных растений. К подобному выводу пришел и Г. Турессон в 1935 г.

Рассмотрим некоторые вопросы, имеющие особое значение для селекции сельскохозяйственных растений.

1) Продуктивность и приспособленность связаны с реакцией определенного генотипа, группы генотипов, либо популяции на специфические природные или созданные человеком климатические и почвенные условия.

Например, какой-то определенный сорт дает высокий урожай при специально созданных благоприятных условиях, но очень плохо переносит ухудшение условий среды. Другой сорт дает высокие, хотя и не рекордные, урожаи при довольно широком диапазоне изменений условий среды. Эти различные реакции обозначаются как «специфическая и общая потенциальная продуктивность» — термин, сформулированный 50 лет назад Х. Нильсоном-Эле. Как в современном сельском хозяйстве, так и в будущем наряду с формами, специализированными для культивирования в определенных условиях, будут использоваться и формы, приспособленные к культивированию в значительно отличающихся условиях среды.

Сказанное целиком относится и к такому понятию, как жизнеспособность. В подтверждение приведем лишь одно интересное явление. В 1922 г. А. Акерман описал случай летальной (смертельной) хлорофилльной мутации у гексаплоидного посевного овса*. Все растения, проявившие мутантный признак, погибали, если их подвергали прямому действию солнечных лучей, но росли и цвели при рассеянном дневном свете. В настоящее время этот феномен называется повреждением хлорофилла или пластид солнечным светом.

* Гексаплоидными называют растения, в клетках вегетативных частей которых имеется шесть наборов хромосом. Обычно их два. — Ред.

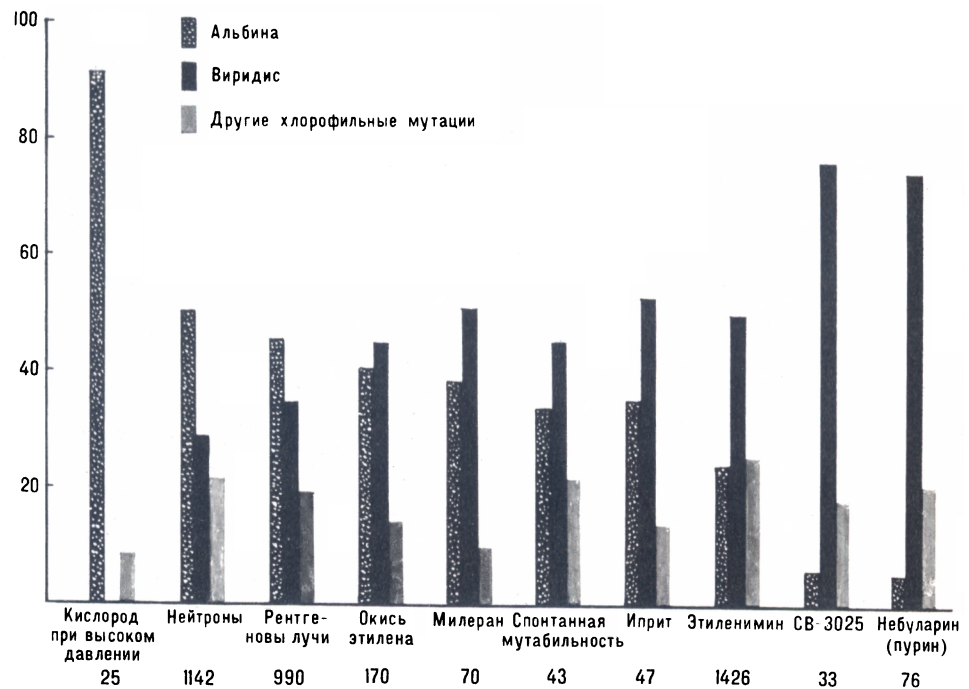
А. Акерман опубликовал сообщение об этом случае в статье под названием «Исследование одной формы, нежизнеспособной при освещении прямыми лучами солнца». В то время это название дало повод к едким замечаниям и шуткам.

Другой пример. О. Тедин и А. Хагберг (1952 г.) открыли мутацию типа «ленивец» у люпина желтого. В некоторые годы мутантные растения росли нормально, так что их новоприобретенную особенность нельзя было распознать. В другие же годы стебли у них стлались по земле, как будто бы они «устали». Но степень проявления этой «лености», или «усталости», была в разные годы неодинаковой.

2) Свойство скороспелости также проявляется по-разному. Обычно выведенные по этому признаку гибридные или мутантные формы растут в определенных климатических условиях быстрее и созревают раньше, чем исходные. Но если подобную скороспелую форму культивируют в другом районе, с иной фотопериодичностью или иной дневной и ночной температурой, либо ставят ее в условия искусственного орошения, то она может оказаться более позднеспелой, чем исходные формы, или, наоборот, скороспелость ее проявится еще более ярко. А возможно, что в новых для нее условиях она и вовсе не будет цвести. Проявление скороспелости мутанта обусловлено генотипом его предков. Реакция мутировавшего гена на условия среды происходит под воздействием генетического фона. К аналогичному выводу пришел П. Лёш (1964 г.), изучавший проявления мутации у земляного ореха, придающей плодам этого растения свойства слабительного.

3) В настоящее время большое внимание уделяют устойчивости злаков к полеганию и заболеваниям. Устойчивость к полеганию — явление сложное, зависящее от урожайности, особенностей корневой системы, высоты стебля, структуры междоузлий и т. п. (Д. Ветшттейн и др., 1957 г.; Т. Чанг, 1964 г.). Там, где почва бедна, где урожайность низка и где угроза дождей или сильных ветров не вызывает трудностей при хлебоуборке, полегание не является серьезной проблемой. Но на богатых почвах, в условиях влажного климата, в условиях

Спектр хлорофилльных летальных мутаций, индуцированных разными мутагенными факторами





Производственные посевы ячменя сорта Мари, то есть скороспелого мутанта а⁸ (очень скороспелого, устойчивого к полеганию, высокоурожайного)

поливного земледелия, интенсивного удобрения и получения высоких урожаев устойчивость зерновых культур к полеганию — важнейшая проблема. Хорошей иллюстрацией этого может служить, например, различие двух разновидностей риса — японского и индийского.

Так же обстоит дело и с устойчивостью растений к грибковым или вирусным заболеваниям. Там, где условия не благоприятствуют существованию грибов, вирусов или их переносчиков, растения, естественно, от них не страдают. Например, в некоторых районах северной части Швеции картофель, как правило, не болеет и дает высокие урожаи и клубни отличного качества, не несущие заметных следов вирусного заболевания. Повышение устойчивости к полеганию и заболеваниям может быть достигнуто в результате искусственно вызванной мутации или рекомбинации генов.

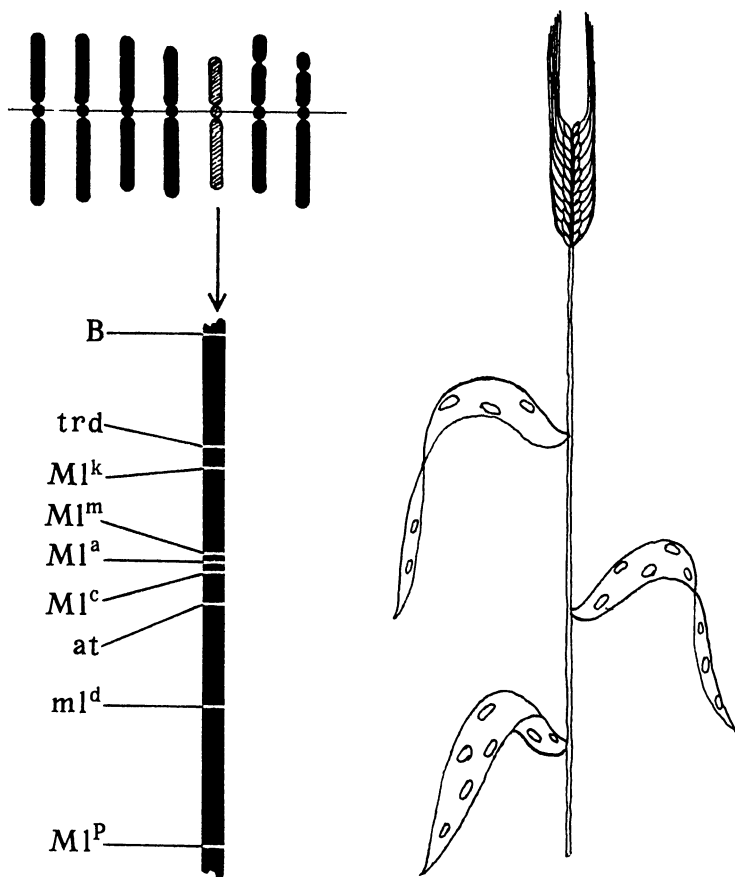
Необходимо упомянуть еще об одном из факторов экологической системы — о межвидовой и межгенотипной конкуренции, в том числе конкуренции с сорняками и паразитами. Надо иметь в виду явления симбиоза, охватывающие взаимоотношения растений с почвенными и корневыми грибами и бактериями, а также «кооперирование» специализированных генотипов, например в отношении общего развития их ризосфер*. Этот симбиоз, или кооперацию, особенно важно учитывать, когда мы имеем дело с растениями семейства бобовых, с ольхой и хвойными. О. Гелин (1960 г.) показал, что селекция гороха на увеличение количества бактериальных клубеньков влечет за собой и повышение урожайности.

4) Наконец, в число признаков, характеризующих качество растений с точки зрения потребности и вкусов человека, входят такие, как обмен белков, жиров и углеводов, накопление питательных веществ, продукты секреции, типы аминокислот и их усвояемость, типы углеводов, насыщенных или ненасыщенных жирных кислот, характе-

* Р и з о с ф е р а — прикорневая зона, в которой сосредоточивается большое количество микроорганизмов. — Ред.



Два мутанта ячменя, возникшие из сорта Бонус: скороспелый а³, или сорт Мари, и скороспелый 6. Последний характеризуется несколько повышенной скороспелостью и наличием транслокации между 4-й и 7-й хромосомами



Гены устойчивости к грибу мильдью (MI и ml) в основном сконцентрированы у ячменя в 5-й хромосоме

а также MI^z, MI^{qo}, MI^{mw}, MI^{mu}, MI³⁵⁷⁶, ml^w, ml^s



Производственные посе­вы мутанта сорта ячменя Свалов Паллас — эректоида 32 (устойчивого к полеганию и высокоурожайного)

ризующихся тем или иным числом атомов углерода, типы алкалоидов и их количество, ферменты, оказывающие влияние на процессы брожения, прорастание зерна в период уборки, а также на цвет и вкус. Все эти особенности обусловлены наследственностью, но на многие из них оказывают значительное влияние внешние факторы среды, такие, как количество удобрений, методы обработки почвы, планомерная ирригация, условия погоды в период созревания, неожиданные паразитарные заражения.

Селекция растений представляет собой, следовательно, удачное создание сортов с наследственностью, измененной таким образом, что их свойства удовлетворяют в той или иной мере запросы человека. Лучшие сорта те, которые хорошо приспособлены к почвенным и климатическим условиям и к симбиозу с другими полезными организмами, а также способны противостоят врагам и неблагоприятным условиям. Селекция растений превращается в рискованную игру, если пренебрегают генетическими, то есть эволюционными, механизмами (мутациями, явлениями полиплоидии, рекомбинации генов) или не обращают внимания на экологию (условия среды, в которых, подобно ситу, действует отбор). Но если селекцию проводят комбинированно, используя знания в обеих указанных областях, она приобретает планомерность, рассчитанную на длительное время, со всеми вытекающими отсюда последствиями. Вот почему я считаю селекцию растений разделом геноэкологии, следующим образом изменяя определение последней, предложенное Г. Турессоном: геноэкология — это реакция генотипа культурных видов на условия обитания и климата.

ХРОМОСОМНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ И ИХ РОЛЬ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ

Как было указано выше, история вида заключается в сложившихся у него типах генов и организации его хромосом. Даже при беглом ознакомлении с диплоидными видами часто выявляются кариотипы

(набор хромосом), отличающиеся характерными особенностями, типичными для определенного вида. Ячмень, например, имеет гаплоидный набор, состоящий из семи хромосом, две из которых имеют спутника различного размера и лишены гетерохроматина (исключая область перетяжки). Гаплоидный набор конских бобов состоит из шести характерных хромосом, одна из которых отличается исключительной длиной, имеет спутника и медианную центромеру, тогда как остальные пять значительно меньше, имеют субтерминальные центромеры и хорошо выраженные участки гетерохроматина.

Число и структура хромосом какого-либо вида сложились в результате эволюционных процессов задолго до возникновения современного вида. Что же касается их формы, размеров и строения, то они весьма произвольны и даже причудливы, как, например, хромосомы конских бобов. Мне кажется, что не будет выглядеть абсурдным предположение о возможности изменять форму хромосом, их структуру и размеры в целях получения новых растительных форм, больше отвечающих современным представлениям о качестве возделываемых сельскохозяйственных культур.

У высших растений, помимо ДНК хромосомных генов, имеются геноподобные включения в цитоплазме, возможно, состоящие как из ДНК, так и из РНК, хлоропласты, митохондрии и другие, связанные

У подавляющего большинства животных и растений в соматических клетках (клетках тела) набор хромосом состоит из определенного для каждого вида числа пар гомологичных хромосом, одна из которых отцовского, другая — материнского происхождения. Такие организмы называют диплоидными. Зародышевые клетки диплоидных организмов характеризуются гаплоидным набором хромосом, то есть они содержат лишь по одной из каждой пары гомологичных хромосом. Такой набор называют геномом (генотипом).

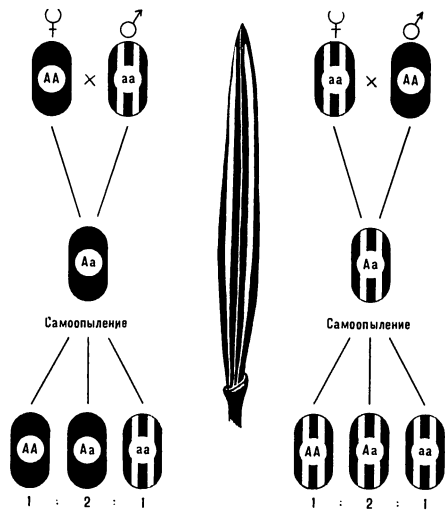
Организмы, у которых хромосомный набор соматических клеток состоит не из пар, а из большего числа гомологичных хромосом, носят общее название полиплоидных, или полиплоидов. Если каждая из хромосом гаплоидного набора повторяется в соматических клетках трижды, то говорят о триплоидах, если четырежды — о тетраплоидах и т. д. Аллополиплоидными называют такие полиплоидные организмы, у которых увеличение числа хромосом произошло в результате скрещивания двух или большего числа видов, то есть за счет размножения хромосом неодинаковых геномов. Полиплоиды, возникающие в результате умножения хромосомных наборов одного и того же вида (идентичных геномов), носят название автополиплоидов.

Гетерохроматиновая область — участки хромосомы, остающиеся уплотненными во время интерфазы (периода между двумя последовательными делениями клетки) в противоположность остальным участкам хромосомы — эухроматиновым, плотность которых в интерфазе уменьшается. Гетерохроматиновые участки интенсивно окрашиваются основными красителями. Полагают, что гены локализованы преимущественно в эухроматиновых участках хромосомы.

Центромера — участок хромосомы внутри перетяжки — сужения, где встречаются плечи хромосомы. В период деления клетки центромеры выполняют функцию механического центра хромосомы. К ним прикрепляются нити клеточного веретена, разводящие хромосомы к полюсам клетки и состоящие из более плотной протоплазмы, чем окружающая их плазма ядра. **Медианная центромера** — центромера, занимающая срединное положение, когда оба плеча равны. **Субтерминальная центромера** — центромера, смещенная от середины, при этом одно плечо у хромосомы меньше другого.

Цитоплазма — часть протоплазмы клетки, находящаяся вне ядра. **Хлоропласты** — небольшие белковые тельца. Эти тельца, находящиеся в цитоплазме растительных клеток, содержат хлорофилл (пигмент), придающий растениям зеленую окраску и обуславливающий путем фотосинтеза усвоение растениями углекислоты из воздуха.

Митохондрии — мельчайшие тельца в форме нитей, палочек или зернышек, которые содержатся в цитоплазме почти всех клеток. Они состоят из белков, рибонуклеиновых кислот и фосфолипидов и содержат ферменты, при помощи которых осуществляется расщепление углеводов, жирных кислот и аминокислот до углекислоты и воды.



Индукцированные рентгенооблучением транслокации, находящиеся в гетерозиготном состоянии. Обратите внимание на образование тетравалентов. Верхний ряд: транслокация I ячменя сорта Ингрид, транслокация I ячменя сорта Домен. Нижний ряд: транслокация I ячменя сорта Паллас, транслокация II ячменя сорта Мари (из работы И. Экберга)

Под воздействием генной мутации возникает цитоплазматическая мутация, обуславливающая материнскую наследственность. На рисунке показаны два варианта наследования генной рецессивной мутации «а»: в первом варианте она поступает в растение первого поколения со стороны мужского исходного растения, во втором — со стороны женского исходного растения, где она вызвала цитоплазматическую мутацию. В результате в первом варианте во втором поколении мы имеем при самоопылении типичное менделеевское расщепление (три доминантных растения к одному рецессивному). А во втором варианте, несмотря на то, что расщепление по ядерным генам «А» и «а» идет так же, как и в первом варианте, все растения имеют признак, обусловленный цитоплазматической мутацией, вызванной в цитоплазме растения первого поколения (из работы Д. Веттштейна)

со структурой и функциями самой цитоплазмы. Имеется и особый тип независимой или полунезависимой цитоплазматической наследственности (А. Густафссон и Д. Веттштейн, 1956—1957 гг.). Мало что известно об ее организации, функциях, мутировании. Однако установлено, что многие важные особенности, как, например, мужская стерильность, дифференциация пола и некоторые нарушения процесса образования хлорофилла связаны с цитоплазматической наследственностью. Недавно проведенные исследования показали, что ядерные мутации могут привести к вторичным цитоплазматическим изменениям, которые сохраняются и тогда, когда ядерные мутантные гены заменяются их аллелями нормального дикого типа (М. Роудс, 1955 г.; Д. Веттштейн и А. Густафссон, 1963 г.). Насколько распространено это явление, не известно. Нет пока данных даже в отношении возможности более легкого получения подобных мутаций при помощи химических факторов или ионизирующих излучений.

Боле того, не известно, могут ли хлоропласты или митохондрии возникать вновь. Если нет, то не являются ли они морфологическими остатками структур, появившихся тысячи лет тому назад, или же они непрерывно изменяются под воздействием хромосомных генов и их мутаций, либо цитоплазматических мутаций? Поскольку наблюдается большое сходство структуры пластид и митохондрий разных видов и родов покрытосемянных, то возникает законный вопрос: способны ли они к дальнейшей эволюции, могут ли составляющие их элементы претерпеть под влиянием рекомбинации генов или мутации такие изменения, в результате которых они начнут работать более эффективно, например, в отношении фотосинтеза или дыхания?

Здесь следует подчеркнуть, что хромосомы, помимо нуклеотидных оснований ДНК или РНК (аденина, цитозина, гуанина, тимина, урацила), содержат еще основу из углеводно-фосфатных связей. Кроме того, нуклеиновые кислоты хромосом находятся в соединении с белками или связаны с ними. Поэтому разрывы хромосом представляют собой не просто обмен генами, а значительно более сложное явление, так как

они вызывают не только обмен оснований ДНК или их инактивизацию, но затрагивают и углеводно-фосфатные связи.

Остановимся на перестройках хромосом, которыми до недавнего времени часто пренебрегали в практике селекции растений. Начнем с транслокаций*. Их можно вызвать у любого вида злаков, воздействуя ионизирующей радиацией, но наиболее легко исследовать их у диплоидных форм. Некоторые транслокации, по-видимому, влияют на продуктивность, даже могут улучшить те или иные специфические ее особенности (Н. Ньюбом, 1954 и 1956 г.; Д. Веттштейн, неопубл. данные; А. Густафссон, 1954 и 1963 г.). Транслокации могут также вызвать перенос сегмента хромосомы от одного вида к другому (Е. Сирс, 1955 г.).

В одном из моих опытов при использовании ряда мутагенов была получена серия реципрокных (взаимных) транслокаций у разных коммерческих сортов ячменя: Бонус, Фома, Ингрид, Герта, Рика, Паллас, Домен, Мари. В опыте, проведенном в 1964 и 1965 г., одиннадцать взятых наудачу линий, содержащих транслокации, сравнили с исходными, которыми в данном случае оказались сорта Ингрид, Домен, Паллас и Мари. По внешним морфологическим признакам и по реакциям мутантные линии были поразительно схожи с исходными формами. Анализ некоторых элементов их продуктивности (см. таблицу) показал, что в отношении прорастания и выживаемости ни одна из одиннадцати транслокационных линий не уступала исходным формам; наоборот, три из этих линий даже статистически достоверно превзошли по этим признакам исходные формы. В отношении кустистости (количества плодоносящих стеблей на одно растение) четыре транслокационные линии оказались статистически достоверно лучшими. В отношении веса тысячи зерен одна транслокационная линия (IV сорта Паллас) получилась, безусловно, хуже, а все остальные — в среднем такими же, как и их исходные формы. По урожайности, за мерилу которой в данном случае принимался урожай зерна с одной делянки (в повторных опытах), одна из транслокационных линий оказалась статистически достоверно лучшей, а другая, уже упоминавшаяся линия IV сорта Паллас, безусловно, хуже исходных форм. Если исключить эту последнюю линию, то все остальные в среднем несколько превзошли исходные формы. Одна транслокационная линия, происходящая из сорта Ингрид, оказалась как по относительным, так и по абсолютным показателям высокопродуктивной.

Следовательно, в этом опыте девять или десять из одиннадцати линий, несущих индуцированные рентгеновыми лучами транслокации, не уступали или даже превосходили по продуктивности исходные сорта.

* Транслокация — обмен отдельными участками между негомолгичными или гомолгичными хромосомами (реципрокная транслокация). В первом случае она приводит к совместному наследованию генов, изменяя ранее существовавшие группы сцепления генов. — Ред.

Сто лет назад

АСТРАХАНЬ

Здесь произведена попытка разводить хлопок. Посаженные в апреле зерна поспели в конце августа, причем полученная хлопчатка оказалась мягче и пушистее в сравнении с персидской.

«Русские ведомости»,
12 апреля 1866 г.

В связи с этим возникает важная проблема. Если под воздействием радиации в высокопродуктивном сорте появляется ряд транслокаций, то как обозначить те из них, которые найдут применение в практике, сохранять ли для этих новых форм название исходного сорта или каждой из них давать новое название?

ПОКАЗАТЕЛИ КОМПОНЕНТОВ УРОЖАЙНОСТИ
ВЗЯТЫХ НАУДАЧУ ОДИННАДЦАТИ
ТРАНСЛОКАЦИОННЫХ ЛИНИЙ, ПРОИСХОДЯЩИХ
ОТ ЧЕТЫРЕХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ (ЗА 100%
ПРИНИМАЮТСЯ В КАЖДОМ СЛУЧАЕ ДАННЫЕ
ДЛЯ ИСХОДНЫХ СОРТОВ)

Сорт	Транслокация	Среднее число вызревших растений на одну делянку (%)
Ингрид	I	99,5
	II	102,0
Домен	I	105,3*
	II	105,5*
Паллас	I	100,3
	II	108,3**
	III	97,0
	IV	99,6
	V	97,6
Мари	I	98,0
	II	103,7
Для всех транслокаций по отношению к среднему для исходных сортов		101,8

Сорт	Транслокация	Среднее число зрелых колосьев на одно растение (%)
Ингрид	I	100,8
	II	105,8
Домен	I	98,4
	II	107,0*
Паллас	I	96,1
	II	98,8
	III	109,3***
	IV	122,9***
	V	100,5
Мари	I	108,5***
	II	100,4
Для всех транслокаций по отношению к среднему для исходных сортов		104,4

Что делать селекционеру-практику, если мы, используя реципрокную транслокацию, полученную в результате двух случайных разрывов, изменим генотип сорта ячменя, сохранив практически неизменными его морфологические и физиологические особенности? Конечно, при скрещивании этой новой формы с исходным сортом некоторая часть гибридов первого поколения будет стерильной. На этом основаны

выявление и изолирование транслокационных линий. Многие из указанных линий различаются по урожайности или качественным показателям, хотя часто эти отличия незначительны. Транслокации действуют подобно «модификаторам». Практически они являются, по-видимому, лучшим методом получения мутаций, обуславливающих небольшое повышение продуктивности.

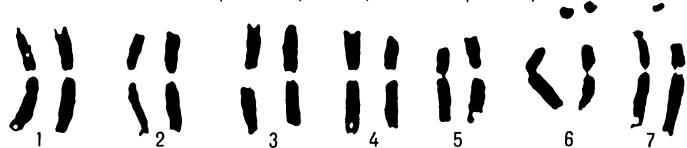
Сорт	Транслокация	Средний вес тысячи зерен (%)
Ингрид	I	97,9
	II	98,8
Домен	I	99,3
	II	96,8
Паллас	I	100,8
	II	101,9
	III	96,8
	IV	89,0
	V	102,8
Мари	I	97,9
	II	98,8
Для всех транслокаций по отношению к среднему для исходных сортов		98,1
Если исключить транслокацию IV сорта Паллас		99,0

Сорт	Транслокация	Средний урожай зерна на одну делянку (%)
Ингрид	I	98,9
	II	111,2
Домен	I	99,4
	II	96,7
Паллас	I	100,7
	II	108,0**
	III	99,1
	IV	77,6***
	V	99,9
Мари	I	99,7
	II	90,8
Для всех транслокаций по отношению к среднему для исходных линий		98,4
Если исключить транслокацию IV сорта Паллас		100,4

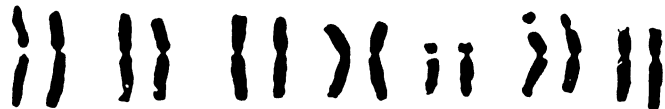
*, **, *** — степень статистической достоверности.

В настоящее время установлено, что при известных обстоятельствах многие сильные химические мутагены, например эпоксиды, эпимины, вызывают меньшее количество хромосомных разрывов или меньшее количество транслокаций и инверсий, чем ионизирующие излучения. Известно, что воздействие химическими веществами часто вызывает разрывы хромосомы в ее гетерохроматиновой области или

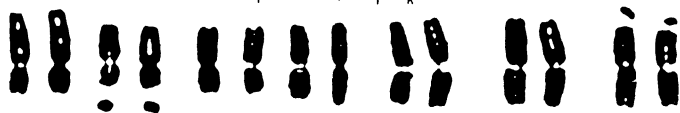
Стандартный кариотип (ячмень, сорт Галл)



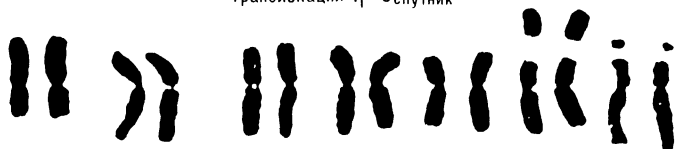
Транслокация 1₁-5_к (эректоид 7)



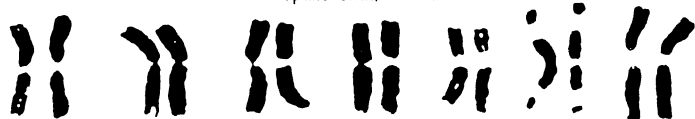
Транслокация 1₁-7_к



Транслокация 1₁-6слутник



Транслокация хТ2



Стандартный кариотип ячменя по сравнению с кариотипами, содержащими индуцированные транслокации (из работы А. Хагберга). Обратите внимание на две пары хромосом со спутниками (6-я и 7-я)

в районах центromеры и перетяжки. Поэтому задачей будущих исследований явится сравнение участков, где возникают хромосомные разрывы, повлекшие за собой образование транслокаций, при воздействии радиации и химических веществ. Для решения этого вопроса исключительно подходящими объектами являются хромосомы конских бобов и ячменя, так как у этих видов они заметно отличаются друг от друга. Соотношение гетерохроматина и эухроматина у конских бобов может быть изменено как по их взаимному расположению, так и по количеству. Смогут ли подобные изменения обусловить повышение продуктивности сорта и повлиять на его качественные особенности? В настоящее время изучение этих проблем, стоящих перед селекцией растений, еще и не начато.

Инверсии, нехватки и дубликации у большинства сельскохозяйст-

Инверсии, нехватки и дубликации — различные типы хромосомных перестроек (хромосомных мутаций). **Инверсия** — поворот на 180° одного из участков хромосомы, что изменяет порядок расположения генов в хромосоме. В области инверсии нарушается нормальный процесс кроссинговера, то есть обмена отдельными участками между двумя гомологичными хромосомами в процессе созревания зародышевых клеток. Это влечет совместную передачу всех генов, локализованных в инвертированном участке хромосомы. **Нехватка**, или делеция — отсутствие какого-либо сегмента хромосомы. **Дупликация** — удвоение одного из сегментов хромосомы. В более широком аспекте — вообще умножение одного и того же участка хромосомы, а следовательно, и умножение числа содержащихся в нем генов, что вызывает изменения признаков, обусловленных данными генами.

венных растений труднее обнаруживать, чем транслокации. По-видимому, путем облучения легко получить инверсии, но не легко их изолировать. Четыре-пять инверсий, полученных у ячменя, в настоящее время изучают (Г. Холм, 1960 г.; И. Экберг, неопубл. данные). Как было установлено в результате длительных опытов А. Хагбергом (1962 и 1963 г.) и его соавторами, дупликация можно получать преднамеренно путем скрещивания транслокационных линий, у которых транслокации возникли в идентичных хромосомах.

При наличии подробных генетических карт легко обнаружить нехватки, так как они могут захватывать несколько генов, локализованных в одном из плеч хромосомы. В данном отношении представляют интерес спельтоидные мутанты* у гексаплоидной пшеницы, изученные Дж. Мак-Ки (1954 г.). В число этих спельтоидных форм могли входить растения, целиком утратившие некоторые хромосомы, растения с нехваткой целого плеча хромосомы или сегментов, захватывающих один, два или три известных гена, либо, наконец, растения, у которых мутировал определенный локус** 9-й хромосомы. Начало исследованиям нехваток сегментов хромосомы и локусов известных генов было положено работами Б. Мак-Клинтон с кукурузой в 30-х и 40-х годах.

Если генный локус является сложным, то есть состоит из нескольких или даже многих частей, то различие между генными мутациями и мелкими хромосомными перестройками утрачивает свое значение. В пределах одного локуса могут возникать изменения местоположения нуклеотидов, инверсии, дупликации, нехватки отдельных нуклеотидов или группы их, которые доступными нам методами анализа обычно нельзя различить между собой. В подобном случае не поможет в качестве критерия даже обратное мутирование, поскольку достоверность его всегда вызывала сомнения. Таков вывод, к которому уже в 1954 г. пришли А. Густафссон и О. Тедин. Они также указали, что кроссинговер между гомологичными или негомологичными хромосомами у частично аллополиплоидных организмов может вызвать повышение частоты мутаций до уровня, далеко превышающего возможности частоты мутирования у гомозиготных диплоидов. Это связано с изменением местоположения хромосомных сегментов или последовательности расположения генов. Возможно, что в этом и заключается причина высокой мутабельности генофона, наблюдаемого при скрещиваниях мутантов у земляного ореха (П. Лёш, 1964 г.; Д. Эмери и др., 1964 г.).

ВЛИЯНИЕ СПОНТАННЫХ И ИНДУЦИРОВАННЫХ МУТАЦИЙ.

За последнее время было предложено несколько противоположных гипотез о той роли, какую играют в эволюции мутации, оказывающие больший или меньший фенотипический эффект. К числу этих гипотез относится предположение Р. Гольдшмидта о перспективных аномалиях, то есть внезапных резких морфологических и физиологических изменениях. Х. Нильсон-Эле, И. Баур и Т. Таммс положили начало идеям о «малых мутациях», которые были затем развиты многими исследователями, например, К. Матером в его концепции о полигенах (кстати, термин «полиген» ведет свое начало от Х. Нильсона-Эле, 1953 г.). Фактически спор о сравнительном значении малых и крупных

* Спельтоидные мутанты пшеницы — растения с уменьшенным числом зерен в рыхлом, вытянутом колосе. — *Ред.*

** Локус — участок хромосомы, включающий один или несколько генов. — *Ред.*

200 мутаций восходит в некотором смысле, с одной стороны, к концепциям Ч. Дарвина, а с другой — к концепциям У. Бетсона. Было предложено несколько систем классификации мутаций в зависимости от их фенотипического действия. Х. Гауль (1963 г.), например, предложил разделение мутаций на макромутации, трансвидовые (характеризующие тип изменений, выходящих за пределы одного вида), внутривидовые и микромутации, проявляющиеся или скрытые.

Все подобные системы классификации мутаций, конечно, искусственны и произвольны. Изменение может быть макромутацией в отношении одного признака и микромутацией в отношении другого. Она может проявляться либо быть в скрытом состоянии, подобно описанной выше мутации типа «ленивец» у лупина. В зависимости от внешних факторов или генотипической среды микромутация может превращаться в макромутацию. Макромутация, оказывающая физиологическое воздействие, может в определенных условиях внешней среды и генотипического фона быть либо трансвидовой, либо внутривидовой. Более того, мутация может быть одновременно и трансвидовой и внутривидовой.

Почти несомненно, что жизнеспособность и плодовитость мутанта снижаются в соответствии со степенью изменения его фенотипа. Однако это правило по-разному проявляется у различных родов и видов и, кроме того, зависит от особенностей генов или генных локусов. Х. Лампрехт (1964 г. и более ранние работы) утверждает, что гены у гороха, называемые им «межвидовыми» (по Х. Гаулю, «трансвидовые»), почти всегда вызывают полную стерильность. Это и является причиной того, что Х. Лампрехт назвал подобные гены «межвидовыми». Однако у ячменя и других диплоидных злаков резкие изменения строения колоса, цветка и соломины (изменения эти при известном допущении можно отнести к «межвидовым», или к «трансвидовым») лишь слабо снижают жизнеспособность и плодовитость.

Все подобные споры, по-моему, беспредметны и могут быть разрешены следующим образом.

Фенотип — система признаков и свойств организма на определенной стадии развития. Фенотип представляет собой результат взаимодействия генотипа (наследственности) и факторов среды.

Под **фенотипическим эффектом** мутации подразумевается влияние, оказываемое мутацией на фенотип, т. е. на какие-то признаки или свойства организма. Мутации бывают генные — изменение гена и хромосомные — изменение строения либо числа хромосом. Мутация может быть вызвана естественными факторами (космическими излучениями, естественным радиационным фоном, изменениями температуры, химическими процессами, связанными с обменом веществ у организмов и др.), или путем воздействия на организмы такими факторами, которые в природе редки, а то и вовсе отсутствуют (некоторые химические вещества, облучение разными видами ионизирующих излучений и т. п.). Мутации, вызванные естественными факторами, называют **спонтанными**, а их воздействие на фенотип — **фенотипическим эффектом спонтанных мутаций**. Мутации, вызванные воздействием специальных факторов, называют **индуцированными**, или **экспериментальными**, а их воздействие на фенотип — **фенотипическим эффектом индуцированных мутаций**.

Макромутации (крупные мутации) — мутации, оказывающие сильный фенотипический эффект. **Микромутации** (малые мутации) — мутации, оказывающие слабый фенотипический эффект.

Дискретно наследуемые особенности — признаки, представляющие собой некоторое четко выраженное морфологическое, физиологическое либо биохимическое отличие (отсутствие хлорофилла у растений, группы крови у человека и животных и т. п.). Они обусловлены немногими отдельными генами и наследуются в строгом соответствии с простыми менделеевскими закономерностями.

Культурные растения часто отличаются от своих диких родичей по генам, обуславливающим дискретно наследуемые особенности. В качестве иллюстрации приведу пример. Два или три диких вида лупина были окультурены Р. Сенгбушем, Дж. Хакбартом, Х. Троллем и другими менее чем за 15 лет. Эти исследователи выделили у них дискретно расщепляющиеся мутации и гены таких признаков, как низкое содержание алкалоидов, мягкая оболочка семян, нераскрывающиеся стручки, быстрый рост до наступления плодоношения, белая окраска семян.

Практически, после того как все эти мутации были объединены, дикие виды лупина превратились в культурные (Р. Сенгбуш, 1942 г.; А. Густафссон и И. Гадд, 1965 г.).

Культурные растения можно часто совершенствовать при помощи мутаций, оказывающих значительное воздействие на фенотип, например, таких, как вызывающих эректоидность, то есть укороченность междоузлий соломины у риса, пшеницы, ячменя и других злаков. Просто наследуемые прерывистые, обусловленные мутациями различия известны и в отношении таких признаков, как скороспелость и устойчивость к заболеваниям. Кроме того, мы можем с уверенностью говорить о полезности мутаций, оказывающих слабое воздействие, как это, например, было в опыте с горохом сорта Страль и земляным орехом сорта NC 4x. Более того, фенотипические эффекты мутаций могут быть усилены или ослаблены под воздействием генов-модификаторов или хромосомных перестроек. Получение мутации, спонтанной либо индуцированной, отнюдь не является завершением работы селекционера-растениевода. Подобно всем другим продуктам селекционной работы, получение мутации представляет собой лишь эпизод на пути к дальнейшему совершенствованию улучшаемого объекта и получению в будущем все новых и новых сортов.

Боюсь, что рассуждения подобного рода слишком общи. И все же я позволю себе закончить их утверждением, что гены или мутации, оказывающие как сильное, так и слабое воздействие, сыграли и сыграют важную роль в процессе окультуривания диких видов растений (см. работу А. Густафссона и И. Гада «Мутации и улучшение зерновых культур», 1965 г.).

ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ И ПРОДУКТИВНОСТЬ

Обычно принято считать, что спонтанные и индуцированные мутации оказывают в основном лишь вредное воздействие. Многие ученые поэтому даже отрицали, что мутации играют положительную роль в эволюции видов и родов. Более того, часто приходится слышать, что мутации влекут за собой «утрату» особенностей или реакций. Поразительно, как мало генетиков, действительно представляющих всю условность понятий «жизнеспособность» или «продуктивность». Выражения такого рода, как «утрата» или «приобретение», сами по себе в значительной мере лишены смысла. Это особенно хорошо видно на примере культурных растений. Так, например, ломкая плодоножка у злаков или растрескивающиеся стручки у бобовых являются важными приспособительными признаками, обеспечивающими естественное распространение диких видов. Но в условиях сельского хозяйства, то есть в условиях созданных человеком экологических сред, эти признаки являются недостатком.

Интересно отметить, что Р. Сенгбуш (в упомянутой выше работе) открыл у лупина ген нераскрываемости стручков, названный им геном непобедимости, которому равного по действию не найдено до сих пор ни у одного другого из культурных бобовых растений. Безусловно, что этот ген вызывает утрату свойства растрескивания стручков, но он же

вызывает и сенсационное приобретение морфологического признака, а именно — образование склеренхиматозной ткани (механической ткани растений, придающей им прочность и состоящей из толстостенных клеток. — *Ред.*) там, где она раньше никогда не образовывалась.

При любом исследовании жизнеспособности и продуктивности генетик или селекционер обязан точно выяснить особенности той экологической среды, где проводилось испытание мутанта, выщепившейся формы или гибрида.

Часто происходят совершенно непредвиденные случаи. В самом деле, кто бы мог, например, предсказать, что выделенный в Южной Швеции из ячменя сорта Паллас эректоид 32 будет отличаться исключительно высокой урожайностью на родине знаменитого викария Оливера Гольдсмита — в Палласе, в Северной Ирландии. (Правда, эту высокую продуктивность данный сорт проявлял лишь до тех пор, пока он не подвергся нападению возбудителей специфических грибковых и вирусных заболеваний.) И все же мы должны осознать и тот факт, что получение высокой продуктивности (безразлично, будет ли она специфичной или общей) еще не означает создания нового сорта. Необходимо сравнить новую форму со всеми уже имеющимися коммерческими сортами как хорошими, так и плохими. Причем это сравнение должно идти не только по линии их продуктивности, но и по ряду других показателей. В условиях западного мира приходится придавать не меньшее значение и предубеждениям фермеров, продавцов и покупателей, а также национальному тщеславию и ограничениям, устанавливаемым государствами.

Я не буду слишком детально обсуждать вопрос о различиях между видами, используемыми в сельском хозяйстве. Ограничусь лишь утверждением, неоднократно мною повторявшимся в ряде работ (например, в 1954 г.), что методика селекционной работы, направленной на улучшение какого-либо вида зерновых хлебов и зерновых бобовых, в огромной мере определяется системой его популяции. Вид может быть диплоидным или полиплоидным, автогамным (самоопыляемым) или аллогамным (чужеопыляемым), размножаться половым путем или апомиктически (без слияния половых клеток) — при помощи семян либо вегетативно. Мутантный ген необходимо внедрить в уже сложившийся генетический комплекс, и надо иметь в виду, что действие его будет различным в зависимости от того, будет ли он в гетерозиготном или гомозиготном состоянии. Ген может оказывать отрицательное воздействие в гомозиготном состоянии, но быть весьма полезным в гетерозиготном. В этом вопросе я расхожусь во мнениях с Г. Мёллером и Р. Фальком, высказанных ими (1961 г.) относительно эффектов вредных генов в гетерозиготном состоянии (А. Густафссон, 1946 г.; Р. Мазинг, 1938—1939 гг.; А. Густафссон и др., 1950 г.).

В некоторых экологических средах ген, вообще вредный, может оказаться полезным даже и в гомозиготном состоянии. Н. П. Дубинин и Т. Добжанский показали в своих работах, опубликованных уже много лет тому назад, что летальные гены очень часто распространены в природных популяциях. Нарушения образования хлорофилла, безусловно, пагубны для видов, характеризующихся способностью фотосинтеза, но подобное нарушение представляет собой обычное свойство

Выщепившаяся форма — организм, по какому-то определенному признаку непохожий ни на одного из родителей. Часто причиной появления такой необычной формы является гетерозиготность обоих родителей по рецессивному гену, ранее возникшему в результате мутации. Нередко, однако, генетический анализ показывает, что подобная необычная форма представляет собой ненаследственное изменение (модификацию), вызванное факторами среды.

для сапрофитов* и паразитических видов. Для этих видов «вредное» влияние генов, нарушающих образования хлорофилла, не только не имеет значения, но, возможно, оказывается даже «полезным».

Любопытно, что спектр мутаций как генотипически, так и фенотипически часто может быть совершенно разным в зависимости от особенностей вида, структуры популяции или строения хромосомы. Наиболее поразительной иллюстрацией этого положения являются факты, изложенные в работе Г. Мелжерса (1960 г.), проведенной на гаплоидном львином зеве. В этом случае были получены и выделены мутанты, которые никогда не возникали в диплоидных растениях (мутанты веттштейновы). Далее, необходимо еще раз отметить, что при наличии хромосомных перестроек, часто возникающих под воздействием ионизирующей радиации, сохраняется высокий уровень жизнеспособности. У диплоидных видов, подобных ячменю или гороху, а также и у таких тетраплоидных видов, как твердая пшеница, хромосомные перестройки иногда обуславливают даже увеличение урожайности, как это показал Н. Ньюбом еще несколько лет тому назад и как недавно это было вновь доказано Д. Веттштейном и мною. Транслокации и инверсии, безусловно, вызывают известное снижение жизнеспособности, если они находятся в гетерозиготном состоянии, но если они переходят в гомозиготное состояние, то жизнеспособность может быть нормальной, субнормальной или выше нормы. Дупликация хромосомных сегментов, конечно, влечет за собой увеличение генетического материала, хотя иногда, если подобная дупликация вызывает гомозиготность, она влечет за собой снижение жизнеспособности или другие отрицательные последствия. Гомозиготные нехватки, означающие утрату генетического материала, а тем более гетерозиготные нехватки, могут как в природных условиях, так и в условиях сельского хозяйства оказаться даже полезными в результате обусловленных ими изменений фенотипа. Так называемое мутационное отягощение — термин, введенный в употребление Г. Мёллером в 1950 г. — часто в сельскохозяйственной практике превращается в «мутационное обогащение».

Н. Тимофеев-Ресовский утверждал в 1940 г., что из числа изученных им мутантов дрозофилы 97% имели лишь очень незначительные морфологические отличия, а у 3%, наоборот, морфологические отличия бросались в глаза. В первой группе мутантов 31% мутаций были летальными в гомозиготном состоянии, 5% — полулетальными, 62% снижали жизнеспособность и лишь 2% не снижали или даже повышали жизнеспособность. Во второй группе мутантов (3% от всего числа их, характеризующиеся значительными морфологическими отличиями) 13% мутаций были летальными в гомозиготном состоянии, 80% — полулетальными, а 7% сохраняли в преобладающих для данного вида условиях среды нормальную или даже показывали повышенную жизнеспособность. Эти данные говорят о том, что не менее 2% всех мутантов обладают в гомозиготном состоянии нормальной, а то и повышенной жизнеспособностью. В гетерозиготном состоянии нормальную жизнеспособность сохраняют не менее 90% мутантов (границей «нормальной» жизнеспособности в данном случае взят показатель, равный 95% от средней жизнеспособности мух «дикого» (не мутантного) типа. Эта же граница «нормального» принимается всегда мною и в работах с ячменем — не менее 95% от продуктивности исходной линии при оптимальных для нее условиях среды).

* Сапрофиты — растения, питающиеся за счет мертвого органического материала (например, многие грибы и бактерии). — Ред.

Таковы факты, которые следует иметь в виду при обсуждении вопроса об индуцировании мутаций и использовании их в практике сельского хозяйства. Мы часто обсуждаем генные мутации с точки зрения их отрицательного действия. Рассмотрим их все же и с положительной стороны. В этом обсуждении я буду преимущественно пользоваться примерами, заимствованными из опыта работы с ячменем, так как он является идеальным модельным организмом.

В работе 1956—1957 гг., проведенной мною совместно с Д. Ветштейном, высказывалось мнение, что организм, подобный ячменю, должен при облучении его рентгеновыми лучами в дозе 10 тысяч рентген давать не менее одной мутации в потомстве каждого облученного растения. В то время мы причисляли транслокации к группе мутаций с «вредным» действием (А. Густафссон, 1947 г.). Если же рассматривать ситуацию с более позитивной точки зрения, то оказывается, что хотя в среднем транслокации и инверсии, находясь в гетерозиготном состоянии, и оказывают вредное влияние на урожай семян, тем не менее в гомозиготном состоянии они повышают, как правило, продуктивность. В одной из моих предыдущих работ, описанной выше, я приводил пример, что так именно обстояло дело в девяти или десяти случаях из одиннадцати.

Основой для расчета частоты возникновения разных типов мутаций, в том числе и продуктивных, обычно являются легко обнаруживаемые аберрантные по содержанию хлорофилла растения. Во всяком случае это положение верно для тех диплоидных растений, у которых подобные явления легко обнаружить. В своих теоретических исследованиях, проведенных с ячменем, я исходил из двух отправных пунктов: хлорофилльных мутаций и эректоидных мутаций. После исследований, проведенных Ю. Лундквистом и Д. Ветштейном (1962 г.), третьим отправным пунктом могли бы служить мутации воскового налета. На одну эректоидную мутацию приходилось примерно от семи до десяти хлорофилльных мутаций. В среднем каждый пятый или шестой эректоидный мутант по продуктивности не уступал исходному сорту. Но у эректоидов, возникших в результате мутирования локуса «с», это отношение значительно выше. Фактически более половины эректоидов — мутантов локуса «с» — обладают при оптимальных условиях среды такой же специфической продуктивностью, как и исходный сорт. Из четырех мутантов локуса «к» по крайней мере два оказались высокопродуктивными в условиях среды, являющихся оптимальными для исходного сорта (А. Хагберг и Г. Персон, 1964 г.). Один из этих мутантов — эректоид-К³², получивший название Паллас и происходящий из сорта ячменя Бонус. Другой — эректоид-К³⁰⁹ происходит из сорта ячменя Фома и представляет для нас особый интерес, поскольку отличается высокой урожайностью, неполегаемостью, а кроме того, значительно повышенной скороспелостью.

Вместе с Л. Эренбергом и Ю. Лундквистом мною был проведен расчет частоты случаев возникновения эректоидных мутантов с относительной продуктивностью выше 95%, выделенных из сорта ячменя Бонус в 1942—1958 гг. при воздействии на него гамма-лучами, рентгеновыми лучами и быстрыми нейтронами, а также химическими мутагенами — окисью этилена, диэпоксидбутаном и этиленимином. Более подробные данные по этому вопросу будут скоро опубликованы.

В 25 сериях опытов по облучению рентгеновыми и гамма-лучами в среднем, при пересчете на дозу в 10 тысяч рад, возникало на каждые 10 тысяч семей (семья — потомство одного колоса первого поколения от облученного растения) 870 семей, расщепляющихся при высеве в поле по хлорофилльным мутациям ($= 8,7 \times 10^{-6}$ рентген/семью). Этому показателю примерно соответствовало возникновение 122 мутаций эректоидов, из которых 23 равнялись по продуктивности исходному

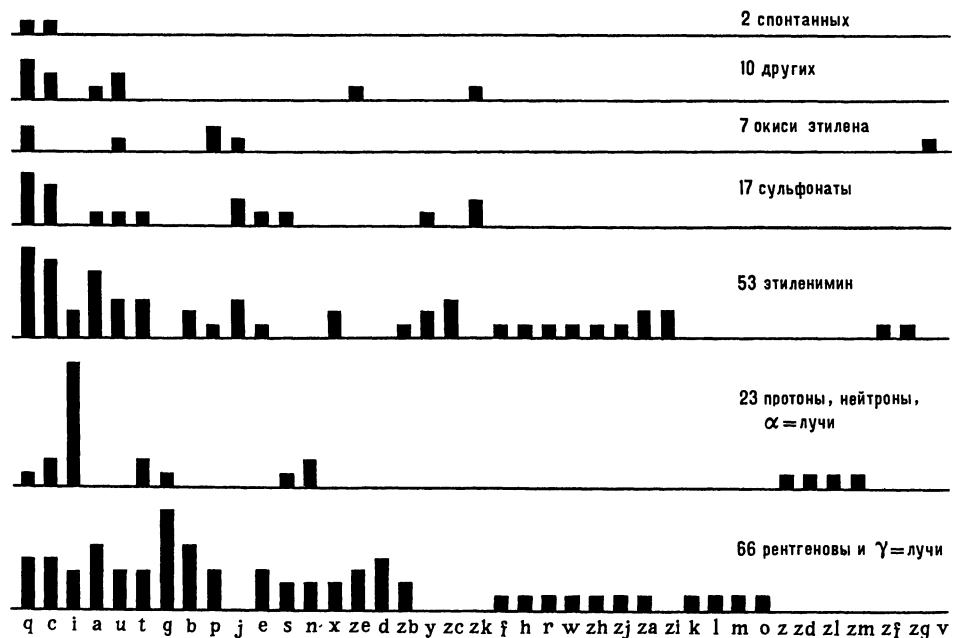
сорта. Одновременно в этих же сериях опытов было обнаружено 13 других высокопродуктивных мутантов. В опытах с воздействием рентгеновыми лучами было получено около 2885 случаев стерильности второго поколения, в том числе около 870 случаев, обусловленных рецессивными генами, нарушающими образование пыльцы или семян, около тысячи случаев стерильности были обусловлены транслокациями и инверсиями и около тысячи случаев стерильности имели причиной частично иные генетические нарушения, а частично — воздействие факторов среды. Из числа индуцированных рентгеновыми лучами мутантов с довольно заметными морфологическими отличиями около 410 были менее продуктивны, чем исходный сорт.

К указанным мутантам необходимо присовокупить многочисленные случаи с небольшими отклонениями от исходного сорта. Из данных Н. Тимофеева-Ресовского, А. Густафссона, Д. Веттштейна и Х. Гауля можно заключить, что подобные мутанты должны возникать примерно в пять раз чаще, чем хлорофилльные мутации, то есть в рассматриваемых нами опытах их должно было быть около 4500. (Примерно такое же число малых мутаций получаем, если будем исходить из расчета, что тысяча транслокаций и инверсий соответствует 2 тысячам хромосомных разрывов, а генные мутации и нехватки, вызывающие незначительный фенотипический эффект, происходят в два-три раза чаще, чем разрывы, вызывающие хромосомные перестройки.)

На каждые 25 хлорофилльных мутаций возникает примерно одна, повышающая продуктивность. Если таково же соотношение между частотой мутаций со слабыми и сильными фенотипическими эффектами, то следует ожидать, что на 4500 первых будет получено (4500 : 25) 180 мутаций второго типа. Это число минимальное, на самом деле мутаций, вызывающих значительные изменения фенотипа, должно быть гораздо больше, как это видно, например, из данных о частоте мутаций, слегка влияющих на скороспелость (А. Густафссон и др., 1960 г.).

Итак, мы должны пересмотреть проблему транслокаций и инверсий,

Локализация 178 случаев мутаций воскового налета в зависимости от типа мутагенных факторов. Обратите внимание на высокую частоту мутантов локуса «i» при облучении нейтронами, а также локуса «g» при облучении рентгеновыми и гамма-лучами (из работы У. Лундквиста и Д. Веттштейна)



206 ибо из числа подобных хромосомных перестроек, возникших в результате воздействия редко ионизирующих излучений, до 80% при переходе в гомозиготное состояние обуславливают высокую продуктивность. Это означает, что на каждые 10 тысяч семей второго поколения от облученных рентгеновыми лучами в дозе 10 тысяч рад мы получаем:

Высокопродуктивных эректоидов	23
Других более или менее четко выраженных высокопродуктивных типов мутантов	13
Высокопродуктивных транслокаций или инверсий	800
Мутаций, слабо повышающих продуктивность	180
	<hr/>
Всего	1016

Таким образом, при облучении рентгеновыми лучами в дозе 10 тысяч рад (или при соответственном облучении нейтронами) во втором поколении на каждые 10 тысяч семей приходится по крайней мере тысяча мутантов с повышенной продуктивностью. В то же время число мутаций, уменьшающих жизнеспособность, будет равно, исходя из тех данных, примерно следующему:

Хлорофилльных мутантов	870
Эректоидных мутантов с пониженной продуктивностью	100
Видимых мутаций других типов с пониженной продуктивностью	410
Транслокаций, снижающих жизнеспособность	200
Мутаций, в незначительной степени снижающих жизнеспособность	4320
Рецессивных мутаций стерильности	870
	<hr/>
Всего	6770

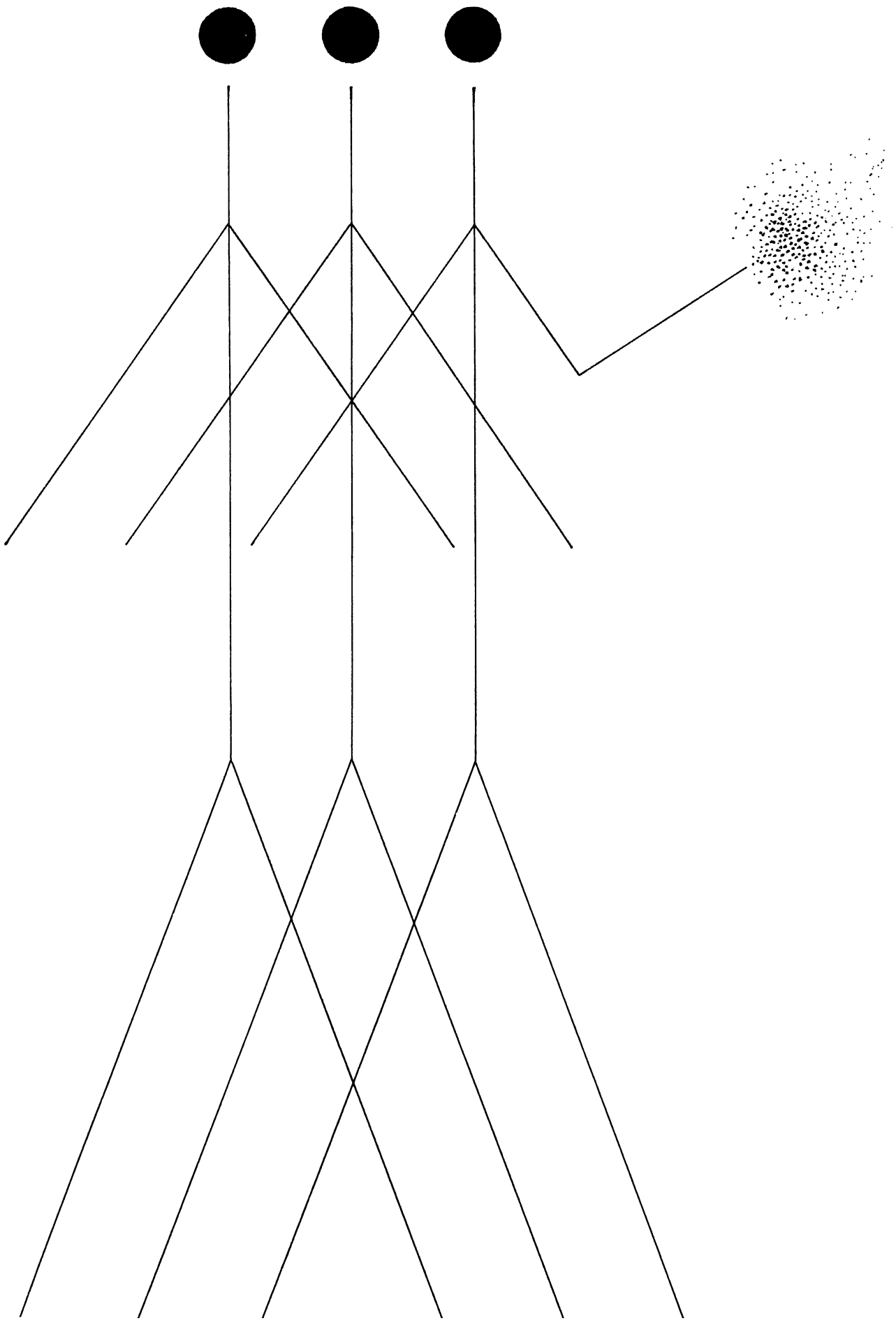
Следовательно, в проанализированных нами сериях опытов при облучении рентгеновыми лучами в дозе 10 тысяч рад (или при облучении эквивалентной дозой нейтронов) по крайней мере одна семья из десяти семей второго поколения будет нести генетическое изменение, обуславливающее повышение продуктивности. И к тому же, что очень важно, это повышение сказывается в оптимальных для исходного сорта условиях среды. Но при этом уменьшение жизнеспособности, летальные и полублетальные изменения происходят у ячменя в шесть-семь раз чаще, чем изменения, повышающие продуктивность.

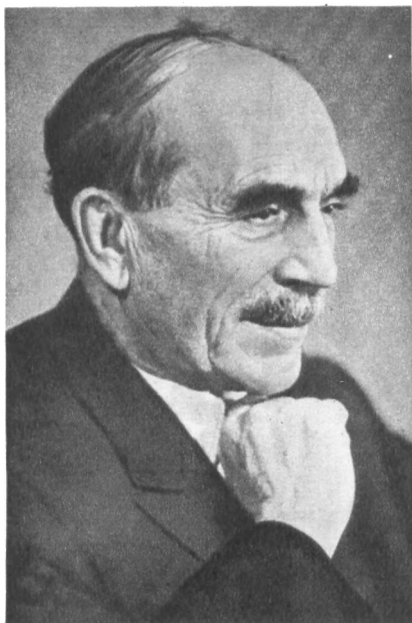
В противоположность общераспространенной точке зрения анализ, подобный проведенному нами, говорит о том, что из каждых восьми генетических изменений одно — возможно, это минимальная цифра — является полезным. Это, конечно, не означает, что одна из каждых восьми мутаций дает начало новому сорту. Точно так же, как при обычной селекционной работе, ставящей целью получить новые генетические комбинации, и в данном случае нужно пройти долгий путь от начальной селекции сотен или тысяч генотипов (или популяций) высокой продуктивности до окончательного выпуска для использования в производстве нового сорта. Однако в отношении некоторых специфических особенностей, таких, как скороспелость или устойчивость к заболеваниям, успех может быть достигнут значительно легче, если разработаны эффективные методы выявления растений нежелательного генотипа. Разработанная Р. Сенгбушем методика оценки лупина по признаку содержания в нем алкалоидов является прекрасным образцом для всех селекционеров-растениеводов. Использование совсем недавно подобного метода Дж. Гладстоном и К. Френсисом (1965 г.) в опытах по индуцированному мутагенезу у австралийского голубого лупина привело к интересным открытиям.

Наконец, хотелось бы сказать еще раз, что селекция растений не является и никогда не была только придатком генетики. Селекция растений представляет собой скорее синтез нескольких биологических наук. Предметом селекции растений является искусственная эволюция сельскохозяйственных растений, изменение их и максимальное приспособление к нуждам и потребностям человека. Такова была, смею утверждать, точка зрения великого Н. И. Вавилова, советского биолога, скончавшегося в 1943 г. Несомненно, что в современном мире, страдающем от недостатка продовольствия, в ближайшие десятилетия плановая селекция, являющаяся разделом генетики, будет играть центральную роль в биологии.

ДОЛЖНО РАЗУМОМ ДОСТИГАТЬ
ПОТАЕННОГО БЕЗМЕРНОГО
МАЛОСТИЮ ВЕЩУ, МЕРЫ,
ДВИЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ
ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ..

Ломоносов





В 1941 Н. Н. Семенов за работы по теории цепных реакций удостоивается Государственной премии, а в 1956 ему (и англичанину С. Н. Хиншельвуду) присуждается Нобелевская премия. Н. Н. Семенов награжден пятью орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени.

Н. Н. Семенов — крупный общественный деятель. В 1960—1963 он председатель Правления Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний. Н. Н. Семенов является иностранным членом Чехословацкой академии наук, Лондонского королевского общества (с 1958), Национальной академии наук США (с 1963) и многих других иностранных академий. Он также доктор *honoris causa* ряда зарубежных университетов и почетный член многих научных обществ.

НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕМЕНОВ (р. 1896) — физик и физико-химик, Герой Социалистического Труда, академик, директор Института химической физики АН СССР, вице-президент АН СССР.

Родился в Саратове в семье служащего. В 1917 окончил Петроградский университет. Семенову было 24 года, когда его назначили заведующим лабораторией электронных явлений Физико-технического института в Ленинграде. В 1931 создается Ленинградский научно-исследовательский институт химической физики, возглавил его Семенов. К тому времени Н. Н. Семенов был уже профессором (с 1928). В 1929 он был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1932 его избирают академиком.

Ряд работ Н. Н. Семенова посвящен молекулярной физике, исследованию электронных явлений, пробую диэлектриков; особенно важное значение имеют труды Семенова в области химической кинетики. Он всесторонне разработал и экспериментально обосновал теорию цепных реакций, тепловую теорию горения и взрывов. В 1934 выходит первое издание известной монографии «Цепные реакции». Годом позже ее перепечатывают в Англии. Монография «О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности», вышла в 1954 (1-е издание). Второе, расширенное издание вышло в 1958 и было переведено во многих странах. Н. Н. Семенов имеет свыше 200 печатных работ.

НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕМЕНОВ

САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ

И ЦЕПНЫЕ

РЕАКЦИИ

В этой статье я взял на себя трудную задачу поведать об истории возникновения и развития большого раздела химии, в котором мне посчастливилось принять активное участие. Статья получилась несколько специальной, но иначе она была бы бессмысленной. Однако я льщу себя надеждой, что читатели, которые не смогут и не захотят вникать в существо вопроса, все же, бегло ее просмотрев, почувствуют, что сделано какое-то большое, настоящее дело.

Октябрьская революция раскрепостила наш народ и дала ему возможность развивать и применять свои творческие силы. До революции, в царской России, положение с наукой было очень тяжелым. Ни одного научно-исследовательского института не было. В Академии наук существовали очень маленькие, плохо оборудованные лаборатории. В основном научная работа сосредоточивалась на ка-

федрах высших школ, где, как правило, условия были крайне скверными. Я хочу рассказать о том, какое положение было в Петербурге с физикой — той областью науки, в которой я тогда работал.

В 1910—1917 гг. в Петербурге минимальные условия для научной работы по физике были созданы только в университете и Политехническом институте — двух лучших учебных заведениях страны. Весь штат каждой кафедры физики состоял не более чем из 10 человек. Большинство преподавателей других высших учебных заведений научной работой не занималось. Поэтому количество активно работающих научных сотрудников-физиков было очень мало; собираясь все вместе на семинары, они могли поместиться в одной небольшой комнате.

Сейчас в Ленинграде есть немало крупнейших, прекрасно оборудованных физических

214 институтов, большие физические отделы в химических и промышленных институтах. Много физиков работает в заводских лабораториях. Думаю, что количество активно работающих физиков в Ленинграде измеряется ныне тысячами, то есть увеличилось примерно в сотни раз. Подобные соотношения, то несколько меньшие, то несколько большие, мы могли бы проследить во всех остальных науках.

Как удалось осуществить этот грандиозный сдвиг за сравнительно небольшой отрезок истории? Решающим было то обстоятельство, что Советское правительство и партия большевиков тотчас после Октябрьской революции поставили как один из главнейших вопросов о быстром развитии науки в стране. И это в годы, когда страна была объята пламенем гражданской войны, народное хозяйство было разрушено, холод и голод царили в городах молодой республики.

В то тяжелое время, в 1918—1920 гг., когда само существование нового общественного строя подвергалось опасности, Советская власть создала в Ленинграде и Москве целый ряд научно-исследовательских институтов, причем в первую очередь не узкоприкладных, а чисто научных — по основным разделам естествознания.

Ленин отчетливо понимал, что надо быстрее всего развивать широкий фронт передового естествознания, которое должно стать теоретической основой развития техники и промышленности будущей великой страны социализма.

Каким даром предвидения, какой мудростью и твердостью надо было обладать, чтобы помимо решения множества частных технических задач, которые ставило перед наукой разрушенное народное хозяйство страны, направить в то тяжелое время немногочисленные силы ученых на создание большой теоретической науки.

По инициативе В. И. Ленина возник ряд институтов, в том числе Физико-технический институт в Ленинграде под руководством А. Ф. Иоффе — замечательного ученого и человека, в значительной мере создателя советской физики. За все времена и у всех народов не было физика, который бы, подобно Иоффе, вырастил такое огромное количество крупных ученых-академиков — Курчатова, Александрова, Харитона и многих других.

Свободный и принципиальный научный дух, научная сплоченность коллектива, стремление к пониманию внутренних причин явлений природы — все это характерно для школы Иоффе.

Ученый должен всегда помнить, что ни чины, ни возраст, ни научные заслуги не должны иметь никакого значения в его научном общении с учениками, как бы молоды они ни были. Он должен говорить с ними как равный с равными. Когда ученики и соратники собираются вокруг тебя, рассказывают о своих успехах и неудачах, советуются с тобой, ты радуешься их достижениям не меньше, чем когда-то своим собственным. Их страсть вызывает твою собственную страсть к науке, ты чувствуешь, что нужен им, и гордишься успехами коллектива, который ты вместе с ними создал за долгие годы жизни.

Настоящий ученый испытывает подлинную радость, если он сумел создать и воспитать большой, дружный творческий коллектив, вырастить крупных ученых-руководителей (особенно таких, которые во многом превосходят тебя), и они, реализуя свои новые идеи, создают смежные с твоей областью новые разделы, превращая начатое тобой дело в мощный фронт науки.

Советская власть открыла перед учеными широкие возможности для проявления научной и организаторской инициативы. Они увидели необъятные горизонты применения науки на благо страны, на благо людей. Совсем молодые люди ставились во главе отделов и лабораторий, а иногда и целых институтов.

Мне было 24 года, когда я стал заведовать лабораторией электронных явлений в Физико-техническом институте, и 26 лет, когда меня назначили заместителем директора этого института.

Самая трудная задача того времени — быстрое увеличение кадров ученых, их было столь мало, что они никак не могли бы обеспечить успех большого дела. И поистине чудесно, как в течение менее чем десяти лет эту проблему удалось решить.

В 1920 г. все еще среди голода и холода начала восстанавливаться работа вузов, и со всей страны, из самых разнообразных слоев населения потянулась в институты и университеты влюбленная в науку, способная молодежь. Из этой-то молодежи мы отбирали наиболее талантливых юношей и обычно уже со второго курса они, параллельно с учебной, начинали работать в качестве младших научных сотрудников в исследовательских лабораториях. Приведу собственный пример.

В 1921—1924 гг. моя лаборатория в Физико-техническом институте состояла сплошь из таких студентов.

В 1931 г. был создан под моим руководством новый институт, и я его смог целиком укомплектовать своими учениками. Странно

подумать, что в 1920 г., получив приказ организовать лабораторию в Физико-техническом институте, я был один, а всего через десять лет, в 1931 г., у меня уже был коллектив из 50 подготовленных мною активных, подлинных энтузиастов науки. И так было в то время повсюду.

Все мы, советские ученые, с радостью и гордостью чествуем 50-летие Октябрьской революции, положившей начало созданию первого социалистического государства.

* *
*

Наши работы в области химической кинетики начались примерно в 1924 г. в руководимой мной лаборатории электронной химии Ленинградского физико-технического института. Первыми моими сотрудниками были тогда совсем еще молодые люди, ныне академики — Кондратьев и Харитон. Наша группа физиков пополнилась молодежью и к 30-м годам выросла в довольно большой коллектив Института химической физики АН СССР.

В 1925 г. мы занялись проблемой самовоспламенения способных к горению и взрыву газов. С точки зрения химической кинетики эта проблема была почти совершенно не тронута. Во всяком случае она никогда не была в центре научного внимания. Такое положение, вероятно, и определило наш быстрый успех. В течение 5—7 лет мы создали основы теории самовоспламенения и установили, что оно бывает только двух типов: 1) теплое самовоспламенение и 2) цепное самовоспламенение (разветвленные цепные реакции).

Тепловое самовоспламенение является следствием выделения тепла при экзотермических реакциях и возникновения тепловой лавины, связанной с тем, что выделяющееся тепло, а отсюда повышение температуры газа убыстряет скорость реакции, повышение скорости реакции, в свою очередь, ведет к увеличению выделения тепла и к дальнейшему повышению температуры и т. д.

Цепное самовоспламенение также является следствием выделения энергии при химических реакциях, но не в виде тепла, а до того, как эта энергия переходит в тепло. Эта выделяющаяся энергия приводит к размножению весьма химически активных свободных атомов, радикалов и электронно-возбужденных частиц, то есть к развитию так называемой цепной лавины. Разогрев газа является следствием, а не причиной самовоспламенения.

Тепловому взрыву всегда предшествует реакция, идущая хотя и с небольшой, но вполне измеримой скоростью. Для цепного воспламенения, наоборот, характерно практиче-

ски полное отсутствие измеряемой реакции чуть ниже предела с очень резким увеличением скорости до очень больших величин при переходе через предел. В отличие от теплового взрыва цепное воспламенение может происходить при низких температурах практически в изотермических условиях.

Все последующие исследования у нас и за границей неизменно подтверждали эти выводы и не только качественно, но и количественно. Даже когда были открыты ядерные взрывы, то они тоже оказались этих же двух типов — термоядерные и разветвленно-цепные. Формально теории оказались очень близкими, хотя, конечно, количественно иными.

ТЕПЛОВОЕ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ

Первое направление (тепловой взрыв) началось с создания количественной теории с последующей проверкой опытом. Очень любопытна история создания у нас тепловой теории взрыва. Дело в том, что наряду с первыми работами по химической кинетике в 1923—1926 гг. Вальтер и я занимались проблемой пробоя диэлектриков. В результате этих работ мы сформулировали тепловую теорию пробоя как следствие нарушения теплового равновесия между выделяющимся джоулевым теплом и теплом, отводимым из тела диэлектрика к электродам.

Счастливая мысль о том, что все выводы тепловой теории пробоя применимы и к теории самовоспламенения, или, что то же — самопроизвольного взрыва — пришла к нам в 1927 г. Здесь выделение тепла связано с химической реакцией, пусть очень медленной: $Q_1 = q_1 W$, где q_1 — тепловой эффект реакции, W — скорость реакции в расчете на весь объем сосуда v . Таким образом, $W = v\omega$, где ω — скорость реакции в единице объема. В простейшем случае

$$\omega = k_0 a^n e^{-E/RT},$$

где k_0 — предэкспонент константы скорости реакции, E — энергия активации, $n = 1$ для моно- и $n = 2$ для бимолекулярных реакций, a — число исходных молекул в единице объема (если ω выражать в числе прореагировавших за единицу времени молекул). Итак, величина Q_1 быстро растет с начальной температурой газа T_0 по экспоненциальному закону $e^{-E/RT}$. Теплоотвод Q_2 осуществляется через стенки сосуда. В случае конвективной теплоотдачи имеем

$$Q_2 = \kappa (T - T_0) s,$$

где T — температура разогреваемого реакцией газа, T_0 — температура стенок, s —

216 поверхность сосуда, а κ — коэффициент теплопередачи.

Вид этой формулы сохраняется и при кондуктивной передаче тепла.

Изобразим на рис. 1 кривую Q_1 как функ-

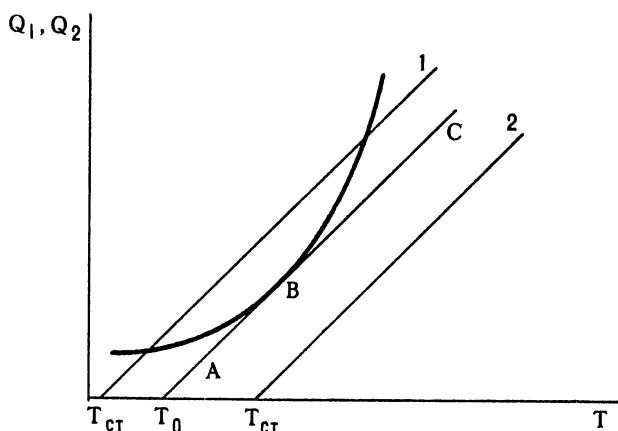


Рис. 1. Зависимость Q_1 и Q_2 от T

цию температуры T внутри сосуда, а прямые $Q_2—T$ при разных температурах стенок $T_{ст}$. Мы видим, что при $T_{ст} < T_0$ (прямая 1) тепловой взрыв невозможен и дело ограничивается тем, что газ внутри сосуда приобретает температуру лишь немногим (на несколько градусов) более высокую, чем температура стенок ($T_{ст}$). При $T_{ст} > T_0$ (прямая 2) взрыв всегда будет возникать и стационарное состояние невозможно. Прямая теплоотвода ABC, касательная к кривой Q_1 теплоприхода в точке B, отвечает некоторой начальной температуре стенки T_0 и разграничивает эти две области. Следовательно, T_0 является температурой теплового самовоспламенения. В точке B, где прямая теплоотвода касается кривой теплоприхода, соблюдаются два условия:

$$Q_1 = Q_2 \text{ и } \frac{dQ_1}{dT} = \frac{dQ_2}{dT} .$$

Решая эти уравнения, получаем критическое условие взрыва (1):

$$\delta_{кр} = \frac{qvk_0 a^n E e}{NRT_0^{2+n}} e^{-E/RT_0} = 1, \quad (1)$$

где q — молярная теплота реакции.

Если $\delta_{кр} \gg 1$, взрыв всегда будет иметь место; если $\delta_{кр} \leq 1$ — взрыва не будет. Формула (1) дает возможность определять T_0 — температуру воспламенения. Как мы видим, она не является константой, а зависит от условий опыта, то есть от формы, размеров сосуда, давления смеси, теплоотдачи и кинетического закона реакции. Выражение (1) пока-

зывает, что есть не только критическая температура T_0 , но и критическое давление при заданной температуре, критический диаметр воспламенения при заданных температуре и давлении, критическое значение теплопередачи и т. д.

Для случая кондуктивной теплопередачи и цилиндрического сосуда вместо коэффициента κ должен войти член $4\lambda/r$, (где λ — коэффициент теплопроводности), а вместо $\frac{v}{S} - \frac{r}{2}$. Подставляя значения λ , r , E и q , Франк-Каменецкий в нашем институте вычислил температуры самовоспламенения азометана, метилнитрита и закиси азота, оказавшиеся очень близкими к экспериментально определенным температурам самовоспламенения.

Так как $a \simeq \frac{p}{T} \cdot 10^{18}$, мы можем записать уравнение (2):

$$\delta_{кр} = \frac{qk_0 E v p^n \cdot 10^{18}}{N R \gamma_s T_0^{2+n}} e^{-E/RT_0} = 1. \quad (2)$$

Для данного сосуда и данного коэффициента теплопередачи κ мы получаем следующую связь между критическими значениями T_0 и p :

$$\lg \frac{p}{T_0^{1+2/n}} = \frac{A}{T_0} + B. \quad (2')$$

Константа B определяется кинетическими и тепловыми константами, формой и размером сосуда; величина $A = \frac{0,217}{n} E$. В таком виде теория была сформулирована в моей статье в 1928 г. На ряде примеров у нас и за границей было показано, что, определяя температуры самовоспламенения, можно рассчитать энергию активации реакции, пользуясь формулой (2'). Совпадение с опытом оказалось очень хорошим. Все это подтвердило количественную достоверность тепловой теории взрыва и показало, что она правильно учитывает роль кинетики в процессах самовоспламенения.

До сих пор мы ограничивались простыми моно- и бимолекулярными реакциями. Теория легко может быть обобщена на более сложные кинетические законы, например на автокаталитические реакции, на цепные реакции с неразветвленными цепями и т. п. В основном дело тут сводится к учету более сложных кинетических законов.

Экспериментально нами был изучен также вопрос о течении теплового взрыва во времени. Естественно, что тепловой взрыв наступает не мгновенно, а после некоторого периода индукции (обычно порядка долей секунд или секунд для реакций неавтокатали-

тического типа). В случае, когда температура или соответственно давление теплового самовоспламенения много больше критического и мы можем пренебречь теплоотдачей, взрыв всегда будет происходить, и для периода индукции t_i из теории получается выражение $t_i = t_r \frac{CRT_0^2}{Eq}$, находящееся в хорошем совпадении с опытом (где t_r — время реакции). Однако если для какого-либо горючего газа с $E = 40$ ккал/моль при температуре $T_0 = 600^\circ K$ период индукции t_i будет равен 1 сек, то при $T_2 = 300^\circ K$ величина t_i будет в $e^{E/R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ раз больше, то есть время наступления теплового взрыва достигнет миллионов лет. Конечно, это все равно, как если бы взрыв был невозможен. Однако если температура будет не 300, а $450^\circ K$, то взрыв произойдет реально спустя 14 часов. Прогнозирование больших периодов индукции при больших временах релаксации, особенно для твердых взрывчатых веществ, имеет практическое значение. При заданных условиях эти весьма длинные периоды индукции на практике сохраняют точно свое значение.

Заметим, что до середины 20-х годов проблемы самовоспламенения, так же как и распространение пламени, разрабатывались взрывниками, теплотехниками и частично физиками и механиками. Эти проблемы со времен Вант-Гоффа мало интересовали физико-химиков. Химическая кинетика, как правило, не учитывалась в проблемах горения. Взамен ее вводилось понятие температуры самовоспламенения как некоей константы каждого горючего вещества. Мы показали выше, что температура самовоспламенения отнюдь не является константой вещества. В наших работах в основу явления горения была положена химическая кинетика, осложненная выделением тепла и наличием обратной связи между ростом температур и кинетикой. Это был первый случай более широкого класса явлений, ныне называемого макрокинетикой. Именно на этой основе удалось в дальнейшем превратить не только теорию самовоспламенения, но и теорию различных видов распространения пламени в одну из глав химической кинетики. На этом принципе были заложены в дальнейшем основы теории распространения пламени (Б. Льюис, Я. Б. Зельдович, Д. А. Франк-Каменецкий, Н. Н. Семенов и другие), концентрационных пределов воспламенения и распространения нормального пламени (Я. Б. Зельдович), некоторых вопросов турбулентного распространения пламени (в частности, К. И. Щелкин), вопросов концентрационных пределов дето-

нации, горения порохов (А. Ф. Беляев, О. И. Лейпунский) и т. д. В последние годы у нас была развита теория самовоспламенения конденсированных взрывчатых веществ.

ЦЕПНОЕ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ

В противоположность тепловому самовоспламенению здесь дело началось не с теории, а с эксперимента. В 1926 г. Харитон, занимаясь вопросами тушения хемилюминесценции паров фосфора при низких давлениях кислорода, неожиданно обнаружил, что при некотором довольно низком давлении кислорода, ниже некоторого предельного давления p_1 , пары фосфора не воспламеняются. Давление паров фосфора (над кусочком фосфора, лежащим в сосуде при комнатной температуре) и кислорода было столь низким (в зависимости от условий опыта 0,1—0,001 мм рт. ст.), что не могло быть и речи о тепловом воспламенении. Это, впрочем, было показано и прямым экспериментом.

Мало того, горящие при $p > p_1$ пары фосфора сразу потухают, как только давление кислорода в результате окисления фосфора падает до давления чуть меньше p_1 , хотя кислород и фосфор еще остаются в приборе. Если при $p < p_1$ добавить инертный газ — аргон, то возникает вспышка. Предельное значение парциального давления кислорода p_1 в присутствии аргона уменьшается.

Эти наблюдения в корне противоречили тогдашним представлениям, поскольку скорость реакции всегда падает плавно с расходом компонентов и, казалось, нет никаких оснований для скачкообразной остановки реакции.

Насколько парадоксальными казались тогда эти результаты, видно из критической заметки знаменитого ученого Боденштейна, возглавлявшего мировую химическую кинетику того времени. Он писал, что опыты Харитона ошибочны, и утверждал, что вследствие особенностей установки Харитона имел место диффузионный поток паров окислов фосфора из реакционного сосуда. Этот поток откачивал из сосуда кислород, и когда манометр Мак-Леода (отдаленный от сосуда ловушкой, охлаждаемой жидким воздухом) показывал давление p_1 , на самом деле никакого кислорода в реакционном сосуде не было. Далее он писал, что Харитон и Вальта в своей статье пытаются восстановить представления о существовании так называемых «ложных» равновесий, ошибочность которых была твердо доказана еще в начале XX века многими тщательными исследованиями,

218 в том числе его собственными. Поэтому эта статья также неправильна, как и все более ранние статьи такого рода. В заключение Боденштейн не советует никому заниматься этими безнадежными вопросами.

Критика Боденштейна показала моим коллегам по Физико-техническому институту и даже сотрудникам моей лаборатории убедительной. И мне пришлось пережить немало неприятных часов. Не теряя времени, я занялся проверкой и продолжением работы Харитона, причем с некоторым численным уточнением подтвердил его результаты.

Я поставил ряд опытов, в которых возможность диффузионного потока была полностью исключена, и несмотря на это сохранились все необычайные явления, констатированные Харитоном и Вальта.

Таким образом, с несомненностью было доказано существование одного из весьма удивительных явлений природы — наличия резкого перехода от практически полной инертности вещества к бурной его реакции при ничтожном изменении его плотности. Напомним, что в наше время наличие подобного же явления позволяет получить энергию в атомных котлах и использовать атомные бомбы.

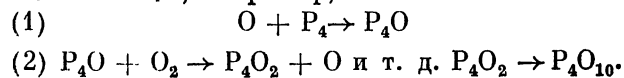
Вернемся, однако, к концу 1926 г. и к безобидным опытам с фосфором. В моей работе я тщательно количественно изучал различные закономерности явления нижнего предела по давлению, зависимость его от разбавления инертным газом, давления паров фосфора, температуры. Совместно с Шальниковым мы открыли еще одно удивительное явление — наличие критических размеров сосуда. Оказалось, что критическое давление изменяется обратно пропорционально квадрату диаметра d сферического сосуда. Тут мы вообще перестали что-либо понимать. Реакционная способность фосфора, оказывается, определяется не только плотностью, но и таким, казалось бы, совершенно посторонним параметром, как объем или размеры реакционного сосуда. Тогда мы попытались суммировать все полученные нами данные в виде эмпирического критерия самовоспламенения паров фосфора (подобно тому, как это было изложено выше для теплового взрыва).

Критерий этот выглядел так:

$$d^2(O_2)(P_4) \left[1 + \frac{(A)}{(P_4) + (O_2)} \right] = C. \quad (3)$$

Здесь A — аргон, круглыми скобками обозначены парциальные давления соответствующих газов. Величина константы C оказалась для цилиндрических сосудов примерно равной 10^{-3} , если давление выражать в мм рт. ст., а диаметр сосуда d — в см.

Сперва мы предположили, что реакция окисления фосфора идет как цепная реакция Боденштейна с чередованием активных частиц (в данном случае бирадикалов) атомов O и P_4O , например, по схеме:



Окислы P_4O_2 (вероятно, тоже бирадикалы) быстро окисляются далее до P_4O_6 и P_4O_{10} с большим выделением энергии. Уже на этом этапе мы ввели гипотезу, которая отсутствовала у Боденштейна. Мы предположили, что активные частицы, например атомы O , могут гибнуть на стенке сосуда, адсорбируясь ею (с последующей гетерогенной реакцией, например, $O + O \rightarrow O_2$). Тогда левая часть эмпирического выражения оказывается пропорциональной длине цепи ν , то есть числу элементарных реакций (1) и (2) на пути от зарождения цепи до гибели ее на стенке. В 1928 г. Трифонов у нас в лаборатории прямым опытом доказал, что и в фотохимической цепной реакции $H_2 + Cl_2$ при давлении ≈ 20 мм рт. ст. цепи действительно обрываются практически только на стенках. Скорость реакции, а значит и длина цепи в этом случае оказались пропорциональными d^2 .

Но такие неразветвленные реакции идут с постоянной скоростью $w_0\nu$, где w_0 — число ежесекундно зарождающихся первичных радикалов P_4O или атомов O . Их число, как и длина цепи, плавно меняется с давлением и, следовательно, такое предположение никак не объясняет наличие нижнего предела по давлению кислорода $(O_2)_1 = p_1$.

И вот здесь нас осенила догадка.

А что, если наряду с неразветвленными цепями Боденштейна (рис. 2) существует



Рис. 2. Схематическое изображение неразветвленной цепной реакции

и разветвление цепи (рис. 3 — редкие разветвления и рис. 4 — сплошь разветвленные

медленной (при малом w_0) реакции к бурной реакции цепного воспламенения.

Так как для каждого данного исходного вещества величина δ постоянна, то условие $\nu = C$ есть условие воспламенения, что и следовало доказать.

Неясным оставался механизм разветвлений. Однако вскоре Лейпунский пропустил поток медленных электронов сквозь горячие при низких давлениях пары фосфора и показал, что электроны при этом значительно увеличивают свою кинетическую энергию (вплоть до $10eV$, то есть вплоть до энергий, почти вдвое превышающих энергию диссоциации кислорода на атомы). Отсюда мы сделали заключение, что в ходе окисления P_4O_2 до P_4O_{10} возникают электронно-возбужденные частицы, способные при соударении с молекулой O_2 вызвать диссоциацию последней на два атома, что и приводит к энергетическому разветвлению цепи. Моя работа была опубликована в 1927 г. Почти тотчас я получил письмо от Боденштейна, где он снимал свои возражения и признал наше открытие, а вскоре на съезде электрохимиков сделал это публично. Я очень благодарен профессору Боденштейну за его критику, без которой мы вряд ли продолжили бы работу Харитона, и за дальнейшую его систематическую поддержку моих работ в этой области.

А. Ф. Иоффе и все мои коллеги по Ленинграду признали наши работы и поздравили с открытием.

В 1928 г. я сообщил о предварительных результатах Рябинина и моих по цепному воспламенению паров серы в кислороде, где были получены результаты, аналогичные опытам по воспламенению фосфора, и Загулина по цепному воспламенению смесей $H_2 + O_2$ и $CO + O_2$ (в последних двух случаях нижний предел p_1 смеси имел место лишь при температуре выше некоторой критической, ниже которой всякое воспламенение исчезало).

В 1928 г. были опубликованы первые результаты Хиншельвуда и Томпсона по изучению так называемого верхнего предела при окислении смесей водорода с кислородом. Поразительным образом самовоспламенение не происходило при давлениях смеси, больших, чем некоторое предельное значение p_2 , причем давление p_2 довольно быстро падало с уменьшением температуры. Соединяя данные Загулина по нижнему пределу с данными Хиншельвуда по верхнему пределу, можно было нарисовать в координатах давление — температура область самовоспла-

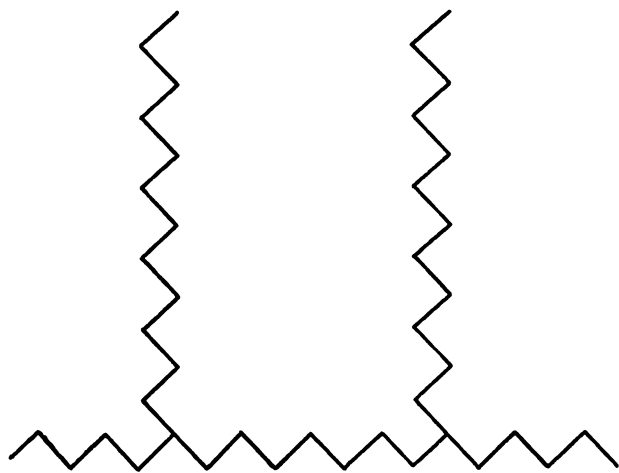


Рис. 3. Схематическое изображение цепной реакции с редкими разветвлениями

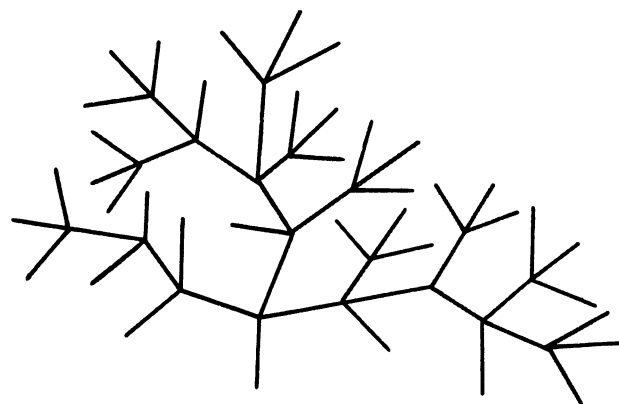


Рис. 4. Схематическое изображение сплошь разветвленной цепной реакции

цепи). Иначе говоря, пусть имеется некоторое математическое ожидание δ того, что в среднем на каждом звене цепи возникает один новый атом O за счет энергии окисления P_4O_2 до P_4O_{10} . Если разветвления редки, то δ — малая дробь. Тогда, если $\nu\delta = 1$, то каждый акт обрыва цепи будет компенсироваться принудительным возникновением одной новой цепи вследствие акта разветвления. В случае же $\nu\delta > 1$, например $\nu\delta = 2$, количество цепей будет автоматически нарастать во времени и произойдет воспламенение. Таким образом, условие $\nu\delta = 1$ и является критерием перехода от ничтожно

менения в виде полуострова, заканчивающегося острым мысом (рис. 5). В противополо-

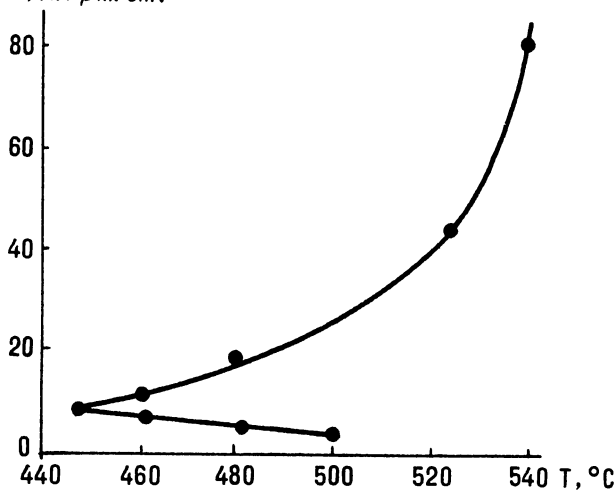


Рис. 5. Область воспламенения водорода

ложность нижнему пределу верхний предел, если он расположен не слишком близко к мысу, не зависит от размеров и состояния стенок сосуда. Хиншельвуд также обнаружил очень сильное действие на величину p_2 инертного газа, который снижал парциальное давление смеси $H_2 + O_2$ на верхнем пределе. Уменьшение этого парциального давления оказало близким к парциальному давлению инертного газа, так что по общему давлению верхний предел почти не смещался. Заслуга Хиншельвуда заключалась в том, что он интерпретировал явление верхнего предела в рамках представлений о разветвленных цепных реакциях. Он предположил, что обрыв при больших давлениях определяется тройным соударением активной частицы с молекулой кислорода и любой молекулой M , в частности инертного газа, а разветвление, так же как и вблизи нижнего предела, определяется двойным соударением активной частицы с кислородом. Но в таком случае при росте общего давления смеси обрыв цепи будет возрастать пропорционально величине $(O_2)(M)$, а разветвление — пропорционально (O_2) , и при некотором общем давлении p_2 обрыв станет равным разветвлению. При $p > p_2$ самовоспламенение окажется невозможным. Температурная зависимость предельного значения p_2 связана с энергией активации процесса разветвления, так как обрыв цепи, происходящий при тройных соударениях, идет практически без всякой энергии активации.

Химический механизм реакции окисления

водорода стал известен лишь после того, как Льюис представил свою знаменитую схему окисления водорода. Оказалось, что разветвление связано с реакцией атома H с кислородом: $H + O_2 \rightarrow OH + O$ с последующей быстрой реакцией $O + H_2 \rightarrow OH + H$, а обрыв в объеме — с реакцией $H + O_2 + M \rightarrow HO_2 + M$. В этих условиях HO_2 является малоактивным радикалом, не способным продолжать цепь. Для многих реакций, происходящих при относительно низких температурах, где играет существенную роль наличие атомов кислорода, возможен обрыв цепи по реакции $O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$, как показали Хиншельвуд и Дальтон.

Учитывая, что обрыв цепей может происходить как на стенке, так и в объеме (при тройных соударениях), мной в начале 30-х годов была дана количественная теория всей области самовоспламенения.

В 1929 г. мной и моими сотрудниками было показано, что аналогичный полуостров воспламенения имеет место в реакции $CO + O_2$. Подобные же области цепного самовоспламенения характерны и для многих других реакций окисления, например, окисления фосфина и силана.

В начале 1928 г. мной была опубликована работа о двух типах самовоспламенения. В ней впервые была дана изложенная выше теория теплового воспламенения и представлены первоначальные соображения о цепном воспламенении и развитии цепной лавины.

Что касается теории цепной лавины, то я ее здесь изложу в том виде, который был дан нами спустя несколько лет.

Нетрудно видеть, что при наличии одного типа активных частиц (атомов или радикалов) кинетическое уравнение, определяющее их концентрацию n , примет вид:

$$\frac{dn}{dt} = w_0 + (f - g)n, \quad (4)$$

где $f n$ — скорость реакции разветвления, $g n$ — скорость реакции обрыва цепи, а w_0 — число ежесекундно первично создаваемых в результате теплового движения активных центров. Заметим, что при постоянных концентрациях исходных газов или в начале реакции, когда выгоранием можно пренебречь, f и g постоянные величины. При низких давлениях, когда гибель активных центров определяется захватом их стенкой сосуда, величина g (при вероятности ϵ захвата стенкой, равной 1) для цилиндрических сосудов определяется уравнением:

$$g = \frac{25,2 D_0}{d^2 p},$$

где D_0 — коэффициент диффузии активных центров при $p = 1$ мм рт. ст., а d — диаметр сосуда. При очень малых значениях ε имеем $g = \frac{\varepsilon u}{d}$, где u — тепловая скорость активных частиц. Значения g для промежуточных случаев могут быть найдены из работ Льюиса и моих. Заметим, что, обрабатывая стенки стеклянного или кварцевого реакционного сосуда различными веществами или иными способами, можно в широком интервале (до 100 раз) менять значение предела p_1 при данном диаметре.

Как правило, во всех цепных реакциях мы имеем дело не с одним, а с несколькими, минимум с двумя, активными центрами (например, P_4O и O). И соответственно не с одним, а с двумя или несколькими дифференциальными кинетическими уравнениями. Однако в большинстве случаев одна из этих активных частиц реагирует значительно медленнее, чем другие, и это позволяет с известной степенью приближения свести систему дифференциальных уравнений к одному дифференциальному уравнению, описывающему изменение концентрации этого наиболее медленного центра, концентрация которого значительно больше других. Конечно, при этом константа f делается сложной величиной, включающей константы скорости реакций всех центров. Интегрируя уравнение (4), получаем:

$$n = \frac{w_0}{f-g} (e^{(f-g)t} - 1) = \frac{w_0}{\varphi} (e^{\varphi t} - 1) \quad (5)$$

при $(f-g) = \varphi > 0$,

соответственно скорость реакции равна:

$$w = \frac{k(A)_0 w_0}{\varphi} (e^{\varphi t} - 1), \quad (6)$$

где $(A)_0$ — концентрация исходного вещества.

$$n = w_0 t \text{ при } (f-g) = \varphi = 0; \quad (7)$$

$$n = \frac{w_0}{g-f} (1 - e^{-(g-f)t}) \text{ при } (f-g) = \varphi < 0. \quad (8)$$

Равенство $f = g$ есть не что иное, как критерий, определяющий предел. При $f > g$, как мы видим, концентрация активных центров экспоненциально растет со временем. По этому же экспоненциальному закону растет и скорость реакции $w_t = kn$ (где $1/k$ — среднее время вступления активного центра в реакцию с исходной молекулой). Количество вещества x , прореагировавшего к моменту t , также экспоненциально растет со временем:

$$x_t = \int_0^t w_t dt.$$

В случае редких разветвлений цепи справедливо неравенство $k \gg f$, а для сплошь разветвленной цепи имеем $k = f$. Далее мы будем рассматривать развитие цепной лавины при давлениях, лишь немного превышающих нижний предел, поскольку при этих низких давлениях из-за большой теплопроводности разогрев смеси в ходе реакции мал.

Вблизи нижнего предела $\frac{g}{f} = \frac{p_1}{p_0}$, где p_1 — давление нижнего предела, а p_0 — исходное давление смеси выше нижнего предела.

Из формулы (5) следует, что причиной цепной лавины является быстрое размножение реакционно способных активных центров. Даже при низких давлениях, превышающих всего в 1,5—2 раза нижний предел, величина f очень велика и равна приблизительно от нескольких десятков до нескольких сотен сек^{-1} . Таким образом, развитие реакции во времени протекает в течение десятых и даже сотых долей секунды.

При $f < g$ скорость реакции всегда меньше величины $w_0 t$ и вскоре достигает стационарного (при отсутствии заметного выгорания) значения $w = kn = \frac{kw_0}{g-f}$ или (при сплошь разветвленных цепях, когда $k \approx f$):

$$w = \frac{w_0}{(g/f - 1)} = \frac{w_0}{p_1/p_0 - 1}, \quad (9)$$

где $p_0 < p_1$ (при $f < g$).

Отсюда характерным для разветвленных реакций, протекающих под пределом, является быстрый, отнюдь не соответствующий обычным реакциям, рост скорости с приближением к пределу (рис. 6). При $p_1/p_0 = 1$

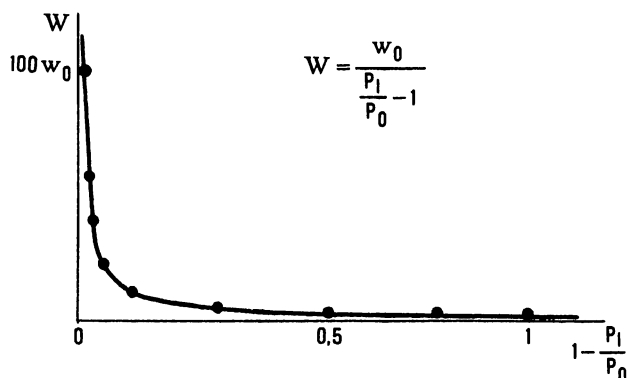


Рис. 6. Зависимость w от p_1/p_0 (случай $f < g$)

скорость, конечно, не стремится к бесконечности, но достигает значений $kw_0 t$, то есть начинает расти пропорционально времени.

222 Отметим, что чем ближе мы находимся к пределу, тем больше время достижения стационарной скорости. Однако даже при

$$\frac{\xi}{f} - 1 = 0,01,$$

то есть когда значение p_0 будет всего на 1% меньше p_1 , скорость реакции практически будет достигать стационарности спустя одну секунду.

Для описания степени выгорания по ходу всего процесса необходимо учитывать зависимость концентрации исходного вещества и величины φ от времени. Можно показать, что в этом случае степень выгорания η зависит от времени следующим образом:

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{w_0}{(A)_0} + k(1 - \eta)\xi,$$

где $\xi = 2\eta + 2 \frac{p_1}{p_0} \ln(1 - \eta)$. (10)

Пренебрегая при больших выгораниях величиной $\frac{w_0}{(A)_0}$, можно рассчитать, например, численным интегрированием или методом конечных разностей зависимость η от t . В этом случае остается неопределенной постоянная интегрирования, так как мы не фиксировали время, после которого можно пренебречь w_0 . Однако при малых η можно пренебречь выгоранием и начальный участок кривой $\eta = f(t)$ можно рассчитать из уравнения

$$\eta = \frac{1}{(A)_0} \Delta(A) = \frac{1}{(A)_0} \int_0^t w dt,$$

подставив w из уравнения (6).

На рис. 7 приведены построенные таким

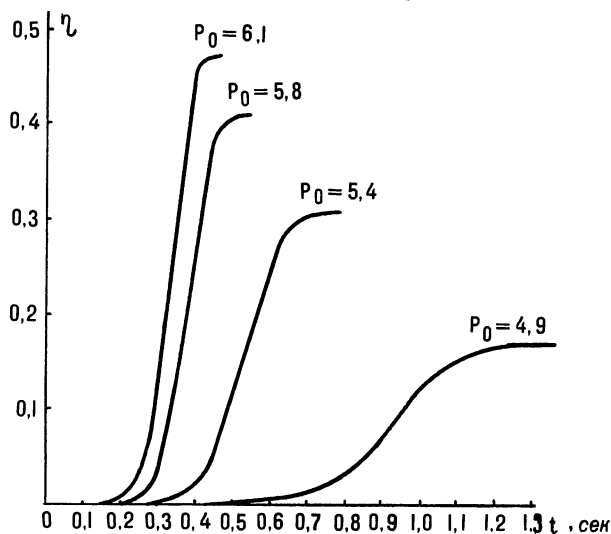


Рис. 7. Зависимость относительного выгорания η от t для смеси $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ при 485°C , $p_1 = 4,5$ мм рт. ст. и различных начальных давлениях p_0

образом кривые зависимости η от t при различных p_0 при 485°C и $k_0 = 3 \cdot 10^{-22}$ см³ молек⁻¹ сек⁻¹.

Первая экспериментальная проверка теории лавинообразного процесса цепного воспламенения была осуществлена у нас в институте Ковальским на примере окисления гремучей смеси ($2\text{H}_2 + \text{O}_2$) при 485° и разных отношениях p_1/p_0 (рис. 8). На ранних стадиях реакции, когда можно было пренебречь выгоранием и считать f постоянной величиной, была определена величина f и, следовательно, константа разветвления. На рис. 8 мы видим,

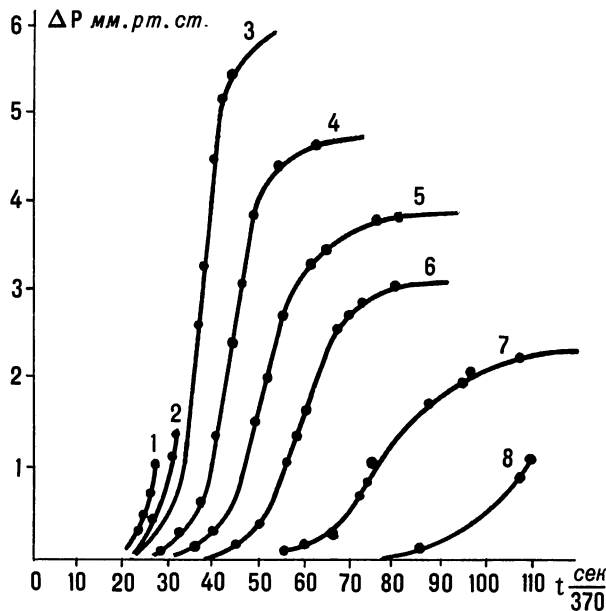
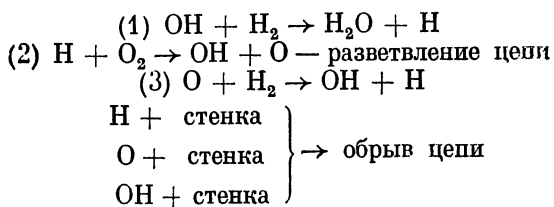


Рис. 8. Кинетика окисления смеси $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, полученная экспериментально при 485°C , $p_1 = 4,5$ мм рт. ст. и различных начальных давлениях p_0 : 1—8,2; 2—7,8; 3—7,4; 4—7,1; 5—6,8; 6—6,4; 7—6,1; 8—5,8

что вплоть до 20—30% превращения опыт подтверждает возможность такого пренебрежения и дает экспоненциальное нарастание лавины. Кривые на больших глубинах превращения искажаются вследствие изменения f из-за уменьшения концентраций исходных газов. Полный анализ кривых развития цепной лавины был затруднен отсутствием хороших данных о химическом механизме реакции. Экспериментальная проверка теории существенно облегчилась после того, как Льюис предложил схему реакций окисления водорода.

Применительно к давлению вблизи нижнего предела эту схему окисления водорода, в дальнейшем строго экспериментально проверенную, можно записать в следующем виде:



Зарождение цепей предполагается происходящим по реакции $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{OH}$. Наименьшей (особенно в избытке водорода в смеси) является скорость реакции $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O} - 17 \text{ ккал}$. Это единственная эндотермическая стадия. Отсюда можно было заключить, что в смесях с избытком водорода, начиная со стехиометрической, по ходу реакции наибольшей концентрации будут достигать атомы H. Пользуясь методом квазистационарных концентраций для изменения концентрации H во времени, получаем выражение:

$$\begin{aligned}
 \frac{d[\text{H}]}{dt} &= w + k_0(2a_2 - a_2')[\text{H}] = \\
 &= w_0 + 2a_2(1 - a_2'/2a_2)[\text{H}]. \quad (11)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Здесь } f &= 2a_2 = 2k_2[\text{O}_2]; \quad g = a_2'; \quad n = [\text{H}]; \\
 (1 - a_2'/2a_2) &= (1 - p_1/p_0).
 \end{aligned}$$

Мы можем записать также дифференциальное уравнение для скорости расходования кислорода:

$$\frac{d[\text{O}_2]}{dt} = w_0 + k_2[\text{O}_2][\text{H}]. \quad (12)$$

Решая систему дифференциальных уравнений (11) — (12), можно рассчитать весь ход реакции от начала и до полного выгорания. Этот расчет привел нас к поразительному на первый взгляд выводу: в сплошь разветвленных цепях концентрации активных частиц должны достигать десятков процентов от концентрации исходных веществ, если давление хотя бы на 30—50% превышает предельное значение. В частности, при $p_1/p_0 = 0,5$ концентрация активных частиц при израсходовании половины исходного вещества A должна достигнуть 60% от израсходованного вещества. Соответственно при $p_1/p_0 = 0,25$ максимальное содержание активных центров достигает 80% от израсходованного вещества A.

На рис. 9 сплошная кривая дает зависимость ξ от η , рассчитанную по уравнению (10) для реакции горения водорода при 600°C , точки представляют собой экспериментальные данные, полученные в тех же условиях с помощью метода ЭПР.

При пренебрежении обрывом цепей результат трех элементарных реакций Льюиса

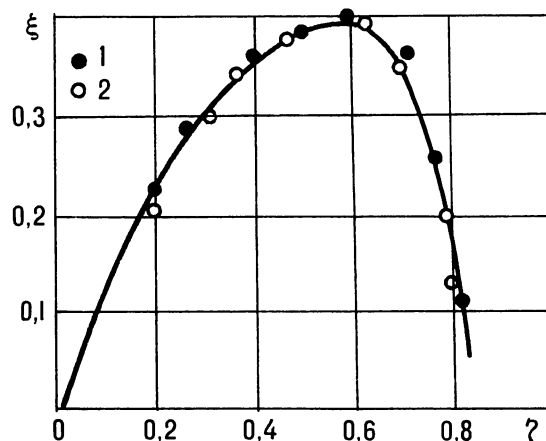


Рис. 9. Зависимость ξ от η , полученная расчетным путем по уравнению (10) (сплошная кривая) и экспериментально методом ЭПР для смесей: 1 — $5\text{H}_2 + \text{O}_2$; 2 — $4\text{H}_2 + \text{O}_2$

может быть выражен следующим стехиометрическим соотношением: $\text{H} + 3\text{H}_2 + \text{O}_2 = 3\text{H} + 2\text{H}_2\text{O} + 13 \text{ ккал}$ или $3\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{H}$. Мы видим, что химическая энергия, выделяющаяся при образовании воды по реакции $2\text{H}_2 + \text{O}_2$, расходуется на диссоциацию H_2 , поддерживая тем самым быстрое развитие цепной лавины. Конечно, в конце реакции все атомы H рекомбинируют на стенке, образуя молекулы H_2 или H_2O . При этом выделяется основное количество энергии. Процесс, протекающий с накоплением концентрации атомарного H, вдвое превышающей концентрацию исходного кислорода, принципиально можно было бы осуществить в сосудах огромного радиуса (например, 10 м) с так обработанными стенками, чтобы величина ε была очень мала.

Поразительный вывод об огромных относительных концентрациях атомарного водорода был экспериментально подтвержден Кондратьевой и Кондратьевым. Они определяли концентрацию свободных атомов по разогреву, регистрируемому термопарой, помещенной в гремучую смесь, горящую при давлении несколько выше p_1 , и подтвердили вывод теории, что концентрация атомарного водорода достигает 20—30% от исходной концентрации кислорода в смеси. Однако метод Кондратьева был все же не совсем прямым методом химического анализа. Дальнейшая проверка теории могла быть осуществлена благодаря идее Воеводского. Как известно, в обычных цепных реакциях концентрации атомов и радикалов слишком малы для того, чтобы методом ЭПР можно было их регистрировать. Однако в разветвленных цепных реакциях, где эти концентрации несравненно

больше, метод ЭПР мог быть с успехом применен, что доказали на опыте Воеводский с сотрудниками. Метод, как известно, позволил определить не только количество свободных радикалов, но и узнать их химический состав. В 1960 г. Воеводский показал, что концентрации атомарного водорода действительно достигают указанных выше значений.

В дальнейшем Кондратьев и Налбандян обнаружили тем же методом наличие в пламени $H_2 + O_2$ значительного количества атомарного кислорода, причем наибольшие концентрации оказались в смесях, бедных водородом. Вскоре этим же авторам удалось в водородном пламени зарегистрировать сигналы ЭПР радикалов OH и определить их концентрации при разных составах смеси (рис. 10). В стехиометрической смеси значе-

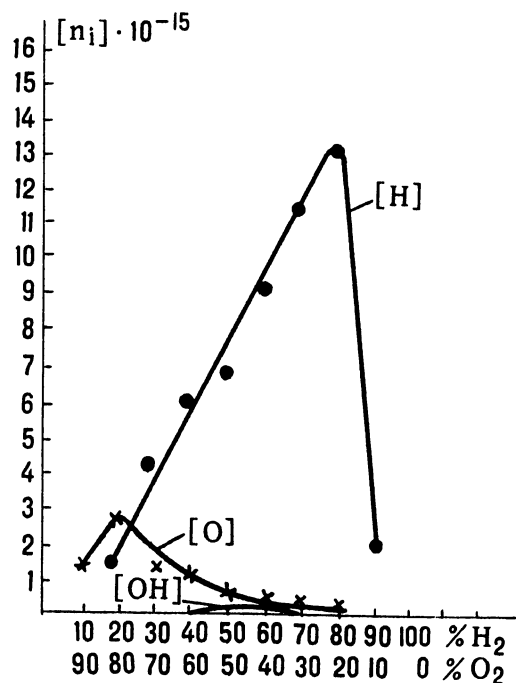
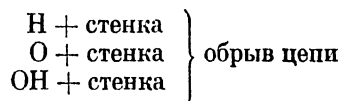
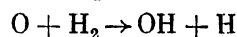
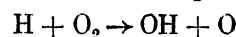
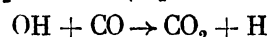
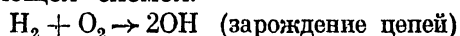


Рис. 10. Зависимость концентраций H , O и OH от начального состава водородо-кислородной смеси

ния $[H]$ достигают 10^{16} молек/см³, то есть примерно 1 мм рт. ст. Прежде считалось (на основе значения константы скорости реакции $O + H_2 \rightarrow OH + H$, данной Гартеком и Кошшем), что концентрация атомов O значительно меньше, приблизительно на два порядка, чем та, которая соответствует приведенным наблюдениям. Константа скорости реакции $O + H_2 \rightarrow OH + H$, определенная в последнее время Азатяном методом пределов, находится в хорошем соответствии с найденными концентрациями атомарного кислорода. Измерен-

ные методом ЭПР значения концентраций радикалов OH также согласуются с величиной константы скорости реакции $OH + H_2 \rightarrow H_2O + H$, определенной Авраменко и Кондратьевым.

Другой реакцией, к которой был применен метод ЭПР, была реакция окисления окиси углерода. Налбандян с сотрудниками провели обстоятельное изучение разреженных пламен окиси углерода с кислородом в присутствии небольших количеств веществ, являющихся донорами водорода. (Известно, что абсолютно сухие и лишенные доноров водорода смеси CO и O_2 вообще не способны к самовоспламенению). В качестве добавки были взяты H_2 и другие доноры. В полном согласии с цепным разветвленным механизмом горения CO в присутствии H_2 может быть представлено следующей схемой:



В присутствии малых добавок H_2 авторам удалось в разреженном пламени этой смеси обнаружить большие концентрации атомарного кислорода, водорода и радикалов OH , концентрации которых оказались в хорошем согласии с концентрациями OH , ранее измеренными Кондратьевым по спектрам линейчатого поглощения. Таким образом, все типы

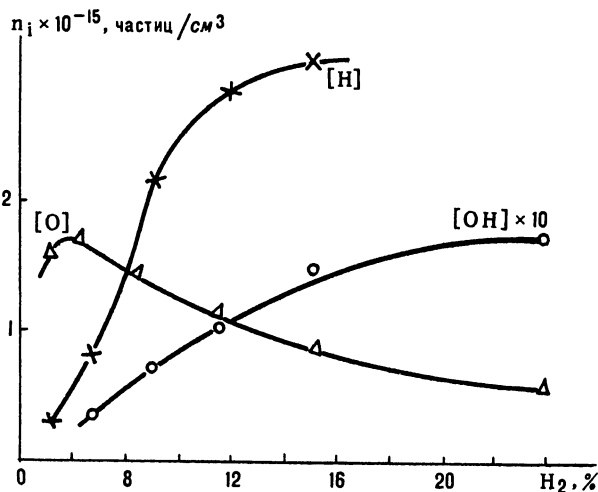


Рис. 11. Зависимость концентраций H , O и OH от начального содержания H_2 в пламени CO

активных центров, которые предполагались ответственными за развитие цепей в этой системе, были идентифицированы.

При малых добавках H_2 в пламени преобладали атомы O , при больших — атомы H (рис. 11, на котором приведены концентрации H , O , OH для одной смеси $CO+O_2$ с различными добавками H_2). Во всех случаях концентрация атомов H и O значительно преобладала над концентрацией радикалов OH . В Институте химической физики АН СССР Азатян, Воеводский и Налбандян предложили способ определения констант скорости реакции атомарного кислорода и водорода с молекулами различных веществ, используя явление понижения нижнего предела самовоспламенения при горении смеси CO с O_2 в присутствии малых добавок H_2 или других доноров водорода.

Этим методом были определены величины констант скоростей всех основных элементарных реакций в разрыхленных пламенах водорода и окиси углерода.

Существенно применить метод ЭПР к изучению механизма других разветвленных реакций, например к таким, как горение фосфора, серы, сероуглерода и др. Это направление в нашем институте только начало развиваться.

Теперь я хочу перейти к выполненным в последние годы в нашем институте работам, которые значительно расширили наши представления о разветвленных цепных реакциях и показали, что число реакций, имеющих разветвленно-цепной механизм, значительно больше, чем ранее можно было предполагать.

Как уже было указано, разветвления всегда связаны с использованием энергии химической реакции. На заре развития цепной теории я представлял себе, что разветвления происходят за счет образования в ходе реакции энергетически возбужденных частиц с избытком колебательной или электронной энергии, которые, передавая энергию возбуждения молекулам исходных веществ, вызывают их диссоциацию на атомы и радикалы.

Хотя эти представления давали последовательное и наиболее общее объяснение протекания разветвленных цепных реакций, идея об участии в разветвлениях возбужденных частиц была оставлена и до последнего времени почти не обсуждалась в литературе.

Дело в том, что в соответствии с современными физическими представлениями одновременная передача нескольких квантов колебательной энергии при соударении частиц чрезвычайно маловероятна.

Что касается передачи энергии от электронно-возбужденных молекул, то, хотя она и возможна, но вероятность образования самих электронно-возбужденных частиц в химических реакциях, как правило, очень мала.

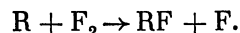
Кроме того, как мы видели на примере окисления водорода, разветвление в этой реакции осуществляется без возбужденных частиц при реакции $H+O_2 \rightarrow OH+O$ и далее $O+H_2 \rightarrow OH+H$. Таким образом, казалось бы, разветвления за счет возбужденных частиц невозможны и маловероятны. И все же в последние годы для объяснения многих явлений, наблюдавшихся в цепных реакциях, в особенности при фторировании, пришлось вновь вернуться к идее об участии в разветвлениях энергетически возбужденных частиц, продуктов экзотермических элементарных реакций развития цепи.

Однако существенным добавлением к старым представлениям явилось то, что разветвление, как было найдено, происходит не путем передачи энергии от возбужденной молекулы продукта к молекуле исходного реагента, а при химической реакции возбужденной молекулы продукта с образованием атомов и радикалов.

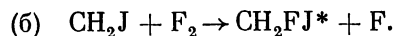
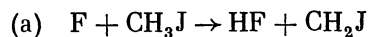
Эта химическая реакция может быть либо мономолекулярным распадом возбужденной молекулы, либо ее бимолекулярной реакцией с молекулой исходного реагента.

Поясню это на нескольких примерах реакций фторирования, изученных в нашем институте в лаборатории Шилова.

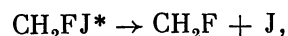
Одной из стадий цепного фторирования является реакция



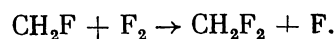
Эта реакция настолько экзотермична, что ее теплота иногда превышает энергию слабой связи образующейся молекулы RF . Поэтому эта молекула может мономолекулярно распасться с образованием атомов и радикалов, что ведет к разветвлению цепи. Например, в реакции фтора с иодистым метилом цепь развивается в реакциях:



Энергия связи $C-I$ в молекуле CH_2FI^* меньше теплоты реакции (б). Поэтому молекула CH_2FI^* может диссоциировать немедленно после своего образования:



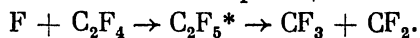
а радикал CH_2F далее реагирует с F_2 :



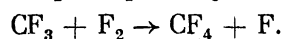
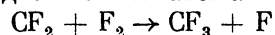
При смешивании фтора с иодистым метилом немедленно возникают пламена, даже при очень малых давлениях реагентов. По-видимому, вероятность разветвления так велика, что область самовоспламенения простирается на все практические достижимые давления.

Наиболее важным доказательством предложенного механизма явилось обнаружение методом ЭПР высоких концентраций атомов J в реакционной зоне. Было показано, что концентрация атомов J достигает более 10% концентрации исходного F₂. При этом в зоне реакции (она проводится при очень малых давлениях) практически отсутствует разогрев.

Другой тип реакции разветвления появляется при реакции присоединения фтора к олефинам. Например, при фторировании тетрафторэтилена образующийся при присоединении атома F к олефину радикал C₂F₅ может мономолекулярно распадаться с разрывом связи C—C по реакциям:



Действительно, суммарный тепловой эффект этих двух реакций положителен и составляет ~20 ккал/моль, то есть тепловой эффект первой реакции является достаточно высоким, чтобы обеспечить последующую диссоциацию радикала. При этом возникает разветвление, так как при реакции CF₂ с F₂ образуются два новых атома F.



При смешивании фтора с тетрафторэтиленом легко возникает пламя. В соответствии с механизмом цепной разветвленной реакции в реакционной зоне при фторировании C₂F₄ были обнаружены очень большие концентрации атомов F.

Если энергия возбуждения радикала, образовавшегося при присоединении атома F к олефину, недостаточна для его распада, разветвление может произойти в результате его дальнейшей реакции с F₂. В двух последовательных реакциях накапливается достаточно энергии для мономолекулярного распада образующейся молекулы, что вызывает разветвление.

Исследование газофазных реакций фтора с тетрахлорэтиленом и дибромэтиленом методом ЭПР показало, что в зоне этих реакций образуются очень большие концентрации атомов F и Cl в первом случае и атомов F и Br во втором, что подтверждает предположение о разветвленном характере этих реакций.

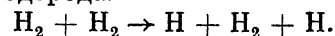
В тех случаях, когда энергии возбуждения недостаточно для мономолекулярной реакции

диссоциации связи, разветвление может произойти при бимолекулярной реакции возбужденной молекулы продукта реакции с исходной молекулой фтора. Механизм образования радикалов при бимолекулярном взаимодействии валентно-насыщенных молекул является менее обычным, чем мономолекулярный распад молекулы, и поэтому о нем я хотел бы здесь напомнить.

В 1954 г. мною было высказано предположение, что энергия активации эндотермической реакции $RX + JR \rightarrow R + XJ + R - q$ близка к затрате энергии q , а активационный барьер ее близок к нулю.

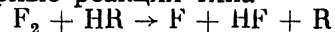
Действительно, рассматривая обратную реакцию, где два радикала R атакуют молекулу XJ, можно сделать вывод, что ее активационный барьер, вероятно, еще меньше, чем в реакции $R + XJ \rightarrow RX + J$, а мы знаем, что активационный барьер реакций радикалов с молекулами обычно не превышает нескольких килокалорий на моль. Из принципа детального равновесия следует, что реакция двух молекул с образованием двух радикалов также будет иметь малый активационный барьер.

Эти соображения были теоретически подтверждены для простейшей реакции двух молекул водорода:



Кроме того, у нас в институте были поставлены специальные опыты с непосредственной регистрацией радикалов методом ЭПР для тех случаев, когда затрата энергии в реакции невелика.

Молекулярный фтор является одним из примеров таких молекул, для которых бимолекулярные реакции типа



особенно благоприятны, так как они не связаны с большой затратой тепла или они даже экзотермичны. Именно таким образом происходит иницирование большинства цепных реакций фторирования.

Энергия активации таких реакций, по-видимому, всегда меньше энергии возбуждения молекул, образующихся в экзотермических реакциях цепного фторирования. Таким образом, та же бимолекулярная реакция образования радикалов из двух молекул может иметь место и при разветвлении. Возбужденные молекулы продукта могут реагировать с F₂ без всякой дополнительной энергии активации, что создает возможность разветвления цепи.

Простейшим примером служит реакция фторирования водорода. В этом случае в це-

пи, аналогичной цепи Нернста для реакции водорода с хлором

$F + H_2 \rightarrow HF + H$; $H + F_2 \rightarrow HF + F +$
 $+ 98 \text{ ккал}$, вторая реакция экзотермична на 98 ккал ; это более чем вдвое превышает энергию связи $F—F$.

Образовавшийся в этой реакции колебательно-возбужденный HF^* рассеивает свою энергию относительно медленно, поскольку, как уже указывалось, многоквантовая передача колебательной энергии маловероятна.

Реакция

$F_2 + HF \rightarrow F \dots \overline{F \dots H \dots} | F \rightarrow F +$
 $+ HF + F - 38 \text{ ккал}$ (1)

требует затраты энергии 38 ккал , отвечающей энергии диссоциации фтора. Так как HF^* несет на себе энергию, значительно большую, чем 38 ккал , необходимых для протекания реакции (1), то последняя успеет пройти значительно раньше, чем произойдет рассеяние энергии.

Таким образом, в этом случае возникает разветвление за счет реакции первичного продукта возбужденной молекулы HF^* с F_2 . Результаты опытов подтверждают это предположение. Было найдено, что область самовоспламенения в реакции водорода с фтором ограничена четким верхним и нижним пределами по давлению, что является одним из признаков разветвленной цепной реакции.

Надо отметить, что реакция фтора с водородом всегда казалась загадочной, причем различные авторы получали очень противоречивые результаты.

Так, Эйринг и Кассель утверждали, что хотя смесь водорода и фтора легко взрывается, им удавалось готовить смеси, устойчивые при суммарном атмосферном давлении реагентов и при комнатной температуре.

Другие авторы (Гроссе и Киршенбаум) объясняли эти результаты экспериментальными ошибками и показали, что смеси водорода и фтора всегда воспламеняются при комнатной температуре.

При учете механизма цепного воспламенения становится ясным, что эти противоречия, по-видимому, объясняются тем, что одни из авторов работали со смесями внутри полострора воспламенения, а другие — вне его. Отметим, кстати, что обрыв в объеме происходит при реакциях с кислородом, так что положение верхнего предела сильно зависит от концентрации примесей кислорода во фторе.

Во всех приведенных примерах можно видеть, что возбужденные молекулы продукта не передают энергию исходным молекулам.

В то же время именно эта энергия непосредственно используется в химических реакциях образования атомов и радикалов, начинающих новые цепи, и она тем самым осуществляет разветвление. Таким образом, старые представления о большой роли возбужденных молекул в разветвлении нашли здесь свое приложение. В связи с этим можно отметить, что при всякой экзотермической реакции атома или радикала с молекулой молекула продукта реакции в первый момент оказывается значительно колебательно возбужденной. Зарегистрирован ряд случаев, когда подавляющая часть энергии реакции сосредоточивается на колебательных степенях свободы молекулы.

Данные по диссипации колебательной энергии показывают, что этот процесс идет достаточно медленно по той же причине (о которой говорилось ранее) — малой вероятности многоквантовых переходов и, что самое главное, при больших колебательных квантах даже передача одного кванта требует обычно $10^3—10^4$ соударений.

Однако даже в свете всех вышеприведенных рассуждений нельзя ожидать, чтобы вероятность разветвления была близка к единице, то есть чтобы цепи были сплошь разветвленными. Но для того чтобы развивалась цепная лавина, достаточно, чтобы было больше одного разветвления на полную длину цепи, то есть чтобы вероятность разветвления была бы больше, чем $1/2$. Так как длины основных цепей в подобных реакциях очень велики, по крайней мере от сотен до десятков тысяч, то такого порядка вероятности разветвления вполне обеспечивают механизм нарастания цепной лавины.

Вероятность разветвления в значительной степени определяется энергией, выделяющейся в элементарных реакциях разветвления цепи. Поэтому не удивительно, что в газофазных реакциях молекулярного фтора, для которого элементарные реакции особенно экзотермичны, открыто так много разветвленных цепных процессов. Можно с полным основанием сказать, что цепное газофазное фторирование почти целиком относится к области цепных разветвленных реакций.

Другой хорошо изученный класс разветвленно-цепных реакций — газофазное окисление молекулярным кислородом. Разветвление здесь также осуществляется за счет химической энергии, в данном случае за счет образования прочных связей $H—O$ и $C—O$ при сравнительно слабой связи $O—O$. Элементарные процессы в этом случае менее экзотермичны, чем при фторировании, и, со-

ответственно, в газовой фазе здесь осуществляются как разветвленные реакции, так и неразветвленные (или вырожденно-разветвленные) цепные реакции.

Однако область разветвленных цепных реакций не ограничивается окислением и фторированием. Известно, например, что распад NCl_3 на N_2 и Cl_2 происходит как разветвленный цепной процесс, обладающий верхним пределом. Несомненно, что энергия для разветвления здесь обеспечивается очень большой энергией связи образующейся молекулы N_2 (225 ккал/моль). В связи с этим следовало бы рассмотреть и другие реакции распада с выделением N_2 . Возможно, что пример с NCl_3 не исключение.

Существуют и другие примеры цепных реакций, где гипотеза о разветвлениях цепей объясняет наблюдающиеся закономерности. Так, при хлорировании ацетилена по данным Штерна (у нас) и Портера (в Англии) наблюдаются явные предельные явления. Следует отметить, что при хлорировании ацетилена освобождается особенно значительная энергия по сравнению с хлорированием других соединений.

Наконец, при газофазном нитровании алканов, как это показано Штерном, при некоторых давлениях и температурах наблюдаются вспышки холодных пламен. Здесь также особую роль играет образование в ходе элементарного экзотермического акта продукта, содержащего избыток энергии и вследствие этого мономолекулярно распадающегося с образованием радикалов.

Рассмотренные выше разветвленные цепные реакции при давлениях выше предельного связаны со столь быстрым автоускорением, что процессы эти имеют характер воспламенения. Это является следствием того, что разветвление так же, как и основная цепь, осуществляется путем реакций свободных радикалов с молекулами (например, $\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}$), а такие реакции идут очень быстро.

Еще в 1931 г. мы обратили внимание на то, что существует большое число реакций, которые так же, как и разветвленные реакции, протекают гомогенно с автоускорением при давлениях или при диаметре сосуда выше некоторого критического значения, причем автоускорение подчиняется рассмотренному выше закону $w = ae^{v^t}$. Автоускорение в подобных реакциях происходит, однако, в тысячи раз медленнее, чем в реакции цепного воспламенения, и именно в этом заключается их существенное отличие. Если увеличение в n раз скорости реакции цепного воспламенения происходит за доли секунды, то для рассмат-

риваемых нами реакций это время измеряется минутами, а иногда и десятками минут.

Мы ввели понятие о цепных реакциях с вырожденным разветвлением или реакциях вырожденного цепного взрыва и начали активно заниматься изучением этого обширного класса реакций. Для объяснения свойств этих реакций было предположено, что они в сущности являются реакциями с неразветвленными цепями, в которых, однако, при развитии цепи возникают такие молекулярные промежуточные вещества, которые могут значительно легче, чем исходные молекулы, образовывать свободные радикалы. Возможно, что в некоторых случаях такими промежуточными веществами могут быть частицы, способные существовать как в валентно-насыщенном, так и в бирадикальном состоянии. Время автоускорения при этом определяется скоростью образования радикалов из этих промежуточных веществ.

В противоположность цепным реакциям, где разветвление осуществляется в то же время, когда развивается цепь, в вырожденно-разветвленных реакциях разветвление происходит спустя большое время после того, как данная цепь погибает. Таким образом, вырожденные разветвления правильнее было бы назвать запаздывающими. В связи с этим при малой скорости инициирования не только сама реакция идет с малой скоростью, но и значительно удлиняется период индукции, который для разных реакций такого типа меняется от нескольких минут до часов.

В связи с тем, что эти промежуточные вещества являются сравнительно устойчивыми соединениями, их удается идентифицировать и проследить за изменением их концентрации во время реакции.

Кинетические кривые вырожденно-разветвленных реакций так же, как соответствующие кривые разветвленных реакций (окисление водорода), имеют автокаталитический характер. Такие запаздывающие разветвления сами по себе не могут привести к цепному самовоспламенению. Взрыв, возникающий в таких системах, является тепловым. Своеобразие этого взрыва заключается в том, что ему будут предшествовать большие периоды индукции, связанные с достижением скорости реакции нужных значений.

Мы не можем здесь останавливаться более подробно на вырожденно-разветвленных реакциях, следует лишь отметить, что к ним относятся многие важные, имеющие промышленное значение химические процессы, например газофазное и жидкофазное окисление, ряд реакций разложения и т. д.

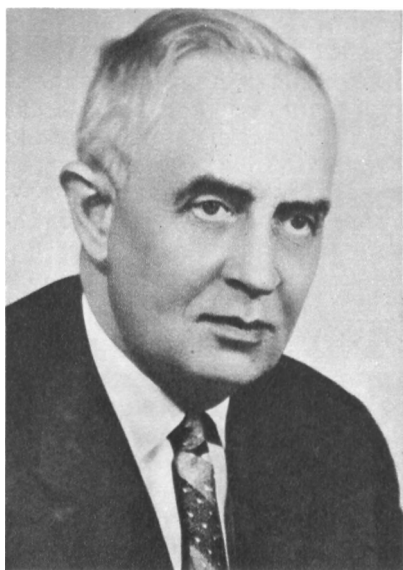
* *

*

Я рассказал здесь лишь о проблемах воспламенения и о разветвленных цепных реакциях. Удивительные свойства этих реакций возбудили во всем мире очень большой интерес и тем способствовали дальнейшим исследованиям как у нас, так и за границей не только в области разветвленных, но также и в области неразветвленных цепных реакций, к классу которых относится очень большое число реакций в химии. Они способствовали

также исследованиям в области свободных радикалов и атомов, которые играют столь важную роль во всех типах цепных реакций. Разработка теории цепных реакций внесла прогресс в химическую кинетику, превратив ее в учение не только о скоростях, но и о механизме химических превращений.

Здание химической кинетики, воздвигаемое учеными всего мира, становится все более величественным. Во все возрастающем масштабе новая химическая кинетика получает практическое применение.



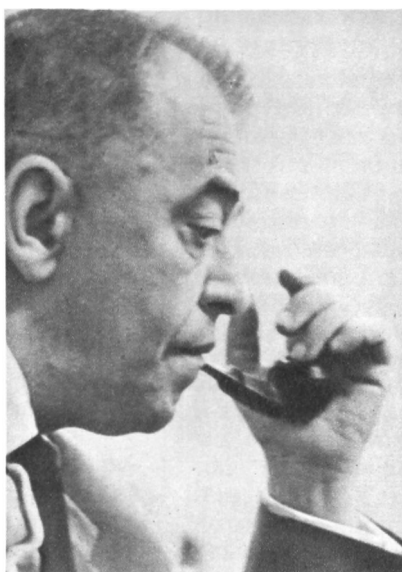
ЕЖИ ПНЕВСКИЙ (*Pniewski*) (р. 1913) — польский физик, член-корреспондент польской Академии наук, профессор Варшавского университета и Института ядерных исследований, директор Института экспериментальной физики при университете.

Родился в Плоцке. Окончил математический, а затем физический факультеты Варшавского университета. С 1949 по 1951 работал в Ливерпульском университете (Англия).

До 1939 работал в области молекулярной оптики.

Основная область исследований сейчас — рассеяние света, бета-спектроскопия, техника ядерных эмульсий, физика гиперядер.

В 1966 совместно с М. Данышем за открытие и исследование гиперядер получил Государственную премию.



МАРИАН ДАНЫШ (*Danysz*) (р 1909) — польский физик, член-корреспондент польской Академии наук, профессор Варшавского университета, руководитель лаборатории высоких энергий Института ядерных исследований в Варшаве. Родился в Париже. Среднюю школу окончил в Варшаве. Высшее образование получил в Варшавском политехническом институте и Варшавском университете.

В области ядерной физики начал работать еще до войны. В 1950—1952 работал в Англии (Ливерпуль, Бристоль). По возвращении на родину стал инициатором исследований в области физики элементарных частиц. Несколько лет был вице-директором института ядерных исследований в Дубне.

Основная область исследований — ядерная физика, физика гиперядер, физика элементарных частиц.

В 1966 совместно с Е. Пневским за открытие и исследование гиперядер получил Государственную премию.

МАРИАН ДАНЫШ, ЕЖИ ПНЕВСКИЙ

ГИПЕРЯДРА

В начале тридцатых годов нашего века стало известно, что атомные ядра состоят только из протонов и нейтронов, которые были названы нуклонами (*nucleus* по-латыни — ядро). В это же время выяснилось, что все известные тогда факты в области ядерной физики и элементарных частиц указывают на существование сил, или, как предпочитают говорить физики, взаимодействий трех категорий: сильных, слабых и электромагнитных. Сильные взаимодействия играют роль ядерных сил, связывающих нуклоны в атомных ядрах, причем эти силы не зависят от электрических зарядов нуклонов. Количество устойчивых ядер было бы несравненно больше, если бы их стабильность не нарушалась слабыми взаимодействиями, вызывающими радиоактивные распады. Именно слабые взаимодействия вызывают, например, радиоактивность фосфора или кобальта. Электромаг-

нитные же взаимодействия были, конечно, известны давно.

До того как было доказано, что атомные ядра — это структуры, состоящие из частиц, связанных сильными взаимодействиями, гораздо раньше стали известны другие, более слабо связанные структуры — атомы, устойчивость которых обусловлена электромагнитными взаимодействиями.

Долгое время казалось, что атомы и их ядра являются единственными структурами, состоящими непосредственно из элементарных частиц. В настоящее время, однако, количество известных элементарных частиц настолько возросло, что возникает резонный вопрос — не расширяют ли вновь открытые частицы возможности создания новых структур?

Новые элементарные частицы почти все неустойчивы, и весьма различные времена их

жизни зависят главным образом от того, является ли их распад следствием сильных, слабых или электромагнитных взаимодействий. Частицы, распадающиеся вследствие слабых взаимодействий, более устойчивы. Из этого следует, что новые структуры, созданные из таких частиц, должны быть устойчивее других.

И действительно, такие новые структуры были открыты. Среди новых структур, связанных электромагнитными взаимодействиями, в первую очередь стали известны позитроний и мезоатомы. В случае мезоатомов, например, место электронов в оболочке атома занимают другие элементарные частицы, известные под названием мезонов. Атомы и

Позитроний — это атом водорода, в котором протон заменен позитроном. Такое связанное состояние электрона и позитрона было предсказано еще в 1934 году, вскоре после открытия позитрона. Экспериментально же позитроний был открыт в 1951 году. Образуется свободный позитроний при столкновении позитронов с атомами газа, в результате чего электрон атома захватывается позитроном. Позитроний неустойчив — вследствие аннигиляции электрона и позитрона эта система распадается на фотоны за очень короткое время (10^{-7} — 10^{-10} сек.).

Изучение позитрония представляет большой интерес для квантовой электродинамики.

Мезоны — нестабильные элементарные частицы с массой, промежуточной между массами электрона и нуклона. Пи-мезоны (π) и ка-мезоны (K) являются носителями ядерных сил, иными словами, взаимодействия пионов и каонов (так сокращенно называют пи- и ка-мезоны) с ядрами и нуклонами принадлежат к сильным взаимодействиям. Первый мезон был открыт в 1947 году. Мезоны могут иметь заряд (положительный и отрицательный) и быть нейтральными.

Существование мезонов как гипотетических частиц, осуществляющих взаимодействие между нуклонами, было предсказано в 1935 году японским физиком Х. Юкавой. Не открытые вскоре после этого нестабильные частицы с массой в 206 электронных масс и названные впоследствии мю-мезонами или мюонами (μ) по современной классификации вообще не относятся к мезонам. Мюон ничем, кроме массы, не отличается от электрона и не участвует в сильных взаимодействиях.

Мезоатомы, о которых упоминается в статье, могут быть образованы как мюонами, так и пионами.

Барионы — общее название двух групп элементарных частиц: нуклонов (протон и нейтрон) и гиперонов. Барионы обладают рядом общих свойств, в частности, все они являются сильно взаимодействующими частицами и, следовательно, активно взаимодействуют с атомными ядрами. Все барионы (за исключением протона) — нестабильные частицы.

Гипероны — группа частиц с массой, большей массы нуклонов. В настоящее время известны лямбда-нуль-гиперон (Λ^0) — о нем и идет речь в данной статье, три сигма-гиперона (Σ^+ , Σ^- и Σ^0) и два кси-гиперона (Ξ^- и Ξ^0). Как уже сказано, гипероны нестабильны. Так Λ^0 -гиперон распадается на отрицательный пи-мезон (π^-) и протон или на нейтральный пи-мезон (π^0) и нейтрон.

мезоатомы могут иметь одинаковые ядра, но их электромагнитная структура различна. В настоящее время на исследования структуры атомного ядра при помощи мезоатомов возлагаются большие надежды.

Нуклоны также являются представителями более многочисленной группы частиц, называемых барионами. Барионы, масса которых больше массы нуклона, были названы гиперонами. Самый легкий из них (но, как было сказано, более тяжелый, чем оба нуклона — протон и нейтрон) получил название лямбда-нуль-гиперон (Λ^0). Нуль обозначает, что этот гиперон, подобно нейтрону, не имеет электрического заряда. В поисках ядерных структур нового типа изучалась возможность связи различных барионов в ядре. Выяснилось однако, что, кроме нуклонов, только Λ^0 -гиперон может быть компонентом ядерных структур нового типа. Такие структуры названы были гиперядерными.

В 1952 году в лаборатории Варшавского университета авторы этой статьи обнаружили первый случай образования и распада гиперядра и обратили внимание на возможность существования такого рода структур. Это происходило в то время, когда наши сведения об элементарных частицах и особенно о гиперонах были еще немногочисленны, а о существовании многих элементарных частиц мы вообще еще не знали.

Самым простым гиперядром является ядро гипертретия ${}_{\Lambda}^3\text{H}$, состоящее из протона, нейтрона и гиперона Λ^0 . Наиболее же часто встречается ядро гипергелия ${}_{\Lambda}^5\text{He}$, образованное из ядра гелия, то есть альфа-частицы, и гиперона Λ^0 . Так же как и в обычных атомных ядрах, химическое определение гиперядра зависит только от числа протонов. В настоящее время известно уже несколько десятков разных гиперядер, а число однозначно идентифицированных случаев образования гиперядер определяется уже тысячами. Самые тяжелые среди этих гиперструктур — гиперядра бора, углерода и азота. Созданы и более тяжелые гиперядра, среди которых имеются, по всей вероятности, гиперцинк и, может быть, гиперпалладий, но не удалось, однако, определить их однозначно в химическом смысле. Неустойчивость гиперона Λ^0 вызывает спонтанный распад гиперядра с временем около $2 \cdot 10^{-10}$ сек. Это, казалось бы, короткое время жизни является, однако, чрезвычайно большим в масштабе ядерных процессов.

Образование гиперядер происходит различным образом, но, как правило, они обра-

зуются в качестве фрагментов обычных ядер после захвата ими гиперона Λ^0 . Этим и обосновывается название «гиперфрагмент», присвоенное первоначально гиперядрам и употребляемое еще до сегодняшнего дня. Образующийся гиперфрагмент, проходя через вещество, захватывает электроны и создает свои электронные оболочки, превращаясь, таким образом, в гиперин или в гиператом. Слишком короткое время жизни гиператома не дает возможности проверить его химические свойства. Это, впрочем, было бы исследованием электромагнитной структуры гиператома, а мы заинтересованы прежде всего в изучении свойств самой гиперядерной материи. Именно эта проблема является основной темой исследований в области физики гиперядер, отмеченных за время своей четырнадцатилетней истории большим количеством публикаций (около 500) как в области теории, так и эксперимента. Анализ процесса образования гиперядер различных видов, исследование энергии связи гиперона Λ^0 , времени жизни, вероятности распада и возможности возбуждения, а также многих других свойств гиперядер дают основные сведения о взаимодействиях между гиперонами и нуклонами. Многие данные из области гиперядерной физики расширяют сферу наших познаний в области физики обычных ядер.

Гиперядра возникают при столкновении частиц высоких энергий с атомными ядрами, причем процесс этот происходит довольно редко — приблизительно один раз на тысячу столкновений. Гораздо большей эффективности получения гиперядер можно достичь при помощи ка-минус-мезонов (K^-), получаемых в мощных ускорителях. В гиперядерной физике используется в основном фотоэмульсия, применяемая довольно часто и в ядерной технике. Фотоэмульсия дает возможность наблюдать процесс образования гиперфрагмента, проследить его пробег от места рождения до распада, а также провести анализ самого распада.

На фото 1 показано рождение и распад гиперфрагмента, обнаруженного впервые авторами статьи в лаборатории Варшавского университета в 1952 году. Частица космиче-

ского излучения, движущаяся с правой стороны сверху, столкнулась с ядром брома или серебра, которых так много в фотоэмульсии. В этом столкновении произошло деление ядра мишени. При этом один из осколков, пройдя довольно большой путь, остановился и распался на несколько других частиц, выделив при этом энергию, многократно превышающую энергию, выделяемую в распадах обычных нестабильных ядерных фрагментов. Основными предпосылками для определения в этом явлении необычной ядерной структуры, содержащей новый компонент, кроме известных ранее нуклонов, были, во-первых, тот факт, что эта структура была достаточно устойчива для такого пробега, и, во-вторых, величина выделенной при этом энергии.

Иногда гиперядра распадаются с испусканием пи-мезона. В этом случае энергия всех частиц, рожденных в таком распаде, в несколько раз меньше. Если все продукты распада заряжены, то их треки регистрируются в эмульсии и идентификация гиперядра становится гораздо легче. Фото 2 представляет образование гипергелия-5, возникшего при взаимодействии ка-мезона с ядром эмульсии, и распад этого гиперядра на протон, альфа-частицу и отрицательный пи-мезон.

Энергия, необходимая, чтобы отделить гиперон Λ^0 от остальных компонентов гиперядра, так называемая энергия связи гиперона, является ценной информацией о взаимодействиях между гипероном и нуклонами гиперядра. Эту энергию относительно легко определить на основании анализа мезонных распадов гиперядер. Изучение энергии связи гиперона в разных гиперядрах позволило определить некоторые свойства самих гиперядер. Большое количество экспериментальных данных в физике гиперядер создало обстоятельство, похожее на те, которые сложились в раннем периоде исследований в области физики обычных ядер.

Уже несколько лет говорится о возбужденных состояниях гиперядер, как и 30 лет назад, когда начались исследования возбуждения обычных атомных ядер.

Трек HF на фото 3 представляет гиперядро гелия-7. Энергии связи, определенные для разных случаев гиперядер этого типа, группировались вблизи двух различных величин. Этот факт вместе со сведениями о других гиперядрах с такой же массой привел авторов статьи к мысли, что существует возможность длительного возбуждения гиперядра гелия. Энергия возбуждения, выделенная в момент распада, вызывает кажущееся изменение энергии гиперона. Это было первое

Для того чтобы разложить некоторую систему частиц (например, ядро атома) на составляющие ее частицы, необходимо затратить определенную работу. Это и есть энергия связи данной системы. Энергия связи — отрицательная величина, так как при образовании системы энергия выделяется. Чем больше энергия связи по абсолютной величине, тем прочнее связь.

Φορο 1.

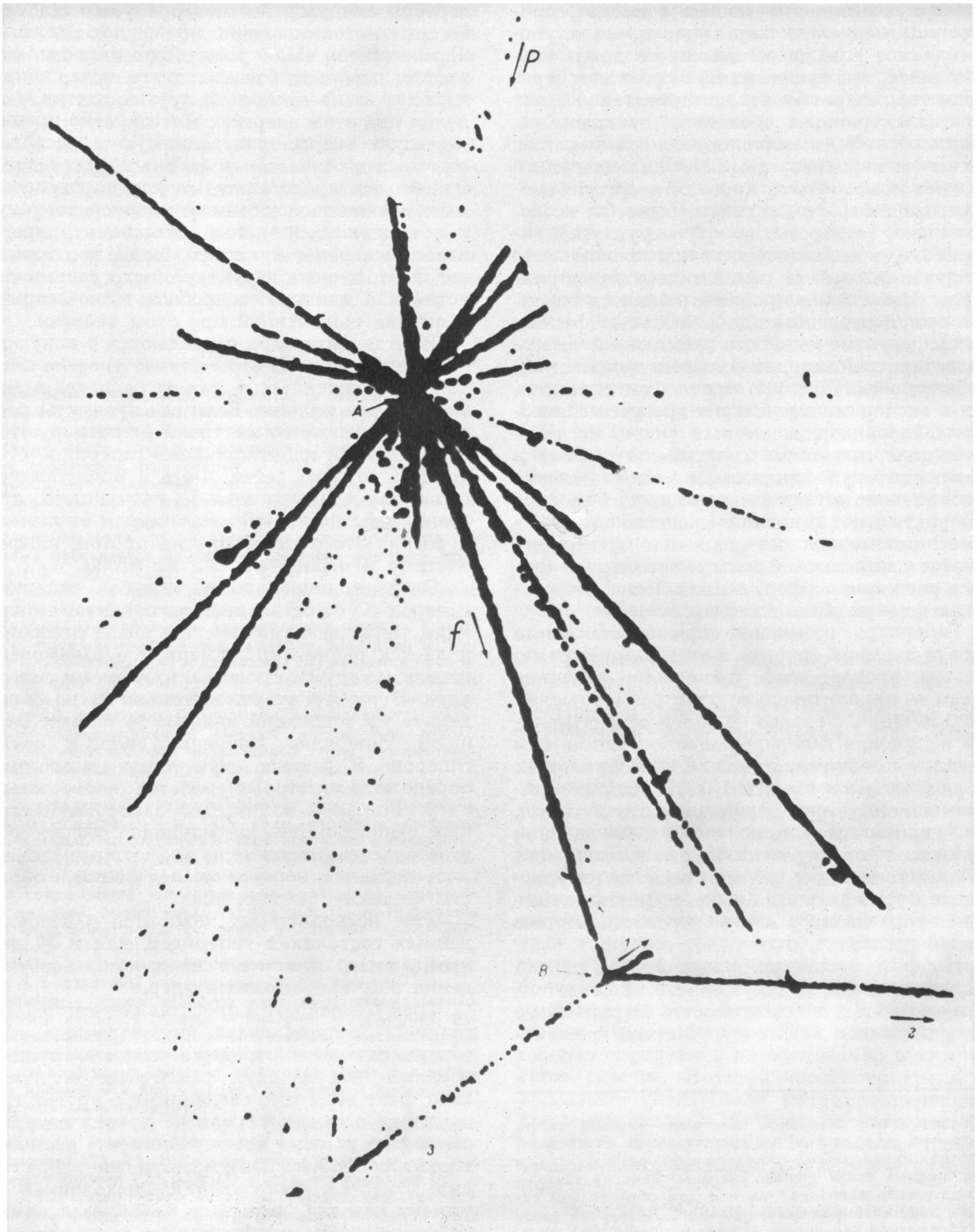
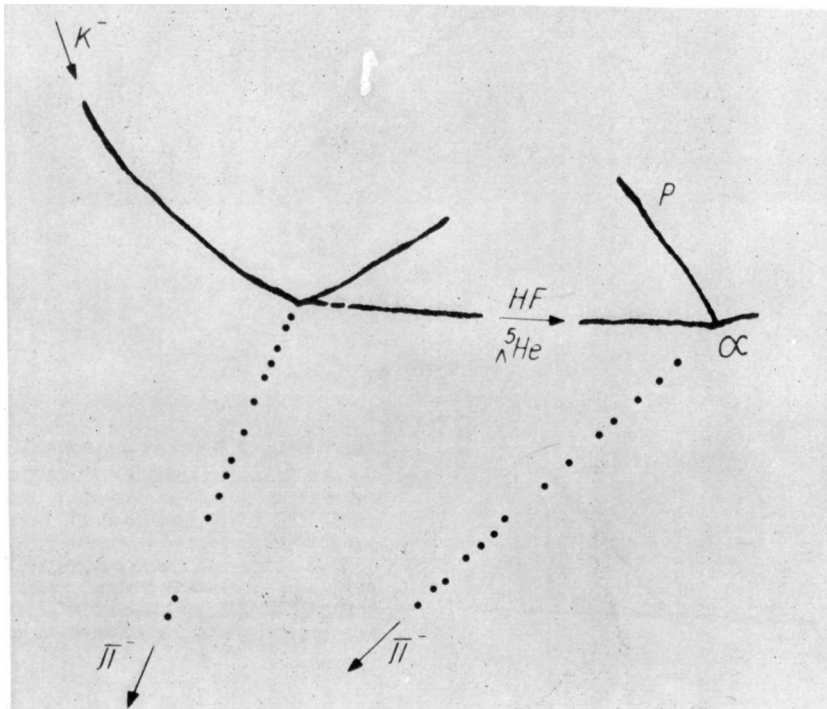


Фото 1. Образование и распад гиперядра, открытого авторами статьи в Варшаве в 1952 г. Частица космического излучения, траектория которой в виде следа отдельных темных зерен обозначена буквой p , взаимодействует с ядром брома или серебра фотоэмульсии. Наряду со многими быстрыми частицами (ряды темных зерен) и несколькими медленными (непрерывные жирные следы) наблюдается след неустойчивого фрагмента, обозначенный буквой f . Этот фрагмент прошел путь около 90 микронов, остановился и распался, выделив при этом исключительно большую энергию. Фрагмент состоял из нескольких нуклонов первичного ядра и гиперона Λ^0 , возникшего при столкновении, и был первым наблюдавшимся гиперядром

Фото 2. В результате взаимодействия ка-мезона с одним из ядер эмульсии образовалось ядро гипергелия-5 (${}^5_{\Lambda}\text{He}$). «Звезда» на снимке содержит, кроме следов других частиц, также след этого гиперядра. Оно прошло путь 0,6 мм и распалось через некоторое время после остановки на отрицательный пи-мезон (π^-), протон (p) и альфа-частицу (α).

Фото 2.



непосредственное экспериментальное подтверждение существования долгоживущих возбужденных гиперядер, то есть состояния, давно известного в области обычных ядер.

На фото 4, довольно трудном для детального исследования, показан первый случай обнаруженного авторами в 1963 году двойного гиперядра. (Работа велась в сотрудничестве с рядом европейских лабораторий.) Это было двойное гиперядро бериллия ${}_{\Lambda\Lambda}^{10}\text{Be}$, содержащее два гиперона Λ^0 , связанных с ядром Be^8 . На основании анализа энергии связи обоих гиперонов впервые была определена величина взаимодействия между двумя гиперонами. Следующий случай двойного гиперядра — гипергелия ${}_{\Lambda\Lambda}^6\text{He}$, обнаруженного в США в 1966 году, подтвердил результаты, полученные в Варшаве.

В настоящее время работы, касающиеся гиперядер, ставят перед собой задачу уточнить и дополнить данные об энергии связи как легких, так и тяжелых гиперядер, найти больше случаев двойных гиперядер с целью

лучшего изучения структур такого вида и получения более полной картины взаимодействия двух гиперонов. Ожидается ответ на ряд вопросов относительно слабых взаимодействий между гипероном и нуклоном. Некоторые вопросы физики элементарных частиц и ядерной физики могут быть легче расшифрованы благодаря существованию гиперядерных структур.

Полный перечень проблем довольно обширен. Можно поставить вопрос: существуют ли гиперядра, содержащие много гиперонов, и каковы надежды на возможность их образования? Ответить на этот вопрос трудно, но во всяком случае возможность образования и обнаружения гиперядра с тремя гиперонами кажется довольно реальной. Кроме того, может быть, что в сверхтяжелых звездах вещество обладает свойствами однородной ядерной материи. Тогда могли бы создаться условия, запрещающие распад обычно неустойчивых гиперонов. Такая звезда в целом являлась бы интересным примером гиперядерной материи.

Фото 3. Образование гиперядра гелия-7 (${}_{\Lambda}^7\text{He}$) происходит косвенным образом. Отрицательный ка-мезон (K^-) в результате ядерной реакции образовал сначала отрицательный сигма-гиперон (Σ^-). Этот гиперон, взаимодействуя с ядром азота, привел к его распаду на бериллий, нейтрон (след которого вследствие его электрической нейтральности на фото отсутствует) и гиперядро гелия-7. Оказалось, что это гиперядро возникло в долгоживущем возбужденном состоянии.

Фото 4. Многочисленные треки в месте, обозначенном стрелкой, не отражают всех сложных деталей события, которое в действительности произошло в эмульсии. Только после непосредственного наблюдения под микроскопом с большой разрешающей способностью и тщательного, сложного анализа оказалось, что это, несомненно, процесс образования и распада двойного гиперядра, содержащего два гиперона Λ^0 .



НГУЕН ВАН ХЪЕУ (*Nguyen-van-Hieu*) (р. 1938) — вьетнамский (ДРВ) физик-теоретик, доктор физико-математических наук.

Родился в Ханое. После окончания (1956) Ханойского педагогического института преподавал физику на физическом факультете Ханойского университета. В конце 1960 начинает работать в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубне в СССР.

В 1963 Нгуен Ван Хъеу защитил кандидатскую, через год — докторскую диссертацию. В настоящее время является руководителем группы теоретиков в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ. Автор свыше 50 научных работ, опубликованных в советских и зарубежных журналах. Выступал с докладами на различных международных конференциях: в Сиене (Италия, 1963), в Дубне (1964, 1966), на Балатоне (Венгрия, 1966). Читал лекции в Болгарии, Польше, Чехословакии, Румынии.

Основная область исследований — квантовая теория поля, теория симметрии элементарных частиц, физика нейтрино.

НГУЕН ВАН ХЬЕУ

КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Последние пятьдесят лет ознаменовались в истории физики величайшими открытиями в области строения атомов и атомных ядер. Ученые проникают все дальше в глубь материи и открывают новые ее тайны. Со все большим масштабом проводятся поиски новых закономерностей во взаимодействиях, взаимопревращениях и структуре частиц, образующих атомы и атомные ядра, — электронов, протонов, нейтронов и других так называемых «элементарных частиц».

Само название «элементарные частицы» отнюдь не означает, что они представляют собой простейшие объекты, нечто целое, нераздельное. Большинство этих частиц нестабильны и распадаются через некоторое время после рождения. При столкновении двух частиц обычно происходят различные процессы превращения этих частиц в другие. Все частицы отличаются друг от друга. Однако они

образуют различные семейства, члены каждого из которых обладают весьма сходными свойствами. Мы будем знакомиться с этими свойствами, с законами превращения элементарных частиц.

Все то, что человек знает об этих частицах на сегодняшний день, показывает, что каждая из них представляет собой весьма сложную систему. Когда мы говорим об их элементарности и называем их элементарными частицами, то делаем это не потому, что они бесструктурны, а только потому, что их структура нам пока неизвестна.

В настоящей статье мы обращаем внимание в основном только на вопрос о классификации и структуре элементарных частиц. Мы будем очень кратко напоминать, по мере необходимости, некоторые основные характеристики частиц, необходимые для понимания их классификации.

МОМЕНТ ИМПУЛЬСА И МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ В МИКРОМИРЕ

Для элементарных частиц весьма важной характеристикой состояния их движения является момент количества движения, или, как чаще говорят, момент импульса — понятие, хорошо известное из курса средней школы. Мы различаем в теории элементарных частиц два типа моментов: орбитальный и собственный. Первый связан с движением частиц в пространстве (например, электрон, вращающийся по орбите вокруг ядра) и его называют орбитальным моментом. Но тот же электрон, подобно шарик, вращающемуся вокруг своей оси, обладает еще и собственным моментом импульса — спином. Спин имеют и многие другие элементарные частицы (но не все!). Этот момент не зависит от движения частиц в пространстве, а является их внутренним свойством.

Мы представили частицы со спином как шарики, вращающиеся вокруг своей оси. Однако в действительности это не так. Ведь вращение шарика всегда можно остановить и, следовательно, лишить его собственного момента импульса. Спин же элементарной частицы неотделим от нее. Ее орбитальный момент зависит от состояния движения, но спин всегда принимает одно и то же значение и является свойством, присущим данной частице. Это и есть одно из качественных различий между моментом импульса в макромире и моментом импульса в микромире.

Другое различие заключается в дискретности момента импульса в микромире. Вращающемуся телу в макромире можно придавать произвольный момент импульса, меняя его скорость вращения. Величина момента импульса микрочастицы, оказывается, не может быть произвольной — она может принимать лишь определенные дискретные значения. Более точно, величина орбитального момента любой частицы всегда равна целому кратному некоторой постоянной величины \hbar , называемой постоянной Планка, а величина спина всегда равна кратному $\frac{1}{2} \hbar$. Например, протон, нейтрон, электрон имеют спин, равный $\frac{1}{2} \hbar$ (позже мы познакомимся с частицами, имеющими спин $0, \hbar, \frac{3}{2} \hbar$ и т. д.). В дальнейшем будем пропускать букву \hbar и говорить, например, о моменте импульса $\frac{1}{2}$ вместо $\frac{1}{2} \hbar$.

Еще одной характеристикой элементарных частиц (и опять не всех!) является их магнитный момент. Мы говорили о вращающемся

вокруг своей оси электроны. Но любое заряженное тело в таком вращении обладает, как известно, магнитным моментом. Точно так же любая заряженная частица со спином имеет магнитный момент, представляя собой как бы некий элементарный магнитик. При этом магнитный момент частицы направлен так же, как и ее спин.

Возникает вопрос: может ли иметь магнитный момент заряженная частица без спина или нейтральная частица со спином? Оказалось, что заряженная частица без спина (со спином нуль) не может иметь магнитного момента. Однако известны многие нейтральные частицы со спином, имеющие магнитный момент. Одна из таких частиц — нейтрон. Этот факт можно объяснить, представляя нейтрон как некоторый вращающийся шарик, внутри которого содержатся в равном количестве и отрицательный, и положительный заряды. Но из-за различия в распределении этих зарядов магнитный момент, соответствующий положительному заряду, не компенсирует магнитный момент, соответствующий отрицательному заряду. Дело в том, что магнитный момент зависит не только от величины и знака заряда, но и от положения заряда — от расстояния между ним и осью вращения. Еще раз подчеркиваем, что такое объяснение является весьма условным, и сущность явления в действительности не так проста.

Если частица с магнитным моментом находится в магнитном поле, то поле действует на нее. Сила этого действия зависит от трех величин: интенсивности поля, величины магнитного момента и угла между направлением поля и направлением магнитного момента. Анализируя результаты действия этой силы, можно судить об ориентации магнитного момента, то есть спина частицы в пространстве.

В макромире направление магнитного момента или момента импульса можно задать произвольно. Следовательно, при заданной величине момента импульса или магнитного момента его проекция на некоторое направление может принимать произвольное значение в зависимости от его ориентации (рис. 1). В мире элементарных частиц это уже не так. Оказывается, что проекция момента импульса (орбитального момента или спина) на заданное направление (на направление магнитного поля, например) принимает только дискретные значения (как и его абсолютная величина, о чем мы уже говорили), причем отличающиеся на единицу. Например, спин электрона может иметь только две проекции на некото-

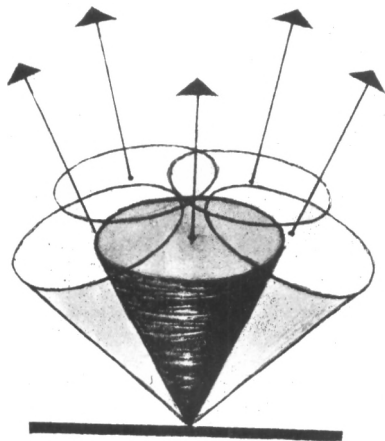


Рис. 1

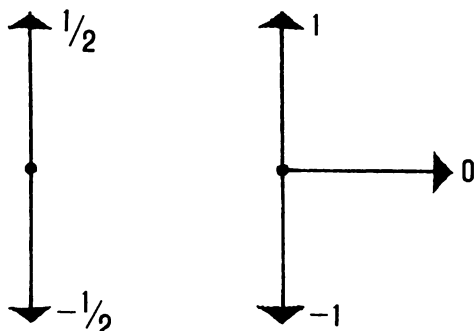


Рис. 2

рое направление $+1/2$ и $-1/2$, а частица со спином 1 — три проекции — $-1, 0$ и $+1$ (рис. 2). Говорят, что электрон имеет два спиновых состояния, а частица со спином 1 — три спиновых состояния.

Сложение моментов импульса элементарных частиц подчиняется правилу сложения векторов — то есть известному правилу параллелограмма. Но кроме этого, при сложении моментов мы должны учесть их дискретность. Рассмотрим, например, систему из двух частиц, имеющих спины $5/2$ и 2 . Кроме двух особых случаев, когда их суммарный спин равен $9/2$ (спины частиц параллельны) или $1/2$ (спины антипараллельны), в природе существуют конфигурации с другими значениями суммарного спина ($7/2, 5/2, 3/2$), но отличающиеся от указанных пределов ($9/2$ и $1/2$) обязательно на целые числа. В частном случае системы из двух частиц со спином $1/2$ суммарный спин системы может быть равен только 0 или 1 — других возможностей не существует.

Познакомимся теперь с некоторыми другими основными характеристиками элементарных частиц. Кроме орбитального момента и спина, каждая элементарная частица имеет определенный электрический заряд Q и определенную массу M . Ради удобства массу электрона выберем в качестве единицы измерения масс, а абсолютную величину его заряда — в качестве единицы измерения заряда. Тогда, например, масса протона равна $1836,1$, а его заряд равен $+1$.

Общеизвестен закон сохранения электрического заряда. Если в процессе превращения элементарных частиц исчезает система частиц с каким-нибудь зарядом, то вследствие закона сохранения заряда обязательно рождается другая система с тем же зарядом. Так, например, нейтрон распадается на протон, электрон и нейтральную частицу — антинейтрино. Нейтрон не имеет электрического заряда, а заряды протона и электрона равны $+1$ и -1 . Полный заряд, очевидно, сохраняется.

Движение тел в макромире подчиняется законам Ньютона. Оказывается, что для описания движения микрочастицы необходимо основываться на других законах, других уравнениях. Анализируя уравнение движения электрона, английский физик П.А.М. Дирак пришел к выводу, что наряду с электроном должна существовать другая частица с той же массой, тем же спином, но с электрическим зарядом $+1$. Эта частица позднее была открыта и названа античастицей электрона — позитроном. Не только электрон, но и почти все другие частицы имеют свои античастицы*.

Наряду с электроном существует другая частица, которую можно назвать электрон-великаном. Это — мю-мезон (мюон). Дело в том, что мюон примерно в 200 раз тяжелее электрона, но ведет себя во всех процессах так же, как и электрон. Его спин тоже равен $1/2$, а заряд — минус единице.

Мюон и электрон вместе с двумя нейтральными частицами (два типа нейтрино) со спином $1/2$ и массой, равной нулю, образуют семейство так называемых лептонов. Их античастицы — позитрон, антимюон и два типа антинейтрино — называются антилептонами.

* Об античастицах и, в частности, об антипротоне см. статью Э. Сегре в томе ежегодника за 1966 г.

Давно известно существование фотона. Его называют также квантом света или гамма (γ)-квантом.

Гамма-лучи, испускаемые радиоактивными веществами, есть не что иное, как потоки фотонов. По своим свойствам лептоны и фотон существенно отличаются от остальных частиц, занимающих абсолютное большинство в «коллективе» элементарных частиц. В настоящей статье мы не будем рассматривать фотон и лептоны. Им нужно посвящать отдельную статью, хотя они и составляют меньшинство.

Мы упоминали протон и нейтрон. Эти тяжелые частицы со спином $1/2$ называются нуклонами. В течение последних двадцати лет сначала в космических лучах, а затем на ускорителях друг за другом были обнаружены другие тяжелые частицы. Первыми из них были: нейтральная лямбда-частица (Λ^0), три сигма-частицы — отрицательная, нейтральная и положительная ($\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$), две кси-частицы — отрицательная и нейтральная (Ξ^-, Ξ^0). Все эти частицы тяжелее нуклонов, имеют спин $1/2$ и называются гиперонами. Гипероны вместе с нуклонами образуют одно семейство — семейство барионов*. Их античастицы — антибарионы. Если в каком-нибудь процессе рождается барион, то обязательно должен родиться антибарион, точно так же как частица с положительным зарядом может рождаться только в сопровождении частицы с отрицательным зарядом. Последнее утверждение представляет собой, как мы уже говорили, закон сохранения электрического заряда. Введем наряду с электрическим зарядом новый тип заряда: барионный заряд или барионное число B . Барионам будем приписывать барионное число $+1$, а антибарионам — барионное число -1 . Закон сохранения барионного заряда (числа) гласит: сумма барионных чисел частиц в любом процессе не меняется.

Мы говорили, что частицы и античастицы имеют электрические заряды обратных знаков. Барионы и антибарионы отличаются еще знаком барионного числа. Именно последняя величина позволяет отличить, скажем, нейтрон и антинейтрон.

Обратимся теперь к частицам с целыми спинами. Они образуют семейство так называемых мезонов. Легчайшими из них являются три пи-мезона или пиона π^-, π^0, π^+ . Нейтральный пион тождествен своей античастице, а положительный пион является анти-

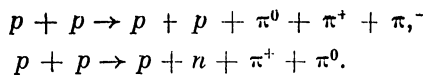
частицей отрицательного. Существуют и другие мезоны — ка-мезоны или каоны (K). Их два — нейтральный и положительный (K^0, K^+). Фактически одновременно с ними были обнаружены и антикаоны. Хотя K^0 не имеет электрического заряда, но он отличается от своей античастицы, обозначаемой \bar{K}^0 . Античастицей K^+ является K^- .

Существование пионов и их свойства были предсказаны при изучении ядерных сил, действующих между нуклонами, на десять лет раньше, чем они были открыты на опыте. По сравнению с пионами обнаружение каонов и гиперонов было несколько неожиданным. Они обладают некоторым странным свойством, которое вначале не могли понять. Поэтому их и назвали странными частицами. Это странное свойство заключается в следующем. Каоны и гипероны (а также их античастицы) рождаются при столкновении пионов и нуклонов с нуклонами, живут некоторое время, проходя в пространстве некоторый путь, и затем распадаются, то есть превращаются в другие частицы. Процессы рождения этих частиц весьма разнообразны. Однако в теоретических исследованиях все эти процессы рассматриваются как результат некоторого единого фундаментального взаимодействия частиц. В принципе, это взаимодействие может привести также и к распаду частиц. Сначала физики именно так и думали. Тогда, анализируя процессы рождения, можно сделать некоторые выводы о фундаментальном взаимодействии, а затем уже вычислить вероятность распада или, что то же самое, время жизни частиц. Таким путем были получены значения порядка 10^{-22} секунд. Однако на опыте оказалось, что время жизни гиперонов и каонов в тысячи миллиардов раз больше: они живут примерно 10^{-10} — 10^{-8} секунд. Это действительно странное явление!

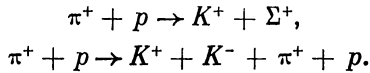
СОВМЕСТНОЕ РОЖДЕНИЕ И СТРАННОСТЬ

Странное явление, о котором шла речь, вместе с другими странными свойствами процессов рождения каонов и гиперонов, изложенными ниже, оказываются закономерными. Рассмотрим сначала некоторые свойства процессов рождения частиц. В процессах превращения элементарных частиц число пионов вообще меняется. Например, при столкновении двух нуклонов могут родиться один, два, три или больше пионов, если это не противоречит закону сохранения энергии и электрического заряда:

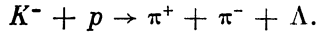
* О гиперонах и барионах см. также статью М. Даныша и Е. Пневского в этом же томе. — *Ред.*



Для случая рождения каонов это уже не так. В ряде процессов каон либо рождается совместно с антикаоном, либо с Σ -гипероном или Λ -гипероном — так называемое совместное рождение:



В других процессах, в результате которых каон исчезает, также рождается Λ -гиперон или Σ -гиперон:

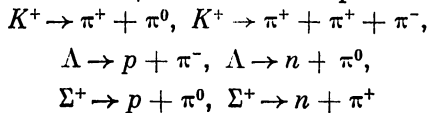


Эти факты стали причиной появления нового закона сохранения.

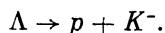
Введем новую величину — странность S и припишем частицам соответствующие странности: для «обычных» частиц — пионов, нуклонов $S = 0$, для каонов и антигиперонов $\bar{\Lambda}$ и $\bar{\Sigma}$ $S = 1$, для антикаонов и гиперонов Λ и Σ $S = -1$.

Предположим далее, что в процессах рождения сумма странностей всех частиц не меняется. Очевидно, что в силу такого закона невозможно, например, одиночное рождение каона без сопровождающего его Λ - или Σ -гиперона. (Добавим, что Ξ -гиперон имеет странность $S = -2$).

Рассмотрим теперь процессы распада странных частиц на пионы и барионы:



и т. д. Легко увидеть, что во всех этих процессах странность меняется. Спрашивается: возможен ли какой-нибудь процесс распада, например, Λ -гиперона, с сохранением странности? Поскольку Λ -гиперон является барионом, то в силу сохранения барионного числа при распаде должен рождаться один барион — протон, например. Для Λ -гиперона странность $S = -1$, а для протона $S = 0$. Если бы странность сохранялась в процессе распада, то должен был бы рождаться антикаон, например:



Но масса Λ -гиперона меньше суммы масс протона и каона, поэтому указанный процесс невозможен в силу сохранения энергии. Такое же явление наблюдается и для других частиц.

Таким образом, закон сохранения энергии не позволяет странным частицам распадаться

без изменения странности. С другой стороны, рождаются они, как мы уже говорили, при условии сохранения странности. Это означает, что имеются два типа взаимодействия между мезонами и барионами: одно сохраняет странность, а другое не сохраняет, причем второе в тысячи миллиардов раз слабее, чем первое. Первое называется сильным взаимодействием, а второе — слабым.

В принципе, процессы рождения могут происходить в результате обоих типов взаимодействий. Однако, в среднем, среди тысячи миллиардов событий рождения без изменения S мы можем наблюдать только одно событие с изменением S . Вот почему практически пока нельзя обнаружить процессы рождения с изменением странности. Наоборот, как мы показали, в процессах распада каона и гиперона S должна меняться. Здесь играет роль только слабое взаимодействие и потому эти частицы долго живут. Парадокс, таким образом, был снят.

Наряду с долгоживущими странными частицами не исключено существование других частиц с достаточно большими массами, которые могут распадаться без изменения

Сто лет назад

БЕРЛИН

Чем больше делают успехи естественные науки в изучении фактов и их взаимной связи, тем проще становятся представления о причинах, лежащих в основе этих фактов. Прежде для объяснения почти каждой группы явлений принимали какое-нибудь особое тело, например «теплород», которое считали невесомым, или еще прежде — так называемый «флогистон», который даже должен был иметь отрицательный вес, теперь все более и более приближаются к признанию того, что все явления природы сводятся на движения самых маленьких частиц, из которых состоит материя.

«Природа и землеведение»,
1866, с. 226.

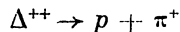
ИТАЛИЯ

Доктор Джузеппе Ортори обнаружил в Миланской библиотеке важное сочинение Леонардо да Винчи, исследование о разных феноменах света, интересных для живописцев. Рукопись написана на пергаменте, состоит из 112 страниц. Итальянские ученые полагают, что хотя наука сделала много успехов со времени Леонардо да Винчи, но книга его тем не менее производит впечатление в мире ученых и художников.

«Современная летопись»,
№ 18 5 июня 1866 г.

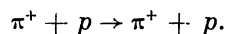


244 странности. Так, например, если существует какая-нибудь частица Δ^{++} с зарядом +2, барионным числом +1, странностью 0 и с массой, большей суммы масс протона и пиона, то распад



происходит за счет сильного взаимодействия (S сохраняется). Δ^{++} имеет время жизни порядка 10^{-22} секунд. За такое короткое время эта частица не успевает пролететь даже самое короткое расстояние, которое можно было бы отметить. Практически она сразу распадается после рождения, в том самом месте, где она родилась. Однако, изучая продукты распада таких частиц, можно установить их свойства. Эти частицы обычно называют резонансами. Такое название появилось по следующей причине.

Рассмотрим, например, рассеяние π^+ -мезона на протоне:



Допустим, что существует частица Δ^{++} с указанными выше свойствами. Тогда в случае, если энергия π^+ -мезона имеет некоторую, вполне определенную величину, он может вместе с протоном образовать Δ^{++} , которая затем распадается опять же на π^+ -мезон и протон. Эта ситуация приводит к тому, что вероятность процесса рассеяния при упомянутой энергии превышает вероятность рассеяния при других энергиях. Если нарисовать кривую этой вероятности в зависимости от энергии, она будет напоминать кривую резонанса с характерным пиком, известную, скажем, из электротехники и радиотехники (рис. 3).

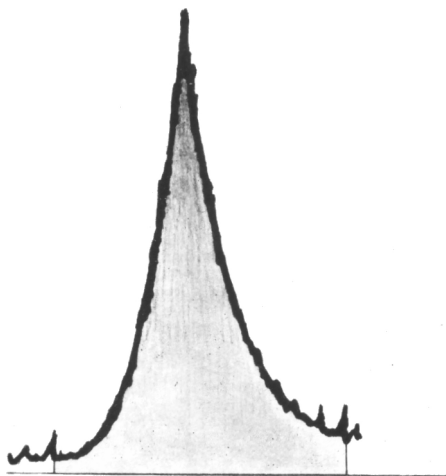


Рис. 3

Характеристики элементарных частиц и некоторых твердо установленных резонансов приведены в таблице 1.

Мы говорили о сильных и слабых взаимодействиях. Давно известно еще одно взаимодействие — электромагнитное, заключающееся в испускании и поглощении фотонов другими частицами. Именно благодаря обмену фотонами заряженные частицы притягиваются или отталкиваются.

ИЗОТОПИЧЕСКАЯ ИНВАРИАНТНОСТЬ

Все элементарные частицы, как мы уже говорили, тем или иным свойством отличаются друг от друга, но обычно обладают и рядом сходных свойств. Изучить сходство различных частиц и провести их классификацию — это одно из важнейших направлений в физике элементарных частиц. Для создания единой теории структуры частиц такие предварительные знания являются необходимыми. Они составляют содержание так называемой теории симметрии элементарных частиц.

Теория симметрии началась с изучения одинаковых свойств протона и нейтрона. Мы знаем, что эти частицы, называемые нуклонами, имеют один и тот же спин $1/2$. Их массы также очень мало отличаются. Протоны и нейтроны образуют атомные ядра всех веществ. Отметим, что если бы в природе имелся только один тип взаимодействия — электромагнитное взаимодействие, то протоны не могли бы находиться в ядрах, ведь они имеют заряд одного знака и отталкивались бы по закону Кулона. Ядра могут существовать благодаря тому, что между нуклонами действуют особые силы притяжения, называемые ядерными силами. Когда нуклоны находятся на малых расстояниях порядка радиуса ядра (10^{-13} см), эти ядерные силы существенно превосходят электрические силы отталкивания протонов. Источник ядерных сил — это сильное взаимодействие: ядерные силы между нуклонами возникают благодаря тому, что они обмениваются пионами, подобно тому, как электрические силы отталкивания и притяжения возникают в результате обмена фотонами. Именно эти рассуждения привели к открытию пионов японским физиком Юкавой за восемь лет до экспериментального их обнаружения.

Изучение структуры ядер и процессов рассеяния протонов и нейтронов показывает, что ядерные силы между двумя протонами, двумя нейтронами или между протоном и нейтроном совершенно одинаковы, то есть протон и нейтрон во многих отношениях ведут себя одинаково. Они отличаются только

	Частицы и резонансы	Масса (в электронных массах)	Спин	Некоторые основные типы распадов
Фотон	γ	0	1	стабилен
Лептоны	нейтрино ν	0	1/2	} стабильны $e^\pm \nu \bar{\nu}$
	антинейтрино $\bar{\nu}$	0	1/2	
	электрон e^-	1	1/2	
	позитрон e^+	1	1/2	
	мюоны μ^+, μ^-	210	1/2	
Мезоны и мезонные резонансы	π^+, π^-, π^0	270	0	$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu, \pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$ $K^\pm \rightarrow \mu^\pm \nu, K^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ $\gamma\gamma, 3\pi^0, \pi^+, \pi^-, \pi^0$ $\gamma 2\pi, \eta 2\pi$ 2π $K\pi$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$ 2π 2π $K\pi$ $K_1 K_1, K K^*$ $\rho\pi$
	K^+, K^0, K^-, \bar{K}^0	970	0	
	η	1080	0	
	χ	1880	0	
	ρ^+, ρ^-, ρ^0	1500	1	
	K^{*+}, K^{*0}	1750	1	
	ω	1510	1	
	φ	1980	1	
	f	2490	2	
	K^{**}	2750	2	
	f'	3000	2	
	A_2	2570	2	
	Барионы и барионные резонансы	протон p	} 1840	
нейтрон n				
Λ		2180	1/2	
$\Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0$		2340	1/2	
Ξ^0, Ξ^-		2580	1/2	
$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-$		2430	3/2	
$\Sigma^{*+}, \Sigma^{*-}, \Sigma^{*0}$		2700	3/2	
Ξ^{*0}, Ξ^{*-}		3000	3/2	
Ω^-		3300	3/2	

своими зарядами (нейтрон его не имеет), магнитными моментами и массами. С точки зрения современной теории элементарных частиц различие масс протона и нейтрона обуславливается тем, что у них разные заряды и магнитные моменты. Дело в том, что каждая из этих частиц создает в окружающем ее пространстве электромагнитное поле, которое, в свою очередь, действует на данную частицу. В результате этого взаимодействия масса частицы меняется. Поскольку протон и нейтрон имеют разные заряды и магнитные моменты, они создают разные электромагнитные поля, что и приводит к различию в их массе. Допустим на минуту, что электромагнитного взаимодействия не существует, фотона вообще нет в природе. В таком случае протон и нейтрон ничем не отличаются. Их массы также становятся равными. Они вели бы себя одинаково во всех процессах, в лю-

бых опытах, и мы считали бы их одной частицей.

Такая приблизительная тождественность весьма похожа на неразличимость двух спиновых состояний электрона при отсутствии магнитного поля. Пусть в пространстве без магнитного поля имеется поток электронов, движущихся с одной и той же скоростью. Мы знаем, что в этом потоке содержатся электроны с разными проекциями спина (проекции на некоторое направление). Однако без магнитного поля два разных спиновых состояния электронов отличить невозможно. Два этих разных по существу явления весьма подобны по виду. По аналогии с тем, что состояния электронов отличаются проекциями спина на некоторое направление (будем всегда выбирать в качестве этого направления ось Oz прямоугольной системы координат), для описания симметрии протона и нейтрона был

предложен следующий прием. Вводится некоторая величина I , называемая изотопическим спином (изоспином). Протон и нейтрон рассматриваются как два состояния одной и той же частицы — нуклона, которая имеет изотопический спин $1/2$.

Изотопический спин связан с некоторым мысленным пространством — изотопическим пространством таким же образом, как и обычный спин связан с нашим трехмерным пространством. Проекция изотопического спина нуклона на некоторое направление (направление оси Oz) в изотопическом пространстве может принимать два значения: $I_z = +1/2$ и $I_z = -1/2$. Состояние нуклона с $I_z = +1/2$ отождествляется с протоном, а состояние с $I_z = -1/2$ — с нейтроном. Говорят также, что протон и нейтрон образуют изотопический «дублет».

Неразличимость протона и нейтрона при отсутствии электромагнитного взаимодействия означает теперь, что две разные ориентации изотопического спина (по и против направления оси Oz) в изотопическом пространстве нельзя различить. По аналогии с изотропностью (независимостью от направления) нашего пространства предполагают, что изотопическое пространство также изотропно: при любом вращении в изотопическом пространстве характеристики систем частиц не меняются. Это свойство называют также изотопической инвариантностью. Неразличимость протона и нейтрона является одним из следствий изотопической инвариантности. На математическом языке изотопическая инвариантность означает сохранение изотопического спина системы частиц в любых процессах превращения этих частиц.

Здесь следует отметить, что если наше реальное пространство является объективной формой существования материи, то изотопическое пространство — это лишь мысленное пространство, математическое понятие, введенное ради удобства для описания некоторых свойств симметрии элементарных частиц. Изотопическая инвариантность представляет, конечно, объективную реальность, отражающую глубокие внутренние свойства элементарных частиц.

Теория изотопической инвариантности была создана при изучении ядерных сил, действующих между нуклонами. Поскольку источником ядерных сил является взаимодействие нуклонов с пионами (эти силы возникают в результате испускания пиона одним нуклоном и поглощения этого пиона другим нуклоном), изотопическая инвариантность ядерных сил может иметь место только в том

случае, когда испускание и поглощение пионов нуклонами обладают этим свойством симметрии. Вначале были обнаружены только отрицательный и положительный пионы. Теоретические расчеты показали, что для объяснения равенства ядерных сил между двумя нейтронами, между двумя протонами и между протоном и нейтроном необходимо предположить существование нейтрального пиона. И последний также был открыт. Три пиона π^- , π^0 и π^+ имеют один и тот же спин 0, их массы приблизительно равны. Без электромагнитного взаимодействия они вели бы себя одинаково во всех процессах и были бы неразличимыми. Их рассматривают как три состояния одной и той же частицы с изотопическим спином $I=1$. Для такой частицы проекция изотопического спина I_z может принимать три значения: -1 , 0 , $+1$. Состояние с $I_z = -1$ отождествляется с π^- , состояние с $I_z = 0$ — с π^0 , а $I_z = +1$ с π^+ . Говорят также, что пионы образуют изотопический «триплет».

После открытия странных частиц теорию изотопической инвариантности попытались обобщить и применить к этим новым частицам. Оказывается, что три Σ -гиперона образуют триплет, два Ξ -гиперона, два каона и два антикаона образуют три различных дублета. Что касается Λ -гиперона, то его изотопический спин равен нулю. Это — изотопический синглет. Массы частиц в каждом изотопическом мультиплете — дублете, триплете — отличаются незначительно. Без электромагнитного взаимодействия различить компоненты изотопического мультиплетета было бы невозможно. Здесь уместно рассказать об истории открытия Σ^0 -гиперона. Вначале были обнаружены Σ^+ , Σ^- и Λ -гипероны. Однако, ввиду большой разницы масс Σ и Λ эти частицы нельзя включить в один триплет. Тогда предположили, что должен существовать Σ^0 -гиперон, который и был затем обнаружен.

Итак, известные барионы и мезоны можно классифицировать по их изотопическим спинам: они образуют изотопические мультиплеты. Резонансы также обладают этим свойством. Изотопические спины и их проекции для барионов, мезонов и резонансов даны в таблице 2.

МЕЗОНЫ КАК СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩИЕ ИЗ БАРИОНА И АНТИБАРИОНА

Проблема структуры элементарных частиц была поставлена фактически на самом на-

Таблица 2

	Частицы	Изотопический спин I	Проекция изотоп. спина I_z	Гиперзаряд	
Мезоны и мезонные резонансы	спин 0	π^+	1	1	0
		π^0		0	
		π^-	1/2	-1	1
		K^+		1/2	
		K^0	1/2	-1/2	-1
		\bar{K}^0		1/2	
		K^-	0	0	0
	η	0	0	0	
	X	0	0	0	
	спин 1	ρ^+	1	1	0
		ρ^0		0	
		ρ^-	1/2	-1	1
		K^{*+}		1/2	
		K^{*0}	1/2	-1/2	-1
		\bar{K}^{*0}		1/2	
		\bar{K}^{*-}	0	0	0
	ω	0	0	0	
	ϕ	0	0	0	
спин 2	A_2^+	1	1	0	
	A_2^0		0		
	A_2^-	1/2	1	1	
	K^{*++}		1/2		
	K^{*+0}	1/2	-1/2	-1	
	\bar{K}^{*+0}		1/2		
	K^{*-}	0	0	0	
f'	0	0	0		
Барiony и барийные резонансы	спин 1/2	p	1/2	1/2	0
		n		-1/2	
		Λ	0	0	0
		Σ^+		0	
		Σ^0	1	1	-1
		Σ^-		0	
		Ξ^0	1/2	-1	-2
	Ξ^-	1/2			
	Ξ^-	-1/2			
	спин 3/2	Δ^{++}	3/2	3/2	0
		Δ^+		1/2	
		Δ^0		-1/2	
		Δ^-		-3/2	
		Σ^{*+}	1	1	-1
Σ^{*0}		0			
Σ^{*-}		1/2	-1	-2	
Ξ^{*0}	1/2				
Ξ^{*-}	0	-1/2	-3		
Ω^-		0			

247

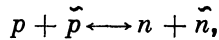
чальном этапе развития физики элементарных частиц. Число обнаруженных частиц увеличивается с каждым днем, и все больше возрастает необходимость изучения их структуры. При этом естественно предположить, что большинство известных частиц или все они образуются из некоторых более элементарных частиц — фундаментальных частиц, которых, конечно, немного. Фундаментальными могут быть некоторые из известных уже частиц, но, может быть, ими являются гипотетические частицы, которые сегодня обнаружить еще нельзя.

Попробуем сначала искать кандидатов в фундаментальную частицу среди известных мезонов и барионов (напомним, что здесь мы рассматриваем только мезоны, барионы и резонансы). Отметим прежде всего, что согласно закону сложения моментов импульса (обычное правило параллелограмма) из двух частиц со спином $1/2$, например, можно образовать систему со спинами 0 и 1, но из частиц со спинами 0, 1, 2... и так далее нельзя образовать систему со спинами $1/2$, $3/2$... и т. д. Поэтому в качестве фундаментальных частиц необходимо выбрать барионы, спин которых, как мы знаем, равен $1/2$. Система бариона и антибариона имеет барионное число, равное нулю, так как для бариона оно равно $+1$, а для антибариона — -1 . Следовательно, мезоны могут быть составлены из бариона и антибариона. Модель такого рода была предложена американскими физиками Э. Ферми и Ч. Янгом. Вскоре после открытия пионов они выдвинули гипотезу о том, что пионы состоят из нуклона и антинуклона. Каждый нуклон примерно в семь раз тяжелее пиона, а сумма масс нуклона и антинуклона в 14 раз больше массы пиона. Поэтому естественно возникает вопрос: могут ли две тяжелые частицы образовать легкую? Ответ: могут. В микромире такое явление оказывается нормальным. Согласно теории относительности масса M и энергия E нуклона, например, связаны соотношением $E = Mc^2$, где c — скорость света. Если не существует взаимодействия, то система покоящихся нуклона и антинуклона имеет энергию $2Mc^2$. Однако между ними имеется весьма сильное притяжение, в результате чего возникает некоторая потенциальная энергия (энергия связи), которую обозначаем через U . Полная энергия системы нуклон — антинуклон равна $2Mc^2 - U$, а ее масса равна отношению этой энергии к c^2 , то есть равна $2M - \frac{U}{c^2}$. Если $\frac{U}{c^2}$ достаточно велико и равно приблизительно $2M$, то разность $2M - \frac{U}{c^2}$ будет малой величиной. Таким об-

248 разом, возможна интерпретация пиона как системы нуклона и антинуклона. Тот факт, что масса пиона мала, лишь подтверждает наличие весьма сильного притяжения между нуклоном и антинуклоном.

Здесь следует сделать одно замечание. Мы рассматриваем ядерные силы как результат обмена пионами. Сильное притяжение, благодаря которому нуклон и антинуклон образуют пион, должно отличаться от обычных ядерных сил и иметь другое происхождение. Однако результатов в исследованиях сущности этого притяжения фактически еще нет, поэтому мы не будем останавливаться на этом вопросе.

Нуклон и антинуклон имеют изотопический спин $I=1/2$, следовательно, изотопический спин системы нуклона и антинуклона может быть равен 0 или 1. Очевидно, что отождествление пиона с системой нуклон — антинуклон возможно также и по изотопическим свойствам этих частиц. Система протон — антинейтрон ($p\bar{n}$) имеет заряд $+1$ и может рассматриваться как π^+ , а система нейтрон — антипротон ($n\bar{p}$) с зарядом -1 — как π^- . Могут существовать две нейтральные системы: протон — антипротон ($p\bar{p}$) и нейтрон — антинейтрон ($n\bar{n}$). Между этими парами постоянно происходят процессы взаимного превращения



и мы не можем говорить о существовании одной пары без другой — они всегда существуют одновременно. Такие смешанные системы могут иметь изотопические спины 1 и 0. Обычно систему с $I=0$ обозначают выражением

$$\tilde{p}\bar{p} + n\bar{n},$$

а систему с $I=1$ выражением

$$\tilde{p}\bar{p} - n\bar{n}.$$

Для этих двух систем проекция изотопического спина I_z равна нулю. Итак, имеются четыре изотопических состояния системы нуклон — антинуклон:

$$I = 1 \begin{cases} I_z = +1 & p\bar{n} (\pi^+) \\ I_z = 0 & \tilde{p}\bar{p} - n\bar{n} (\pi^0) \\ I_z = -1 & n\bar{p} (\pi^-) \end{cases}$$

$$I = 0 \quad I_z = 0 \quad p\bar{p} + n\bar{n}.$$

Пионы являются тремя состояниями первого типа и составляют триплет. Состояние с $I=0$ представляет собой некоторый синглет.

Обобщая идею Ферми и Янга, академик М. А. Марков развил теорию, в которой все мезоны — и пионы, и каоны — состоят из

нуклонов и гиперонов (и их античастиц). Более усовершенствованная схема была предложена японским физиком С. Сакатой — все частицы образуются из трех барионов: протона (p), нейтрона (n) и лямбда-гиперона (Λ) и их античастиц. Эту модель называют триплетной моделью, а ее фундаментальные частицы — сакатонами и антисакатонами. Как и в модели Ферми и Янга, в триплетной модели Сакаты пионы являются системами нуклона и антинуклона. Что касается каонов K^+ , K^0 и антикаонов K^- , \bar{K}^0 , то они представляются как системы $p\bar{\Lambda}$, $n\bar{\Lambda}$, $\Lambda\bar{p}$ и $\Lambda\bar{n}$ соответственно. Изотопические спины и странности этих систем такие же, как изотопические спины и странности соответствующих мезонов.

Итак, в этой модели только p , n и Λ — фундаментальные частицы. Все остальные барионы — составные системы. В частности, Σ -гипероны рассматриваются как системы пион — лямбда, а Ξ -гипероны — как системы антикаон — лямбда. Изотопические спины и странности этих систем и соответствующих гиперонов одинаковы.

Изотопическая инвариантность приводит к тому, что свойства систем, отличающихся друг от друга только заменой p и n на \bar{p} и \bar{n} , полностью одинаковы. Естественно обобщить это свойство симметрии и предположить, что все системы, отличающиеся друг от друга лишь заменой сакатонов на антисакатоны, обладают одинаковыми свойствами (за исключением разницы в массе). Так, например, π^+ и K^+ , рассматриваемые как состояния $p\bar{n}$ и $p\bar{\Lambda}$, переходят друг в друга, если заменить $\bar{n} \longleftrightarrow \bar{\Lambda}$.

Мы рассмотрели семь систем сакатон — антисакатон (пионы и каоны), которые могут отождествляться с известными мезонами. Однако из трех сакатонов и трех антисакатонов можно образовать девять различных систем, а именно:

$$p\bar{n}, p\bar{\Lambda}, n\bar{p}, n\bar{\Lambda}, \Lambda\bar{p}, \Lambda\bar{n},$$

$$p\bar{p} - n\bar{n}, p\bar{p} + n\bar{n}, \Lambda\bar{\Lambda}.$$

Вследствие полной симметрии между сакатонами, которую мы предположили, наряду с семью первыми системами должны существовать и две последние.

Семь первых систем имеют один и тот же спин (нуль). Тогда имеют спин нуль и две последние нейтральные системы с изотопическим спином и странностью, также равными нулю. В настоящее время открыты две такие системы: η -мезон и X -мезон (см. таб-

лицу резонансов). Оказывается, что X-мезон описывается выражением

$$p\tilde{p} + n\tilde{n} + \Lambda\tilde{\Lambda},$$

а η -мезон — выражением

$$p\tilde{p} + n\tilde{n} - 2\Lambda\tilde{\Lambda}.$$

Напомним, что среди четырех состояний системы нуклон — антинуклон синглетное состояние, выражаемое суммой $p\tilde{p} + n\tilde{n}$, по своим изотопическим свойствам отличается от трех остальных. Аналогично, среди девяти мезонов X-мезон выделяется и называется синглетом, а восемь остальных образуют так называемый октет (или октуплет). В настоящее время известны также девять мезонов со спином 1 и девять мезонов со спином 2 (резонансы). Оказывается, что эти мезоны также укладываются в рамки триплетной модели: между ними и мезонами со спином 0 имеется полное соответствие, изотопические спины и странности соответствующих мезонов с разными спинами равны.

Рассмотрим теперь составные гипероны. Поскольку имеются три сакатона и девять мезонов со спином 0, то существуют 27 систем, которые можно составить из сакатонов и мезонов со спином 0. Пять систем: $\Lambda\pi^+$, $\Lambda\pi$, $\Lambda\pi^0$, $\Lambda\tilde{K}^0$, ΛK^- — это Σ - и Ξ -гипероны со спином 1/2. Наряду с ними должны существовать и другие системы, например $p\pi^+$, с тем же спином. Однако спин резонанса Δ^{++} , который может быть отождествлен с системой $p\pi^+$, равен 3/2. Более того, до сих пор еще не были наблюдаемы все 27 нужных частиц. Итак, триплетная модель также не позволяет успешно провести классификацию барионов.

ВОСЬМЕРИЧНЫЙ ПУТЬ И КВАРКИ

Существование семейств мезонов со спинами 0, 1 и 2, каждое из которых имеет 9 частиц, а также другие свойства симметрии частиц в каждом семействе являются следствиями не только изложенной триплетной модели. Можно придумать многие другие модели, которые позволяют провести классификацию этих мезонов с таким же успехом, что и триплетная модель Сакаты. Была сделана попытка описывать эти свойства симметрии при помощи некоторого математического аппарата — аппарата теории групп без обращения к конкретным структурным моделям. В модели Ферми и Янга свойства симметрии пионов в изотопическом пространстве вытекают из изотопической инвариантности взаимодействия нуклонов, но эти свойства симметрии пионов могут быть также и в случае, когда

пионы в действительности не являются системами нуклона и антинуклона. Такая точка зрения лежит в основе так называемой теории симметрии элементарных частиц.

В теории симметрии вместо странности S удобно пользоваться другой величиной, называемой гиперзарядом Y и равной сумме странности S и барионного числа B :

$$Y = S + B.$$

Рассмотрим октет мезонов со спином 0. Их изотопические спины и гиперзаряды следующие:

Частицы	I	Y
π^+ , π^- , π^0	1	0
K^+ , K^0	1/2	1
K^- , \tilde{K}^0	1/2	-1
η	0	0

Любопытно, что между этими мезонами и восемью барионами существует полное соответствие: изотопические спины и гиперзаряды барионов такие же, как и у мезонов

Частицы	I	S	$Y = S + B$
Σ^+ , Σ^0 , Σ^-	1	-1	0
p , n	1/2	0	1
Ξ^0 , Ξ^-	1/2	-2	-1
Λ	0	-1	0

Американский и израильский физики М. Гелл-Манн и Ю. Неэман впервые обратили внимание на это явление и предложили теорию симметрии, в которой семейство барионов и семейство мезонов классифицируются одинаково: они образуют два различных октета. Эта теория симметрии носит название «октетная модель» или «восьмеричный путь». Затем на основе некоторой гипотезы о симметрии взаимодействия была получена общая формула, связывающая значение масс частиц в каждом семействе и находящаяся в хорошем согласии с опытом. Все известные мезонные и барионные резонансы также можно успешно классифицировать в рамках октетной модели. В частности, Δ^{++} -резонанс, о котором речь шла выше, является членом семейства десяти частиц, называемого десиметом (или декуплетом). Сначала были обнаружены только девять частиц этого десимета:

$$\Delta^{++}, \Delta^+, \Delta^0, \Delta^-, Y^+, Y^0, Y^-, \Xi^0, \Xi^-.$$

Все они имеют спин 3/2. Массы этих резонансов удовлетворяют общей массовой формуле. Теория предсказывает, что изотопический спин десятой частицы равен нулю, заряд — 1, а странность — 3. Это предсказание пол-

ностью подтвердилось на опыте: такая частица была обнаружена. Ее называют Ω -гипероном. Масса Ω -гиперона также совпадает с величиной, вычисленной на основе общей формулы октетной модели. Теория предсказывает также, что спин Ω -гиперона должен быть равен $3/2$. Экспериментальное определение спина этой частицы имело бы фундаментальное значение для проверки теории.

Свойства симметрии барионов, мезонов и резонансов в октетной модели, по-видимому, представляют собой проявление какой-то внутренней структуры частиц, которая пока еще неизвестна. Были попытки создать различные схемы построения частиц, обеспечивающие их свойства симметрии. Самая простая из таких моделей — модель кварков — была предложена независимо американским физиком М. Гелл-Манном и Г. Цвейгом из ФРГ. Как и в модели Сакаты, здесь имеются три фундаментальные частицы со спином $1/2$ — кварки. Каждый мезон и мезонный резонанс со спином 0 или 1 состоит из кварка и антикварка. Что касается октета барионов и десимета барионных резонансов, то все частицы этих семейств образуются из трех кварков. По сравнению с известными частицами кварки обладают некоторыми странными свойствами: их заряды не целые, а дробные. Обозначим через q_1 , q_2 и q_3 — три кварка, а через \tilde{q}_1 , \tilde{q}_2 и \tilde{q}_3 — антикварки. Тогда их изотопические спины, заряды и гиперзаряды равны:

Кварки и антикварки	I	Q	Y
q_1	$1/2$	$2/3$	$1/3$
q_2	$1/2$	$-1/3$	$1/3$
q_3	0	$-1/3$	$-2/3$
\tilde{q}_1	$1/2$	$-2/3$	$-1/3$
\tilde{q}_2	$1/2$	$1/3$	$-1/3$
\tilde{q}_3	0	$1/3$	$2/3$

Барионное число кварка равно $1/3$, так как барион — система из трех кварков — имеет барионное число 1.

Изучение свойств барионов и барионных резонансов как систем из трех кварков привело к значительным результатам и поставило перед физиками-теоретиками новые проблемы.

В качестве одного из успехов теории кварков можно привести историю с магнитным моментом нейтрона. Мы уже говорили раньше, что объяснение существования магнитного момента нейтрона представляется делом довольно сложным. Во всяком случае, то объ-

яснение, которое мы дали, не устраивает физиков. Гипотеза кварков справилась с этой трудностью. Если считать, что магнитные моменты кварков пропорциональны их электрическим зарядам, то отношение магнитных моментов нейтрона и протона получается равным $-2/3$, что великолепно согласуется с опытом. Это — замечательный успех теории.

К сожалению, кварки с дробными зарядами до сих пор еще не обнаружены. Были проведены различные опыты по поискам частиц с дробными зарядами, но результат пока отрицательный. Этот отрицательный результат ученые объясняют тем, что масса кварков слишком велика для того, чтобы кварки могли рождаться в результате реакций на ускорителях с существующей сейчас энергией.

Но тогда возникает следующая проблема. Ведь барионы и мезоны, как известно, имеют массу меньше, чем предполагаемая масса кварков, из которых они состоят. А это может быть только в том случае, если кварки (и антикварки) очень сильно притягиваются, то есть система обладает большой энергией связи. Мы уже упоминали об этом, когда рассматривали вопрос, могут ли две тяжелые частицы образовать легкую. Тогда состояния из двух, четырех или пяти кварков, например, также могут обладать небольшой массой и, естественно, дробным зарядом. Возникает возможность обнаружить такие состояния в экспериментах по поискам частиц с дробным зарядом. Тем не менее, до сих пор системы с небольшими массами и дробными зарядами не обнаружены.

Из теории движения электрона и мюона следует, что магнитные моменты этих частиц пропорциональны их зарядам и обратно пропорциональны их массам. Было бы естественно предположить, что для кварков это тоже так. Но тогда, вследствие большой массы кварков, их магнитные моменты должны быть малы.

В то же время из теории самих кварков и экспериментального значения величины магнитного момента барионов следует, что последняя должна быть большой. Группа теоретиков Объединенного института ядерных исследований во главе с его директором академиком Н. Н. Боголюбовым и профессором А. Н. Тавхелидзе разрешила это противоречие. Они показали, что кварки, образующие барионы, могут иметь большие магнитные моменты в отличие от свободных кварков, то есть кварков, существующих отдельно, магнитные моменты которых оказываются весьма малыми.

Мы говорили уже о резонансе Δ^{++} . Это — система из трех кварков q_1 , каждый из которых имеет заряд $+2/3$. Спин Δ^{++} равен $3/2$. Ясно, что если проекция спина равна $+3/2$ или $-3/2$, то спины всех кварков имеют проекцию $+1/2$ или $-1/2$ соответственно. Итак, три одинаковых кварка в резонансе Δ^{++} с проекцией спина $+3/2$ или $-3/2$ находятся в одинаковых состояниях. Однако с точки зрения существующей теории элементарных частиц две одинаковые частицы со спином $1/2$, $3/2$, $5/2$ и т. д. не могут находиться в одной системе в одном состоянии. Это — известный принцип Паули, без которого нельзя объяснить структуру атомов и атомных ядер. И так, возникает непонятное явление: кварки сами не подчиняются принципу Паули, в то время как системы из трех кварков ему подчиняются. Выход из этого положения был предложен академиком Боголюбовым с сотрудниками и независимо японским физиком Намбу. Они показали, что если предположить существование не трех, а девяти фундаментальных частиц — кварков, то экспериментальные данные можно объяснить, не вступая в противоречие с принципом Паули.

ТЕОРИЯ СИММЕТРИИ С БЕСКОНЕЧНЫМИ МУЛЬТИПЛЕТАМИ

Существующая теория кварков весьма примитивна. Структура элементарных частиц может оказаться гораздо более сложной, чем в модели кварков. Эта, пока еще неизвестная структура обязательно должна каким-то образом сказаться на характеристиках частиц, на их поведении в процессах взаимного превращения. Были попытки создать теорию симметрии, в которой все свойства и характеристики частиц, отражающие их внутреннюю структуру, описываются с помощью некоего математического аппарата — теории групп, о которой мы уже упоминали. Вместо построения теории структуры частиц пытаются классифицировать их на основе внешних проявлений этой неизвестной структуры. Этот путь аналогичен тому, когда изучение химических свойств элементов, их классификация и изучение серий спектральных линий способствовали развитию теории строения атома.

В сегодняшних поисках новой теории симметрии физики поставили ряд конкретных задач. Любая новая теория должна, напри-

мер, объяснить упомянутое выше отношение магнитных моментов нейтрона и протона. Такая теория должна также учитывать принципы теории относительности и квантовой теории. Пока известна лишь одна такая теория симметрии, удовлетворяющая всем этим требованиям. В ее рамках должно существовать бесконечное число частиц, образующих бесконечные мультиплеты. Эта теория была предложена итальянским и голландским физиками П. Будиной и К. Фронсдалом. В ее развитие внес вклад автор данной статьи и его коллеги из Объединенного института ядерных исследований.

Летом 1966 г. на международной школе по теоретической физике в Ялте английский физик П. Мэтьюс в своей лекции высказал утверждение, что теория симметрии с бесконечными мультиплетами противоречит принципу Паули. В действительности это не так. Трудность возникает, если построить схему симметрии по методу Мэтьюса, но существует и другой метод, свободный от этого противоречия. Упомянутый метод был предложен автором статьи и высказан в его лекции в Ялте (одновременно и независимо этот метод был предложен Фронсдалом).

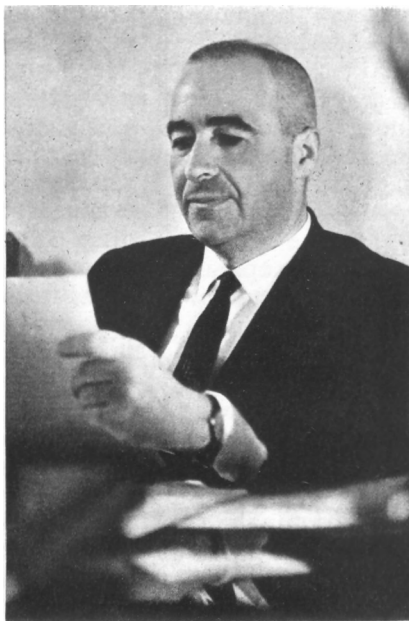
В теории симметрии с бесконечными мультиплетами физикам приходится применять весьма сложный математический аппарат. Сама теория находится в начальной стадии развития и в ней много трудностей математического характера. Судьба теории зависит от того, будет ли в будущем число обнаруженных элементарных частиц возрастать неограниченно (пока такая тенденция существует). Если число частиц действительно бесконечно и исходные гипотезы теории правильны, то все трудности математического характера будут преодолены.

Исследования по классификации и структуре элементарных частиц достигли значительных успехов. Однако перед нами стоит множество новых проблем. Нам недостаточно знать, из каких кирпичей строятся дворцы «элементарных частиц» — необходимо знать, как они строятся. Заведомо можно сказать, что структура элементарных частиц существенно отличается от структуры атомов или атомных ядер. Явления, происходящие внутри элементарной частицы, подчиняются своеобразным законам, которые нам пока еще неизвестны. Но человек, несомненно, откроет эти законы, и найдет им применение.



МАРК ЯКОВЛЕВИЧ АЗБЕЛЬ (р. 1932) — физик-теоретик, доктор физико-математических наук, профессор.

Родился в Полтаве. В 1948 поступил в университет. С 1953 по 1955 после окончания университета преподавал математику в вечерней школе рабочей молодежи. В 1955 после защиты кандидатской диссертации начал работать в Харьковском физико-техническом институте АН УССР. В начале 1958 М. Я. Азбель защищает докторскую диссертацию в Институте физических проблем АН СССР в Москве. В 1964 переезжает в Москву и начинает преподавательскую деятельность в Московском государственном университете. С 1965 работает в Институте теоретической физики АН СССР, созданном учениками академика Л. Д. Ландау.



ИЛЬЯ МИХАЙЛОВИЧ ЛИФШИЦ (р. 1917) — физик-теоретик, член-корреспондент АН СССР и АН УССР, председатель Научного совета по теории твердого тела АН СССР.

Родился в Харькове. В 1938 окончил физико-механический факультет Харьковского механико-машиностроительного института. Одновременно, в течение 1935—1936, экстерном закончил математическое отделение Харьковского государственного университета. Начиная с 1937 работал в Физико-техническом институте АН УССР. С 1941 заведует отделом теоретической физики в этом институте. В 1939 защитил кандидатскую диссертацию по теории твердых растворов, а в начале 1941 — докторскую диссертацию по динамической теории реальных кристаллов и их инфракрасной оптике. За исследования по динамической теории реальных кристаллов был удостоен премии им. Л. И. Мандельштама АН СССР за 1951. В 1948 был избран членом-корреспондентом АН УССР, в 1960 — членом-корреспондентом АН СССР. И. М. Лифшиц — автор свыше 150 работ в области теоретической физики. Главное направление исследований связано с различными проблемами теории твердого тела и квантовой теории конденсированного состояния вещества. За работы по электронной теории металлов И. М. Лифшиц был удостоен премии им. Ф. Симона Английского физического общества за 1961 г. И. М. Лифшиц является

редактором (от СССР) международного журнала «*Physics and Chemistry of Solids*», членом ряда научных советов, членом ЮПАИ (Ассоциации чистой и прикладной физики).

Начиная с 1938 И. М. Лифшиц занимается педагогической деятельностью. С 1944 — заведующий кафедрой статистической физики Харьковского государственного университета, с 1964 — профессор Московского государственного университета.

МАРК ЯКОВЛЕВИЧ АЗБЕЛЬ
ИЛЬЯ МИХАЙЛОВИЧ ЛИФШИЦ

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И МЕТАЛЛЫ

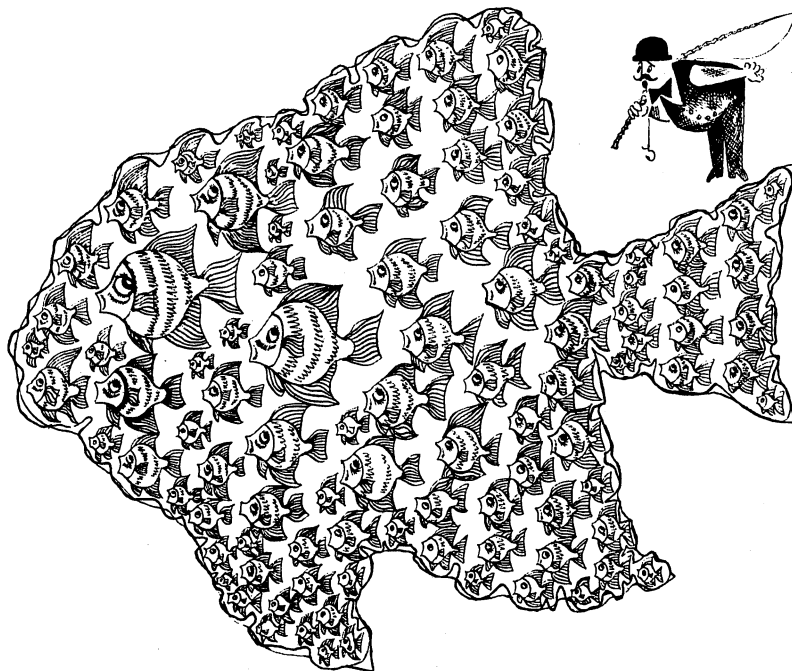
ЧАСТИЦЫ И КВАЗИЧАСТИЦЫ

Что интересного и неясного в «обычных» металлах? Много ли частиц в кристалле? Что движется при коллективных возбуждениях? Чем определяются свойства квазичастиц и что такое «вакуум движения»? «Вакуум движения» и сверхпроводимость. Сколько может быть сортов квазичастиц?

Увидев название этой статьи, читатель, пожалуй, задумается: что необычного может быть в самых обыкновенных металлах? То ли дело гигантские ускорители, где рождаются новые элементы, где сталкиваются, давая жизнь странному даже по названию частицам, сверхбыстрые нуклоны,— вот это сегодняшняя наука! То ли дело осуществившие мечты фантастов квантовые генераторы, которые прожигают стальные плиты, дают све-

товое давление в тысячи тонн, а скоро будут двигать спутники на орбитах — вот это завтрашняя техника! Ну в крайнем случае, интересно прочесть о таких удивительных, по словам ученых, явлениях, как сверхпроводимость и сверхтекучесть. Однако в действительности то, что становится одним из «открытий века», часто рождается из самых незаметных вещей, из самых простых, казалось бы, вопросов. Не случайно слова «физика твердого тела» попадают теперь в печать чаще, чем слова «термоядерные реакции».

Первые же сведения о металлах заставляют задуматься. Все привыкли к тому, что средняя скорость движения частиц связана с температурой. Но скорость электронов в металлах не зависит от температуры и даже при абсолютном нуле составляет тысячи километров в секунду! Далее, в металлах достигнута сантиметровая длина свободного



пробега электронов. (Длина свободного пробега — средний путь, проходимый частицей без столкновений). Значит, электрон пролетает сотни миллионов ионов, не столкнувшись с ними! Это так же удивительно, как если бы пуля, выпущенная наугад в густом лесу, пролетела бы в нем тысячи километров, не задев при этом ни одного из деревьев.

Дать объяснение явлений, происходящих в твердых телах, чрезвычайно трудно. Ведь речь идет о системе, состоящей из поистине невообразимого множества частиц — в каждом кубическом сантиметре твердого тела тысячи миллиардов миллиардов частиц.

Трудно рассчитать полет ракеты, чтобы она попала на Луну или Марс, так как ее «сбивают с пути» все планеты Солнечной системы. Но их всего девять!

Трудно планировать развитие хозяйства целой страны, а ведь на всей земле «всего» три миллиарда человек.

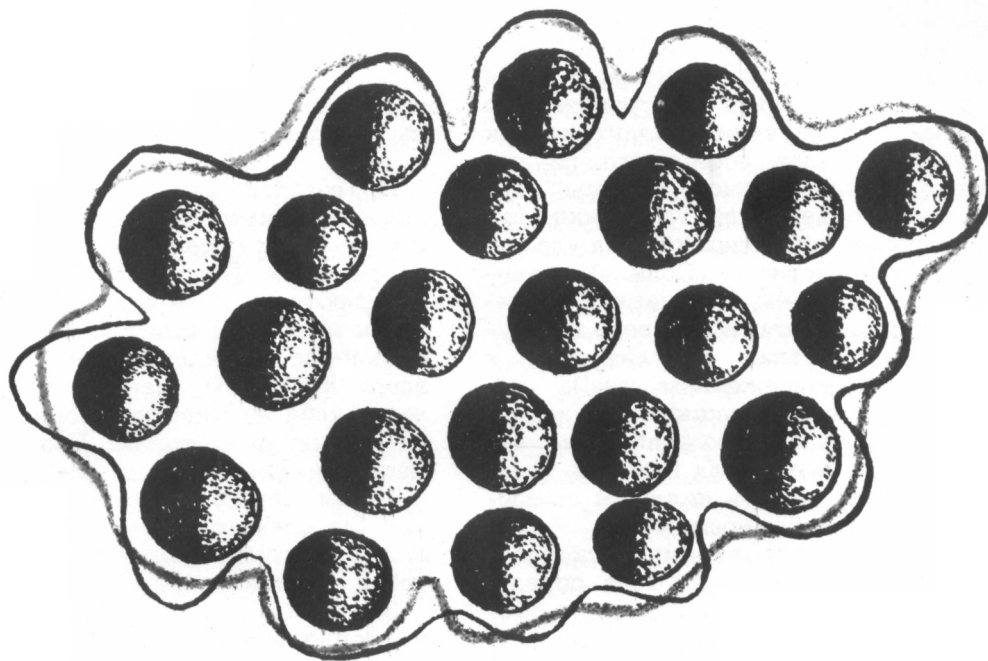
Даже такое сложнейшее образование, как наш мозг, состоит лишь из десятка миллиардов нервных клеток.

Количество же частиц в твердом теле почти невозможно себе представить. И все частицы в твердом теле сложнейшим образом взаимодействуют между собой. Понятно, что пытаться описать поведение твердого тела, изучая движение (в значительной мере слу-

чайное) каждой из составляющих его частиц, — задача совершенно безнадежная (в действительности она еще более безнадежна, чем следует из этих рассуждений, ибо частицы твердого тела подчиняются не привычным для нас законам классической механики, а значительно более сложным закономерностям квантовой механики).

Для понимания и описания состояния макроскопических тел даже в классической физике нужны были совершенно новые идеи, необходимо было, прежде всего, создание новой науки — статистической физики. Это была революция в физике, — революция, которая значила не меньше, чем появление теории относительности и квантовой механики. (Интересно отметить, что новые идеи в то время оказались столь неожиданны, что их долго не могли ни оценить, ни принять, и один из создателей статистической физики — Больцман, так и непонятый современниками, покончил жизнь самоубийством). В короткой статье невозможно изложить даже основные идеи статистической физики, поэтому остановимся лишь на тех из них, понимание которых будет необходимо нам дальше.

Одной из основных особенностей статистической физики является принципиальный отказ от точного описания состояния физической системы. Проиллюстрируем это на про-



стейшем примере. Что следует понимать под такой величиной, как объем тела? Для простоты будем считать частицы, составляющие тело (то есть атомы, молекулы), твердыми несжимаемыми шариками. Тогда, строго говоря, объемом системы следовало бы назвать суммарный объем всех этих шариков. Однако определенный таким образом объем не совпадет с экспериментально измеряемым (который включает и «пустые места» между частицами). Суммарный объем шариков (без учета «пустых» мест) окажется одним и тем же при всех изменениях, происходящих с телом. Он не будет зависеть от температуры, несмотря на тепловое расширение (или сжатие), не будет меняться при плавлении или кипении, он будет одинаков для газа, жидкости и твердого тела с совпадающими числом и размерами частиц.

Значит, экспериментально измеряемый объем включает в себя все «пустые места» (см. рис. 1). Отсюда следует, что его принципиально нельзя определить точно, ибо ограничить объем с равным правом можно любой из линий, показанных на рисунке (не говоря уже о том, что картина, изображенная на рисунке, все время «немножко» меняется — ведь молекулы движутся!). И это — «неиско- ренимая» неточность.

В результате величина объема зависит от

Рис. 1. Можно точно определить объем каждой рыбки, можно найти сумму объемов всех рыбок, но невозможно точно определить объем стай, точно так же нельзя точно установить объем твердого тела, поскольку он включает в себя не только частицы, но и пустые места

рассматриваемой нами задачи. Так, например, если мы интересуемся движением Земли вокруг Солнца, то нужно учитывать лишь объемы, занимаемые ими в пространстве. Но если речь идет об изучении Галактики как почти идеального газа, состоящего из частиц — звезд, то под объемом системы надо будет понимать объем всей Галактики, так что средний объем, приходящийся на «долю» каждой звезды (в частности, Солнца), значительно превышает объем, занимаемый Солнцем со всеми его планетами (нас ведь не смущает совершенно такая же ситуация в «обычном» очень разреженном газе!).

Объем системы имеет специфическую особенность — он описывает состояние не отдельных частиц, а всего тела в целом, всего коллектива частиц, то есть является своеобразной «коллективной переменной».

Подобно этому в гидродинамике скорость данного объема жидкости или газа определяет среднюю скорость частиц в этом объеме.

В какой-то мере аналогичный характер имеют и другие величины, которыми оперирует статистическая физика. Нас интересуют не отдельные частицы и происходящие с ними изменения, а изменения, связанные со всей системой, например, изменения энергии и импульса всей системы. В классической физике изменения состояния всей системы складываются, в принципе, из (сложного вследствие взаимодействия) движения составляющих систему частиц. В квантовой механике ситуация принципиально меняется: любые самые «элементарные» изменения, происходящие с системой, оказываются специфически коллективными. Дело в том, что в квантовой механике вообще нельзя говорить о состоянии отдельной частицы (подробнее об этом поговорим в следующем разделе). Поясним это на простейшем, но в то же время наиболее важном для дальнейшего примере кристалла.

В кристалле (а твердые тела — в основном, кристаллы) атомы занимают совершенно одинаковые положения, имеют одинаковое окружение и, следовательно, находятся в совершенно равных условиях с точки зрения взаимодействия со своими соседями. Все эти атомы подобны колебательным контурам, которые настроены на одинаковые частоты и способны резонировать друг с другом. Поэтому любое возбуждение одного атома вызывает аналогичные возбуждения в соседних атомах. Следовательно, такие возбуждения не остаются на месте, а в виде волны бегут по всему кристаллу.

Природа этих волн самая разнообразная. Это могут быть упругие волны, которые порождаются колебаниями отдельных атомов кристаллической решетки, могут быть волны электрического заряда, магнитные волны и т. д.

Но, согласно законам квантовой механики, движения, которые связаны с этими волнами, не могут передаваться или возникать непрерывно. Подобные волны возникают и передаются в виде отдельных порций энергии и импульса, или квантов. Такие кванты, связанные с коллективными возбуждениями всего кристалла, как это ни поразительно, ведут себя во многих отношениях аналогично обычным частицам! Поэтому они носят название квазичастиц.

Таким образом, квазичастицы являются как бы элементарными носителями движения в системе взаимодействующих между собой атомов твердого тела.

Заметим, что только в газе частицы одновременно выполняют две функции: они являются элементарными кирпичиками «строительного материала», то есть структурными единицами системы, и элементарными носителями движения в этой системе. В твердом же теле частицы являются структурными единицами «вещества», а квазичастицы (отнюдь не отдельные атомы, отдельные молекулы или отдельные электроны) представляют собой структурные единицы движения.

Если говорить об упругих колебаниях, то такие отдельные кванты упругих волн — кванты звука — называются фононами, аналогично тому, как кванты света — фотонами.

Носителями электрических зарядов в металлах и полупроводниках являются соответствующие квазичастицы, которые называются электронами проводимости (для краткости их часто называют просто «электронами»). Их свойства сильно отличаются от привычных нам свойств свободных электронов.

Квазичастицы в кристалле движутся свободно и независимо, лишь изредка сталкиваясь друг с другом или с дефектами кристаллической решетки (в частности, связанными с тепловыми колебаниями составляющих ее ионов или атомов), подобно частицам газа. Они как бы не чувствуют породившей их кристаллической среды. В результате при низких температурах в очень совершенных кристаллах (почти бездефектных) удается достичь поистине фантастических длин свободного пробега квазичастиц, подобных тем, о которых говорилось в начале статьи.

Таким образом, состояние движения (например, теплового) в твердом теле в каком-

то смысле можно представить себе как газ квазичастиц — газ фононов, электронов проводимости и других квазичастиц.

Направленные потоки таких квазичастиц переносят тепловую энергию, электрический заряд, а их столкновения обуславливают специфическое «трение», которое служит причиной теплового или электрического сопротивления кристаллов.

Такое описание относится к возбуждению кристалла. Однако существует самое низкое энергетическое состояние, которое отвечает абсолютно нулю температуры. Какова его природа?

Согласно классической механике, самое низкое энергетическое состояние должно было бы отвечать состоянию полного покоя, когда все частицы неподвижны и находятся в своих положениях равновесия. В квантовой механике такой ситуации быть не может, потому что если бы частицы покоились в каких-то точках, они имели бы определенные координаты, а это невозможно, так как тогда (в силу соотношения неопределенности *) частицы должны были бы иметь бесконечно большую кинетическую энергию. Поэтому в действительности самое низкое энергетическое состояние есть особое состояние движения — так называемое нулевое движение. Оно не имеет дискретных характеристик, квазичастицы при этом как бы отсутствуют. Аналогично тому, как под обычным вакуумом мы подразумеваем отсутствие частиц, это состояние получило название «вакуума движения».

Такая аналогия имеет весьма глубокий смысл. Оказывается, законы механики «обычных» частиц — законы Ньютона — определяются свойствами «обычного» вакуума. Из того, что различные точки в «пустом» пространстве одинаковы, следует закон сохранения импульса, поэтому импульс является очень удобной характеристикой состояния частицы. Из того, что эквивалентны любые моменты времени, вытекает закон сохранения энергии, так что состояние частицы удобно характеризовать и энергией. Даже одна из основных формул физики — формула для кинетической энергии и связанный с нею

* Соотношение неопределенности — одно из основных в квантовой механике — сводится к следующему. Если частица находится в области с размерами порядка a , то определение импульса имеет смысл с точностью порядка \hbar/a (\hbar — так называемая постоянная Планка, равная $6,62 \cdot 10^{-27}$ эрг сек). Отсюда, в частности, следует, что кинетическая энергия ϵ такой частицы не может быть меньше, чем $\frac{\hbar^2}{2ma^2}$

второй закон Ньютона — обусловлены свойствами вакуума (однородностью и изотропией).

Обратим внимание на очень важное обстоятельство. Именно потому, что законы Ньютона связаны только со свойствами вакуума, одинакового для всех тел, они, в отличие почти от всех остальных физических законов, универсальны, одинаковы для любых макроскопических тел, от бильярдного шара до Галактики, лишь бы скорости этих тел были малы по сравнению со скоростью света (в теории относительности снимается и это ограничение).

В кристалле из эквивалентности точек, одинаковым образом расположенных по отношению к узлам кристаллической решетки (то есть из свойств «вакуума» для квазичастиц), вытекает существование для квазичастиц величины, аналогичной импульсу, — квазиимпульса, и периодическая зависимость энергии от квазиимпульса. Эта зависимость (ее называют законом дисперсии), как и для обычных частиц, является важнейшей характеристикой квазичастиц, определяя всю динамику их движения.

Итак, свойства твердого тела существенно определяются не только свойствами квазичастиц, которые в нем существуют и движутся, но и характером «вакуума» для квазичастиц, то есть нулевого движения. В частности, оказывается, что в определенных случаях возможно такое нулевое движение, которое само по себе способно сопровождаться переносом электрического заряда. Но так как потоки квазичастиц и их «трение» при этом отсутствуют, такое движение должно привести к явлению сверхпроводимости.

Отсюда ясно, что выяснение природы того основного состояния, которое существует в данной системе, представляет собой проблему фундаментальной важности.

Совокупность свойств квазичастиц в кристалле и характер основного состояния системы образуют то, что принято называть спектром твердого тела.

Большинство самых удивительных свойств твердого тела связано со структурой и свойствами его энергетического спектра и тех квазичастиц, которые формируют энергетический спектр кристалла.

В определенных условиях движения различных квазичастиц в кристалле оказываются согласованными, и тогда кристалл играет роль гигантского усилителя тех элементарных процессов, которые в нем происходят. На этом основан, в частности, принцип действия кристаллических квантовых генераторов.

258 ров — лазеров и многих других замечательных приборов.

Итак, изучение свойств кристаллов сводится к определению свойств существующих в них квазичастиц и характера их взаимодействия между собой. Так как даже симметрия различных кристаллов может отличаться, существует огромное количество различных «сортов» квазичастиц с разными законами движения, разной механикой. Богатство и разнообразие свойств квазичастиц и позволяет столь успешно использовать твердые тела в науке и технике, где они могут играть роль самостоятельных приборов, «приготовленных» самой природой. Остается только понять, как нужно «отграничить» (в переносном, конечно, смысле) эти кристаллы, чтобы получить желаемые результаты. А для этого необходимо изучить и выяснить закономерности, существующие в твердых телах, в частности, изучить соответствующие квазичастицы. Весьма необычные свойства квазичастиц мы продемонстрируем на примере электронов проводимости в металлах.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА КВАЗИЧАСТИЦ

Что такое масса квазичастицы? Может ли масса менять знак? Как узнать свойства квазичастиц, если нельзя проникнуть в кристалл и извлечь их оттуда? Как изучают электроны проводимости в металлах?

Из предыдущего раздела мы узнали, что механика квазичастиц (характер их движения во внешних полях) определяется зависимостью энергии квазичастицы ϵ от квазиимпульса \vec{p} , то есть функцией $\epsilon = \epsilon(\vec{p})$. В пространстве квазиимпульсов этой функции при каждом заданном значении ϵ соответствует периодически повторяющийся набор поверхностей (так как функция $\epsilon(\vec{p})$ является периодической), которые, в частности, могут смыкаться, образуя одну поверхность, проходящую через все пространство (примеры подобных поверхностей показаны на рис. 2). Придавая ϵ различные значения, можно изобразить в результате всю функцию $\epsilon = \epsilon(\vec{p})$, то есть передать на рисунке все особенности динамики квазичастиц. Из рисунков понятно многообразие, своеобразие и анизотропия свойств* квазичастиц. Ведь для «обычных» частиц $\epsilon = \frac{p^2}{2m}$ (известная фор-

мула кинетической энергии), и соответствующие поверхности представляют собой просто сферы, радиус которых растет пропорционально $\sqrt{\epsilon}$.

Вдумайтесь только, что означает изображение на рисунке функции $\epsilon = \epsilon(\vec{p})$. Художник может нарисовать бушующее море, но диким был бы вопрос: а какова скорость волн, как будет выглядеть море через полчаса? А мы сейчас в физике связываем механику и геометрию, мы можем по статическим картинкам полностью определить движение частиц и предсказать его на любое время вперед. Не случайно, что поведение квазичастиц теперь чаще всего описывают чисто геометрическими терминами.

Так, например, очень просто связана с геометрической картинкой масса квазичастицы. Но прежде, чем привести выражение для массы, выясним, что вообще означает это понятие.

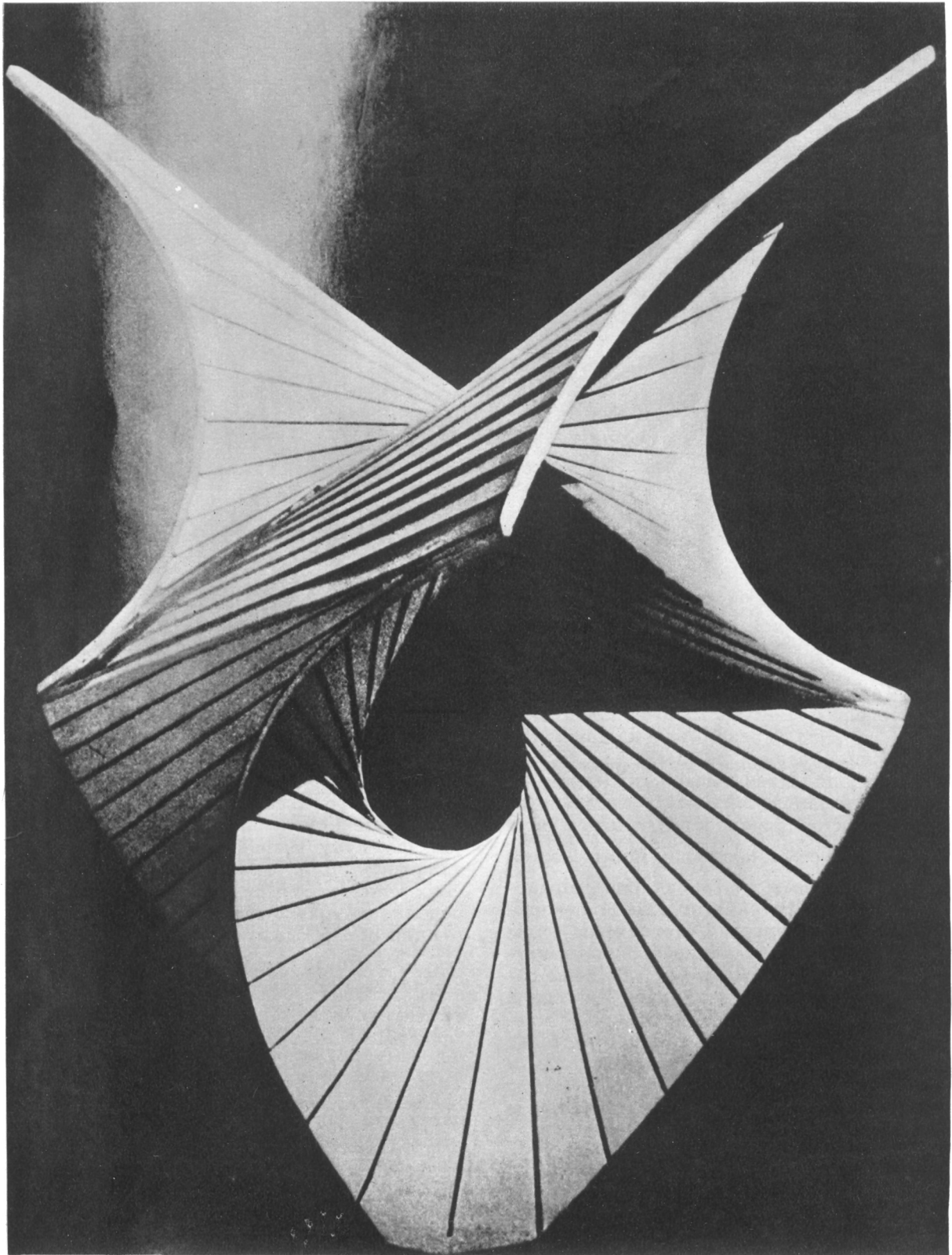
Для свободных частиц «почти» нет вопроса: масса входит в формулу для кинетической энергии $\epsilon = \frac{p^2}{2m}$; та же масса связывает

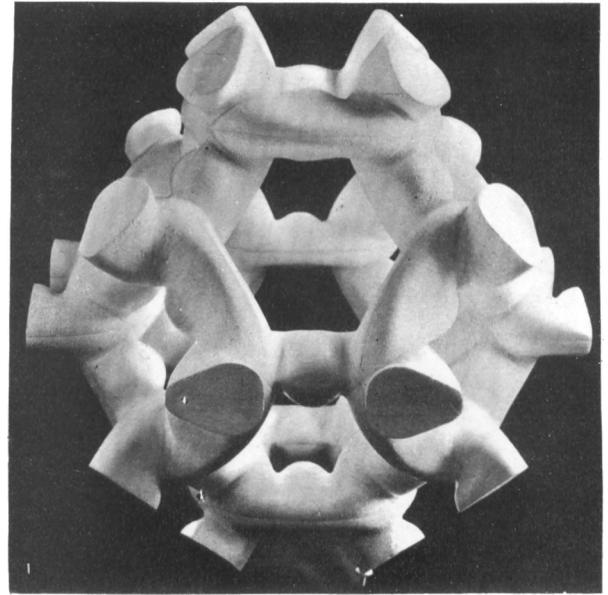
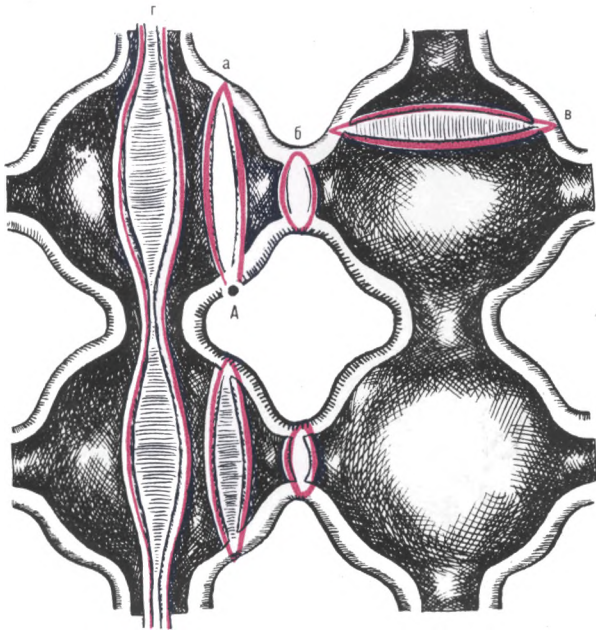
скорость \vec{v} частицы с ее импульсом \vec{p} : $\vec{v} = \vec{p}/m$; она же входит во второй закон Ньютона: ускорение \vec{w} под действием силы \vec{F} равно \vec{F}/m (подчеркнем, что в приведенных формулах уже содержится очень важное утверждение — параллельность скорости и импульса, ускорения и силы). Одна и та же величина m входит во все закономерности. Правда, не случайно вначале было употреблено слово «почти»: ведь есть еще и масса, которая связана совсем с другим кругом явлений — масса, входящая в закон всемирного тяготения, так называемая «гравитационная масса». Если вдуматься, то «привычное» совпадение этих двух, по сути своей совершенно различных масс поразительно и неожиданно. Великий Эйнштейн был первым, кто попытался понять это совпадение. Результатом его размышлений явилось создание общей теории относительности.

Но зависимость энергии от импульса для квазичастиц, как мы видели, имеет весьма сложный вид и отнюдь не исчерпывается заданием одной константы. Отсюда понятно, что не может быть универсального определения массы квазичастицы для различных явлений. Для заряженных квазичастиц наибольший интерес представляет, естественно, их поведение в электрическом и магнитном полях.

Электрическое поле в проводниках созда-

* Анизотропия свойств — различие свойств по разным направлениям. — Ред.





ет, как известно, ток, который неизбежно приводит к выделению джоулева тепла. В хороших проводниках поэтому возможны лишь весьма слабые электрические поля (иначе образец плавится), мало влияющие на движение зарядов. В результате на движении зарядов существенно сказывается только магнитное поле. Оказывается, что если не учитывать столкновений между квазичастицами, то траектория заряда в магнитном поле \vec{H} очень просто связана с видом поверхностей постоянной энергии $\varepsilon(\vec{p}) = \varepsilon$: она определяется плоскими сечениями данной поверхности постоянной энергии (типичные виды этих сечений, определяющие орбиты в магнитном поле, показаны на рис. 2). Если соответствующее сечение замкнутое, движение заряда в плоскости, перпендикулярной магнитному полю, периодически (сечения а, б, в). Период движения T выглядит так же, как и для свободного заряда, только роль массы свободного заряда играет масса квазичастицы (обычно называемая эффективной массой):

$$T = \frac{2\pi mc}{eH}.$$

В этой формуле c — скорость света, а e — заряд квазичастицы, совпадающий с зарядом свободного электрона.

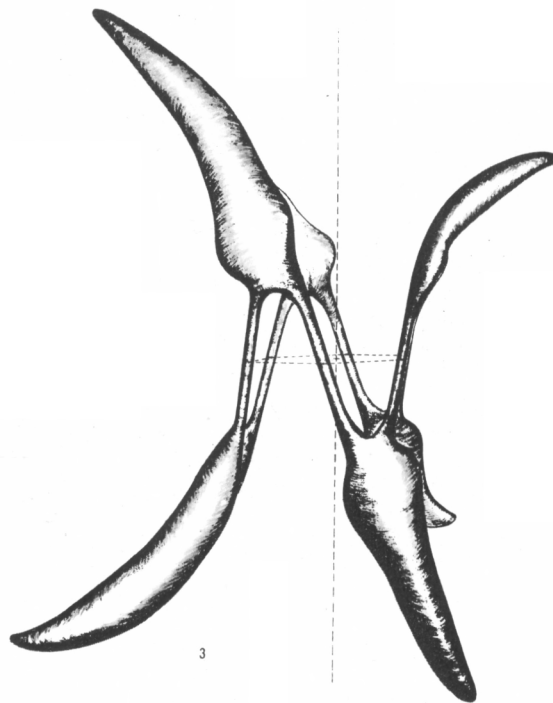
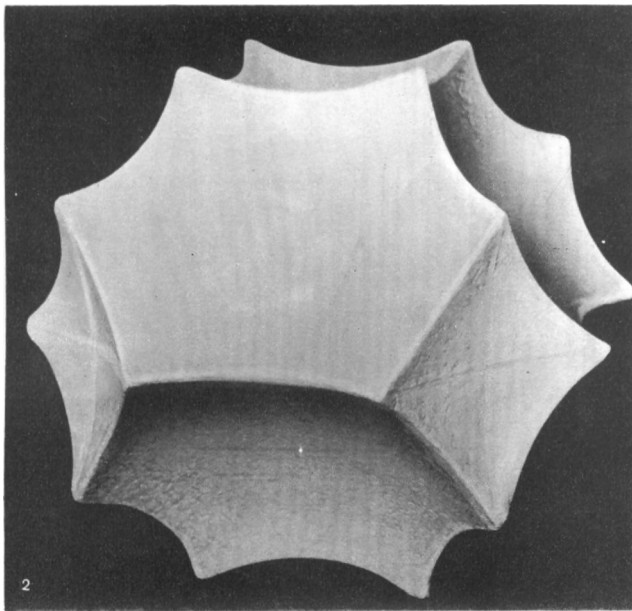
Эффективная масса определяется скоро-

стью изменения площади сечения с энергией. Для незамкнутых орбит (г) площадь сечения бесконечна, период обращения бесконечен — движение не является периодическим.

Для замкнутых сечений эффективная масса конечна и может быть как положительной (сечения а, б), тогда говорят об электронах, так и отрицательной (сечение в) — в этом случае квазичастица вращается так, как если бы она имела обратный знак заряда (см. формулу выше), и обычно называется «дыркой». Для замкнутых изоэнергетических* поверхностей характер движения определяется только тем, возрастает или уменьшается объем, заключенный внутри поверхности $\varepsilon(\vec{p}) = \varepsilon$, при увеличении энергии ε .

Для незамкнутых поверхностей не только величина, но даже знак массы квазичастицы зависит от направления магнитного поля: точке А на рис. 2 соответствует «электрон», если магнитное поле лежит в плоскости рисунка, и «дырка», если оно перпендикулярно плоскости рисунка (не следует забывать, что эффективная масса квазичастиц не совпадает с гравитационной; гравитационная масса и у «электронов», и у «дырок» такая же, как и у свободных электронов).

* Изоэнергетическая поверхность — поверхность постоянной энергии. — Ред.



Своеобразие движения квазичастиц в магнитном поле проявляется в большинстве свойств всего металла. Например, оно приводит к интересной зависимости сопротивления металлов от магнитного поля в сильных магнитных полях. «Идеальный» металл, в котором полностью отсутствовали бы столкновения электронов проводимости, мог бы оказаться при одних направлениях магнитного поля идеальным проводником с нулевым сопротивлением, а при других — идеальным диэлектриком с бесконечным сопротивлением.

Впервые электронная теория металлов, основанная на представлении о носителях заряда в металлах как квазичастицах с произвольным законом дисперсии, была разработана харьковской группой физиков-теоретиков (И. М. Лифшиц, М. Я. Азбель, М. И. Каганов, Э. А. Канер, А. М. Косевич, В. Г. Песчанский и др.). Особый интерес при подобном подходе представляло выяснение свойств квазичастиц в металлах. Как узнать вид изоэнергетических поверхностей для каждого металла, узнать, как движутся в нем квазичастицы? На первый взгляд, эта задача кажется невыполнимой. Ведь квазичастицы обладают такими же свойствами, какими обладало, по преданиям, золото троллей. «Вмешаться» в «жизнь» квазичастиц нельзя —

Рис. 2. Некоторые типы поверхностей постоянной энергии. Поверхность 1 соответствует свинцу (М. С. Хайкин, Р. Т. Мина), поверхность 2 — индию (М. С. Хайкин, Р. Т. Мина), поверхность 3 — мышьяку (М. Дж. Пристли)

Кривая, получающаяся при сечении поверхности постоянной энергии какой-либо плоскостью, определяет проекцию траектории заряда в магнитном поле на плоскость, перпендикулярную магнитному полю. Если кривая замкнутая (например, кривые а, б, в) — движение периодическое, если кривая незамкнутая (кривая г) — частица уходит на бесконечность

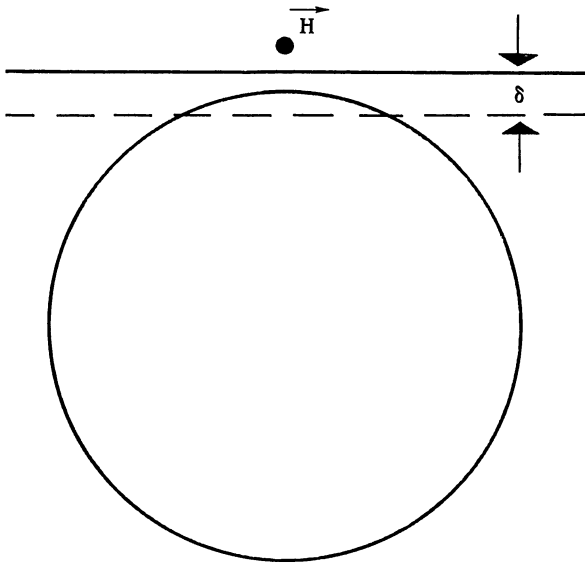


Рис. 3.

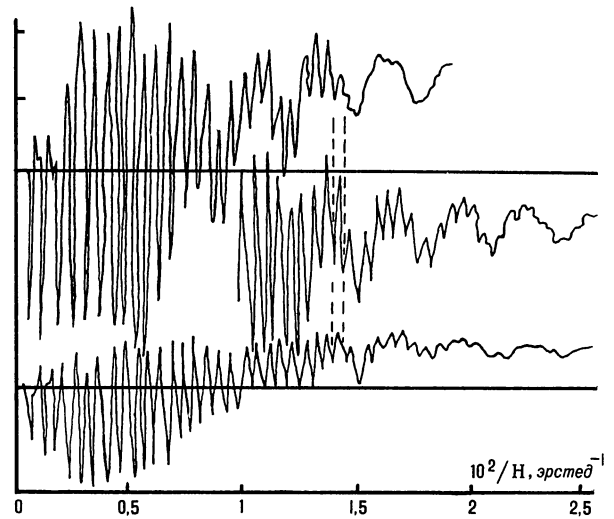


Рис. 4.

изменится сама квазичастица. Квазичастица — это коллективное возбуждение всего кристалла, и, в отличие от частицы, принципиально невозможно извлечь квазичастицу из кристалла, чтобы изучить ее свойства.

Значит, надо суметь «увидеть» ее в кристалле. Причем аналогия с обычным «видением» здесь довольно большая. Когда мы видим какой-либо предмет, это значит, что, с одной стороны, он взаимодействует с лучами света, так что распределение световых лучей существенно меняется, а, с другой стороны, это взаимодействие со светом столь слабое, что практически не сказывается на состоянии предмета (с точки зрения физика освещение юпитерами при съемках на телевидении «плохое» — оно столь яркое, что меняются показатели состояния человека, такие, например, как пульс).

В качестве «лучей света» при изучении электронов проводимости в металлах часто используют постоянное магнитное поле, радиоволны сверхвысокой частоты (переменное электромагнитное поле) и ультразвук. Из-за того что квазичастицы порождены всем кристаллом, простой картинке (как на фотографиях) при этом не получается. Приходится, зная взаимодействие зарядов с постоянным магнитным полем, ультразвуком или радиоволнами, расшифровывать резуль-

таты эксперимента; зачастую это оказывается весьма сложным.

Для того чтобы продемонстрировать современные методы изучения квазичастиц (а они, кстати сказать, совсем еще юные — сама задача экспериментального определения спектра квазичастиц была поставлена немногим более десяти лет назад), опишем, конечно очень схематично, один из наиболее эффективных методов — предсказанное в 1956 году М. Я. Азбелем и Э. А. Канером явление резонанса, названное ими циклотронным.

Представим себе металл, помещенный в параллельное его поверхности постоянное магнитное поле (рис. 3). Тогда, если изоэнергетические сечения для квазичастиц данного металла замкнутые, квазичастицы будут периодически двигаться по замкнутым кривым, совершая в достаточно чистом металле при достаточно низкой температуре между столкновениями большое число оборотов. Направим теперь на металл поток радиоволн. Оказывается, в результате взаимодействия с электронами проводимости они быстро затухают, проникая в металл на очень малую глубину порядка так называемой глубины скин-слоя δ . При длине радиоволны порядка нескольких сантиметров $\delta \sim 10^{-5} - 10^{-6}$ см, то есть значи-



Рис. 5.

тельно меньше размера орбит (размер орбиты обратно пропорционален магнитному полю; в магнитном поле в 10000 эрстед он порядка 10^{-3} см). Понятно, что если период обращения электрона проводимости по орбите окажется равным целому кратному периода высокочастотного поля (см. приведенную выше формулу), то заряд, влетая в скин-слой, будет синхронно ускоряться, создаваемый зарядами ток возрастет и наступит резонанс. По частоте этого резонанса можно сразу определить эффективную массу квазичастиц. Пример полученной в экспериментах М. С. Хайкина кривой зависимости сопротивления олова от магнитного поля показан на рис. 4.

Циклотронный резонанс — один из основных методов изучения электронов проводимости в металлах. Эти методы составили область физики металлов — фермиологию, которая сейчас интенсивно развивается.

АНСАМБЛИ КВАЗИЧАСТИЦ

Отсутствие индивидуальности у квазичастиц. Звездные энергии и «космический» холод в металлах. Что такое температура? Некоторые перспективы. Некристаллические тела и биологические объекты.

До сих пор мы все время обсуждали поведение одной отдельно взятой квазичасти-

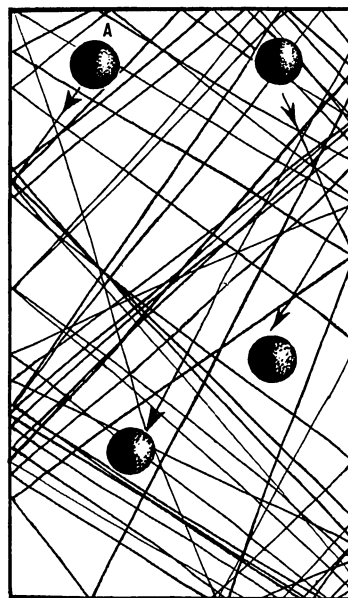


Рис. 3. Траектория движения заряда (замкнутая кривая) в магнитном поле, параллельном поверхности металла (сплошная горизонтальная линия). На глубине δ затухает высокочастотное поле

Рис. 4. Запись спектра циклотронного резонанса на олове, полученная в экспериментах М. С. Хайкина. По вертикальной оси отложена величина, пропорциональная изменению сопротивления олова, по горизонтальной — величина, обратно пропорциональная напряженности магнитного поля

Рис. 5. На рисунке справа показаны два совершенно одинаковых бильярдных шара в начале и в конце пути. Разобраться в том, какой из нижних шаров — шар А, можно только проследив за их траекторией, и сделать это возможно только потому, что каждый из шаров движется по определенной траектории.

То же самое относится к близнецам на левом рисунке. Кто из них кто, можно узнать, проследив шаг за шагом их путь.

Такова ситуация в классической физике. Частицы имеют траектории, и потому их всегда можно отличить друг от друга

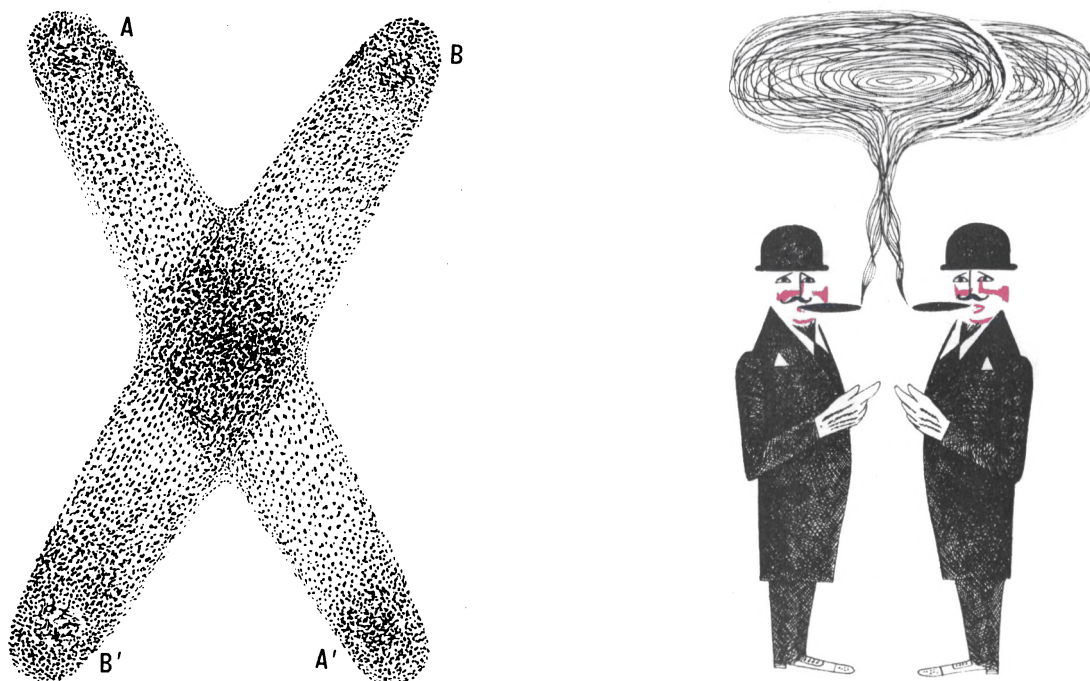


Рис. 6.

цы, говорили о «данной» квазичастице. Давайте разберемся, что вообще означает понятие «данного» объекта, как его выделить среди всех остальных? Ответ на этот вопрос очевиден, если речь идет о сложных системах, состоящих из разных частей. Не многим сложнее случай, когда составные части одни и те же, но отличаются между собой формой, размерами или массой. Иначе обстоит дело в системе, состоящей из совершенно одинаковых бильярдных шаров. Здесь остается воспользоваться тем, что каждый шар занимает строго определенное место в пространстве, и если мы будем все время следить за ним, то никогда не спутаем данный шар с другими (см. рис. 5). Мы всегда сможем сказать, что в точке A находится именно тот шар, который раньше находился в другой точке. При этом возможность «индивидуализировать» частицы связана, таким образом, с возможностью точной локализации их в пространстве, с существованием понятия траектории частицы.

Однако основным положением квантовой механики является то, что частицы не локализованы в пространстве, а с некоторой вероятностью могут находиться в любой точке целой области (заштрихованной на рисунке 6). Строго говоря, если учитывать сколь угодно малую вероятность, эта область за-

полняет все пространство, и поэтому нельзя говорить об индивидуальной частице, ибо нельзя идентифицировать частицы из «настоящего» (A) и «прошлого» (A'). Действительно, если области, в которых с заметной вероятностью находятся одинаковые частицы, при движении частиц перепутываются (заштрихованные области на рис. 6), то принципиально невозможно определить, находится в точке A частица из точки A' или из B' . Значит, в квантовой механике надо исходить из совершенно новых представлений — из тождественности частиц (или квазичастиц). Бессмысленно само понятие «эта частица», если есть несколько частиц. Хорошо, что мы живем не в микромире, где частицы лишены даже «своего собственного» места в пространстве и где нет даже понятия «индивидуальности» частицы!

Как и следовало ожидать, такая совершенно новая идея об отсутствии индивидуальности у частиц, о невозможности их различия привела к чрезвычайно важным физическим следствиям. Оказалось, например, что так называемые фермиевские частицы (а большинство известных нам элементарных частиц являются фермиевскими — электроны, протоны, нейтроны и другие) не могут в любых количествах обладать одной и той же энергией. Данную энергию может иметь

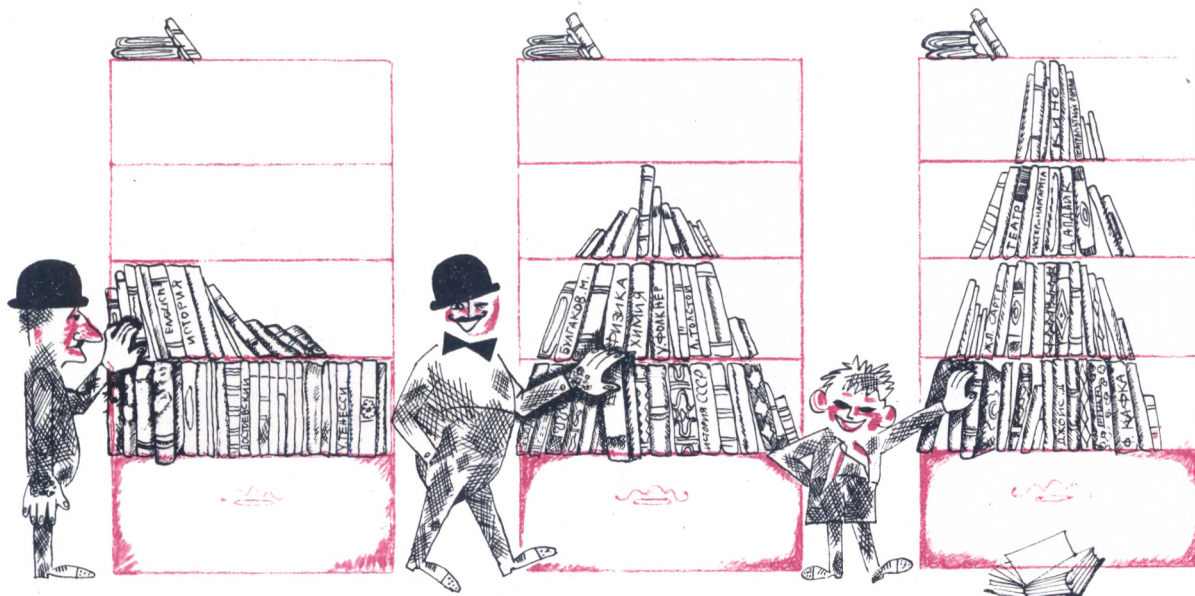


Рис. 7

только определенное число таких частиц. А поскольку в квантовой механике энергия меняется не непрерывно, а дискретно, скачками, то по мере возрастания плотности частиц энергия начинает чрезвычайно быстро возрастать.

Чтобы наглядно представить это, обратимся к такому (довольно грубому) примеру. В книжном шкафу на каждой полке может поместиться не больше определенного числа книг. Ясно, что по мере увеличения количества книг их потенциальная энергия (которая для каждой книги определяется ее высотой над полом) быстро возрастает. Это очень ясно ощущается, когда книги начинают сваливаться с переполненных верхних полок!

Быстрое возрастание энергии фермиевских частиц при увеличении их плотности (то есть числа частиц в единице объема) приводит к тому, что, как говорилось в начале статьи, в случае электронов в металле даже при абсолютном нуле температуры средняя кинетическая энергия электрона, измеренная в градусах, составляет сотни тысяч — миллионы градусов, то есть соответствует энергии, которую частицы обычного, «классического» газа имели бы в недрах звезд! Энергия легких электронов значительно больше, чем тяжелых ионов!

Разберемся теперь в том, что происходит

Рис. 6. В квантовой механике частицы не имеют траектории, они «размазаны» по целой области пространства. Поэтому, никакая «слежка» не позволит выяснить, какая из частиц (А' или В') находится теперь в районе точки А.

Правый рисунок иллюстрирует аналогичную ситуацию. Дым не находится в какой-то определенной точке, и потому не имеет смысла вопрос: где чей дым в облаке над курильщиками?

Рис. 7. Этот рисунок поясняет смысл понятия температуры в квантовой физике.

«Температура» книг в книжном шкафу определяется распределением их по полкам. Абсолютный нуль соответствует последовательному заполнению полок снизу вверх, то есть минимально возможной потенциальной энергии книг. Чем выше температура, тем больше книг на верхних полках, тем больше пустых мест на нижних. При бесконечной температуре число книг на всех полках одинаково. Отрицательная температура соответствовала бы тому, что на верхних полках стоит больше книг, чем на нижних.

при повышении температуры и что вообще такое температура тела, что для данного тела характеризует это понятие. А ведь характеризовать она должна именно тело, а не термометр, измеряющий температуру тела. Оказывается, что температура является одной из важнейших внутренних характеристик тела, притом специфически статистической его характеристикой: она определяет, как распределены по энергиям частицы, составляющие тело, каков случайный разброс по энергиям у этих частиц (и потому температура может быть выражена в тех же единицах, что и энергия). Если вернуться в случае фермиевских частиц к примеру с книжным шкафом, то температурой можно описывать характер распределения книг в шкафу. Наименьшей энергии, заполнению только самых низких полок, будет соответствовать абсолютный нуль температуры ($T = 0$).

Чем выше температура, тем больше книг оказывается на более высоких полках (но чем выше полка, которая могла бы быть пустой, тем меньше на ней книг (рис. 7). Бесконечная температура соответствовала бы случаю, когда на всех полках в среднем находится одинаковое количество книг, независимо от их высоты*. Определение температуры, которое здесь приведено, очень непохоже на привычные «школьные» представления, согласно которым температура определяет среднюю кинетическую энергию частиц данного тела. Дело в том, что подобное утверждение справедливо только в классической физике, а нас интересуют специфически квантовые системы, примером которых являются интересующие нас электроны в металлах. Согласно формуле, приведенной в сноске на стр. 257, их энергия при абсолютном нуле составляет сотни тысяч градусов. Эта энергия значительно больше, чем тот небольшой разброс энергий, который определяется температурой, и при комнатной температуре отвечает тремстам градусам (абсолютным), а при температуре кипения металла составляет «всего» тысячи градусов.

В результате электроны почти «не ощущают» температуры, их распределение по энергиям всегда почти такое же, как при «абсолютном» нуле, они, эти страшно энер-

гичные «горячие» электроны, всегда находятся в условиях «космического» холода (тут же нужно оговориться: «космический холод» — строго говоря, неправильное словосочетание, ведь температура атомов в космическом пространстве — тысячи градусов, хотя «в тени» из-за лучеиспускания там легко «застыть» почти до абсолютного нуля). Значит, с высокой степенью точности во многих явлениях электронный газ в металлах можно рассматривать как находящийся при абсолютном нуле температуры! (Так, в книжном шкафу с тысячами полок можно не принимать во внимание беспорядок всего на нескольких полках). При этом в слабых внешних полях (а по сравнению с гигантской энергией электронов энергия, привносимая внешними полями, всегда оказывается весьма малой) энергии могут приобретать только электроны с практически совершенно определенной, а именно максимальной энергией, которая называется фермиевской энергией. Остальные электроны энергии приобрести не могут — все места непосредственно «над ними», с несколько большей энергией, уже заняты (ясно, что в книжном шкафу «абсолютно аккуратного» хозяина можно переставить на одну полку выше только книги с последней заполненной полки). В результате во многих явлениях достаточно изучать только электроны с энергией, равной фермиевской энергии, и только эту изоэнергетическую поверхность — так называемую Ферми-поверхность. А поскольку изучение электронов проводимости в металлах в значительной степени сводится к определению формы Ферми-поверхности, соответствующая область науки и получила название фермиологии.

Итак, как мы видели, при изучении твердого тела фундаментальным понятием оказалось понятие квазичастицы и ее закона дисперсии. Для того чтобы ввести закон дисперсии, мы использовали понятия энергии и квазиимпульса. Энергию возбуждения, связанную с однородностью времени, можно вести всегда. Понятие же квазиимпульса требовало наличия пространственной периодичности, то есть кристаллической структуры. Это значит, что весь «физический язык», на котором мы говорили, неприменим к непериодическим структурам. Поэтому их динамические свойства могут оказаться существенно иными, чем в кристалле. К сожалению, сколько-нибудь полная теория непериодических структур отсутствует.

Что касается основного состояния, а значит, и того, что связано со сверхпроводимостью, то оно не затрагивается, по-видимому,

* Если рассматривать изменение температуры физической системы при постоянном объеме, то температура определяет «степень беспорядка» в системе (то есть энтропию системы). Тогда температурой нужно описывать степень аккуратности хозяина книжного шкафа, который решил последовательно заполнить полки снизу вверх.

отсутствием правильной кристаллической решетки.

Как уже говорилось, свойство сверхпроводимости не связано с движением квазичастиц. Оно связано с характером основного состояния («вакуума» в терминологии, которой мы пользовались). При исследовании свойств этого основного состояния мы нигде не опирались на представление об обязательной точной периодичности. Поэтому возникает совершенно удивительная ситуация. Кажущееся на первый взгляд естественным наглядное объяснение сверхпроводимости при нулевой температуре заключается в том, что электроны в совершенно правильной системе движутся без всяких столкновений. В действительности ничего похожего на эту картину сверхпроводимость не представляет, и свойства «бесструктурного» движения, соответствующего основному состоянию, сохраняются (то есть, по крайней мере, не видно никаких оснований, чтобы они не сохранялись) в некристаллических телах. Поэтому, возможно, высокотемпературной сверхпроводимостью будут обладать именно некристаллические тела (открытие высокотемпературной сверхпроводимости означало бы переворот в электротехнике!). Такой общий вывод можно сделать из того, что нам пока известно о сверхпроводимости и о механизме нормальной проводимости.

Вообще проблема квантовых свойств некристаллических тел — необычайно важная проблема, сулящая, безусловно, чрезвычайно большие возможности.

Большинство успехов, достигнутых в квантовой физике кристаллов, а также техниче-

ские приложения обнаруженных квантовых явлений, связаны с тем, что физики поняли механизм этих явлений. Когда мы уже знаем, какие состояния и какие явления возможны, ясно, какое действие надо оказывать на кристалл для того, чтобы заставить звучать те или иные струны квантового механизма.

Очевидно, пока не будет в такой же мере ясна квантовая картина движения и состояний, возможных в некристаллических телах, нельзя будет использовать богатейшие возможности, связанные с полимерами, аморфными телами, неупорядоченными сплавами.

Кроме того, к числу неперIODических структур принадлежат и системы с очень высокой степенью индивидуальной упорядоченности некристаллического типа. Такими крайне индивидуализированными системами с очень сложным и высоким порядком (а не с таким «примитивным» порядком, какой существует в кристаллах) являются биологические системы. Их исследование только начинается, и трудно даже представить себе те захватывающие дух перспективы, которые откроет построение теории этих структур.

Итак, кроме кристаллов, которые очень интенсивно исследовались до сих пор, — неисчерпаемой сокровищницы новых идей и технических возможностей, в настоящее время ясны другие объекты, которые предстоит исследовать.

Отсюда понятно, что поле деятельности в области квантовой физики твердого тела сейчас огромно, а возникающие новые проблемы ждут своих первооткрывателей.



МЭТЬЮ СТЭНЛИ МЕЗЕЛЬСОН
(*Meselson*) (р. 1930) — американский биохимик, профессор Гарвардского университета.

Родился в Денвере (США, штат Колорадо). В 1951, закончив университет в Чикаго, он получил степень бакалавра философии. Позднее М. Мезельсон продолжает учебу в Калифорнийском технологическом институте. В 1957 ему присваивают степень доктора философии.

С 1958 по 1959 М. Мезельсон преподает физическую химию в Калифорнийском технологическом институте. В 1959—1960 он — старший исследователь по биохимии в том же институте, а затем преподаватель биологии в Гарвардском университете.

М. Мезельсоном написан ряд работ по вопросам биохимии, в частности о механизме генетических рекомбинаций между молекулами дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК).

МЭТЬЮ МЕЗЕЛЬСОН

РЕДУПЛИКАЦИЯ И РЕКОМБИНАЦИЯ ГЕНОВ

Я попытаюсь описать некоторые пути исследований, которые привели к современным представлениям о молекулярных процессах, лежащих в основе редупликации и рекомбинации генов*.

Начнем с вопроса о физических факторах, регулирующих точное удвоение сложных молекул. По мере того как в первой половине XX века наши знания о структуре молекул и их взаимодействии постепенно обогащались, становилось все яснее, что обеспечение необходимой специфичности молекул могло быть достигнуто только благодаря процессу

* Р е д у п л и к а ц и я — удвоение, воспроизводящее исходную структуру. Р е к о м б и н а ц и я — новое сочетание генов, находящихся в гомологичных хромосомах (то есть несущих одинаковый набор генов и контролирующих одни и те же признаки), в результате обмена гомологичными участками этих хромосом. — Ред.

образования точной копии всех комплементарных (дополняющих друг друга) деталей их структуры (Л. Полинг и М. Дельбрук, США, 1940 г.). Следовательно, для получения удовлетворительного ответа на вопрос о происхождении удвоения генов надо детально выяснить их молекулярную структуру.

Известно, что комплементарная структура генетического материала — дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) — раскрыта Дж. Уотсоном и Ф. Криком в 1953 г. К тому времени уже был известен ряд фактов, доказывающих, что в состав гена входит ДНК. Более того, были выявлены и многие особенности структуры ДНК. Выяснилось, например, что ее молекулы состоят из нуклеотидов* аденина, гуанина, цитозина и тимина,

* Н у к л е о т и д — соединение азотистого основания, сахара и фосфата. — Ред.

образующих линейный высокомолекулярный полимер благодаря специфической и регулярной системе химических связей между этими нуклеотидами. Была также приблизительно установлена и трехмерная структура отдельных нуклеотидов. Рентгенограммы указывали, что нити полимеров образуют правильные спирали, причем, возможно, что каждая спираль образована двумя бок о бок лежащими нитями. Базируясь на этих данных, Уотсон и Крик сделали важное открытие: две нити ДНК могут быть закручены вокруг одной оси, образуя при этом правильную двойную спираль, где каждому нуклеотиду одной нити специфически соответствует лежащий напротив него нуклеотид второй нити. В этой структуре условия образования водородных связей* и стереохимические требования относительно размещения нуклеотидов обусловили такое взаиморасположение последних, при котором аденин всегда связан только с тиминном, а гуанин с цитозинном. Это специфическое образование пар между нуклеотидами двух нитей спирали создает структурную комплементарность, необходимую для редупликации молекулы.

У генетиков были серьезные основания предполагать, что гены удваиваются, но до выяснения структуры ДНК убедительных доказательств этого не было. Допускали, что ДНК образует промежуточные реплики (отпечатки)** возможно белковые, которые в свою очередь формируют новое поколение ДНК. Но взаимная комплементарность двух нитей, образующих структуру ДНК, привела открывших ее исследователей к выводу, что новые молекулы создаются непосредственно из существующих и каждая нить служит матрицей для образования новой соседней нити. Таким путем молекула ДНК создает две дочерние молекулы, каждая из которых включает в себя одну исходную цепь и ее вновь синтезированный комплемент. В результате последовательность чередования нуклеотидных пар исходной молекулы точно сохраняется в обеих дочерних молекулах.

Реальность такого механизма удвоения ДНК установлена теперь совершенно точно. Уверенность в этом возросла вместе с до-

казательством реальности той структуры ДНК, представление о которой вначале было лишь гипотетичным. Сама комплементарность этой структуры, требующая наличия механизма удвоения для ее сохранения, является серьезным подтверждением подобного механизма. Через четыре года после открытия структуры ДНК важные доказательства существования редупликационного механизма Уотсона—Крика были представлены в работе А. Корнберга и его сотрудников (США, 1961 г.). Их исследования увенчались успехом—был выделен фермент, способный катализировать синтез ДНК путем использования естественной ДНК в качестве матрицы, а четырех нуклеозидтрифосфатов* в качестве субстрата. Реакция, происходящая при этом, по-видимому, копирует последовательное расположение нуклеотидов в нитях матрицы в соответствии с ограничениями, присущими образованию пар нуклеотидов. Пока еще не установлено, что этот фермент обуславливает именно редупликацию ДНК *in vivo*, а не восстановление нитей, которые могли разорваться, скажем, в процессе генетической рекомбинации. Однако действие фермента в полностью охарактеризованной системе *in vitro* указывает на возможность копирования ДНК путем синтеза комплементарных нитей, причем для этого не требуется наличия промежуточных матриц, образованных из других веществ.

Одновременно с изучением синтеза ДНК *in vitro* были предприняты попытки проверить простое и замечательное предсказание, вытекающее из признания реальности механизма Уотсона—Крика, что синтез ДНК полуконсервативен, то есть что каждая дочерняя молекула получает от родительской половину своего материала, который сохраняется и в последующих поколениях. М. Мезельсон и Ф. Сталь (США, 1958 г.), работая с бактерией *E. coli*, смогли полностью проверить это предсказание на опытах. Культура указанных бактерий, выращенная в питательной среде, содержащей тяжелый изотоп N^{15} , была пересажена в питательную среду, содержащую обычный легкий изотоп N^{14} .

* О водородных связях см. в заметках к статье Б. К. Вайнштейна «Дифракция волн и строение кристаллов», помещенной в ежегоднике «Наука и человечество, 1966». — *Ред.*

** О методе реплик подробно рассказано в статье С. И. Алиханяна «Селекция микроорганизмов на службе здравоохранения», помещенной в ежегоднике «Наука и человечество, 1966» — *Ред.*

* Нуклеозид — соединение азотистого основания нуклеотида с рибозой (моносахарид из группы пентоз, входит в состав РНК и других важных в биологическом отношении веществ) или дезоксирибозой (моносахарид из той же группы, является продуктом восстановления рибозы, входит в состав ДНК). В первом случае это рибонуклеозид, во втором — дезоксирибонуклеозид. Соединение нуклеозида с тремя остатками фосфорной кислоты образует нуклеозидтрифосфат. — *Ред.*

В первом поколении, а затем и во втором после пересадки исследовали распределение тяжелого изотопа среди молекул ДНК. Определение проводилось при помощи аналитического метода, разработанного специально для данного эксперимента (М. Мезельсон, Ф. Сталь и Дж. Вайногрэд, 1957 г.) — центрифугирования в равновесном градиенте плотности*. Оказалось, что в первом поколении все молекулы ДНК содержали ровно 50% N^{15} , а во втором половина молекул имела 50% N^{15} , а половина совершенно его не имела. Это указывает на состав молекулы ДНК из двух субъединиц, поведение которых в процессе удвоения совершенно схоже с предполагаемым поведением отдельных нитей двойной спирали ДНК. При помощи подобных опытов было доказано, что полуконсервативная редупликация наблюдается у различных организмов, в том числе у вирусов и клеток млекопитающих.

В течение некоторого периода времени еще оставалось место для сомнений — действительно ли сохранившиеся субъединицы являются одиночными нитями ДНК? Представлялось вероятным, что каждая субъединица сама по себе являлась двойной спиралью и что исследованные молекулы ДНК состояли из четырех нитей, образующих две бок о бок лежащие двойные спирали. Этой гипотезе не хватало той четкости и правдоподобности, какая отличала гипотезу Уотсона — Крика, но некоторые наблюдения могли быть истолкованы в ее пользу, и поэтому потребовалось проведение специальных опытов для ее проверки и исключения. Наиболее убедительными из выполненных опытов были измерения массы ДНК, приходящейся на единицу ее длины в молекулах тех организмов, для которых было доказано, что у них происходит полуконсервативная редупликация. Измерения подтвердили, что молекулы состоят лишь из одной двойной спирали. Было окончательно доказано, что удвоение двойной спирали ДНК происходит путем расхождения составляющих ее нитей, причем каждая из последних служит матрицей для синтеза нового ее компонента — новой, дополняющей ее второй нити.

* Центрифугирование в равновесном градиенте хлористого цезия — метод определения плотности макромолекул. Этот метод основан на том, что при центрифугировании под действием центробежной силы создается градиент плотности хлористого цезия. Макромолекулы (в данном случае молекулы ДНК) сосредоточиваются в равновесном слое, то есть в слое, плотность которого совпадает с их собственной плотностью. — *Ред.*

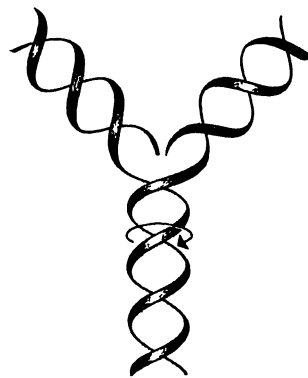


Рис. 1. Удвоение двойной спирали ДНК. Раскручивание исходных нитей и сопутствующее ему образование дочерних молекул

Обратимся теперь к обсуждению механизма редупликации ДНК. Уотсон и Крик, так же как и большинство других исследователей указанной проблемы, полагали, что редупликация ДНК протекает в зоне роста, распространяющейся по направлению от одного конца молекулы к другому. В этой зоне исходные нити раскручиваются и на них синтезируются новые нити. Раскручивание исходных нитей, следовательно, должно происходить одновременно с образованием дочерних, как это показано на рисунке 1. Ряд экспериментов, особенно проведенное Дж. Кэрном (США, 1963 г.) радиоавтографическое исследование* редупликации ДНК бактерий, подтвердили, что в основном высказанные предположения правильны.

Дж. Кэрнс выращивал *E. coli* на среде, содержащей H^3 тимидин**. Последний представляет собой метку, включаемую лишь в ДНК. После примерно двух генераций (поколений) клетки были разрушены и их содержимое нанесено на фотопластинку. Спустя несколько недель подобной экспозиции пластинка была проявлена в целях получения радиоавтографических изображений молекул на различных стадиях процесса их редупликации. Подобное изображение, представленное на рисунке 2, показывает у-образную молекулу, одно плечо которой мечено в два раза сильнее, чем второе плечо и ее средняя часть. По-видимому, эта молекула претерпела один цикл редупликации в мар-

* Радиоавтография — метод получения фотографических изображений объектов действием на фотоэмульсию радиоактивных изотопов, содержащихся в самом объекте. Радиоавтография используется для обнаружения микроколичеств радиоактивных веществ и изучения их распределения в объекте. — *Ред.*

** H^3 тимидин — соединение тимидина с радиоактивным изотопом водорода — тритием. — *Ред.*

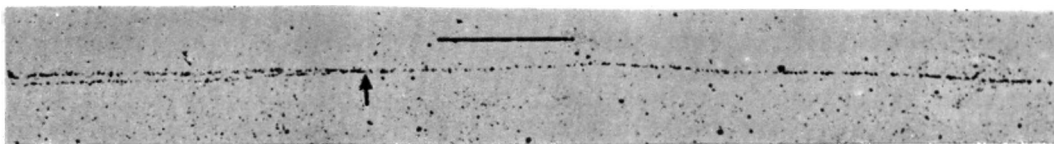


Рис. 2. Радиоавтография редулицирующей ДНК *E. coli*. ДНК была экстрагирована примерно после двух генераций клеток, растущих на среде, содержащей H^3 тимидин. Район роста обозначен стрелкой. Масштаб соответствует 100μ

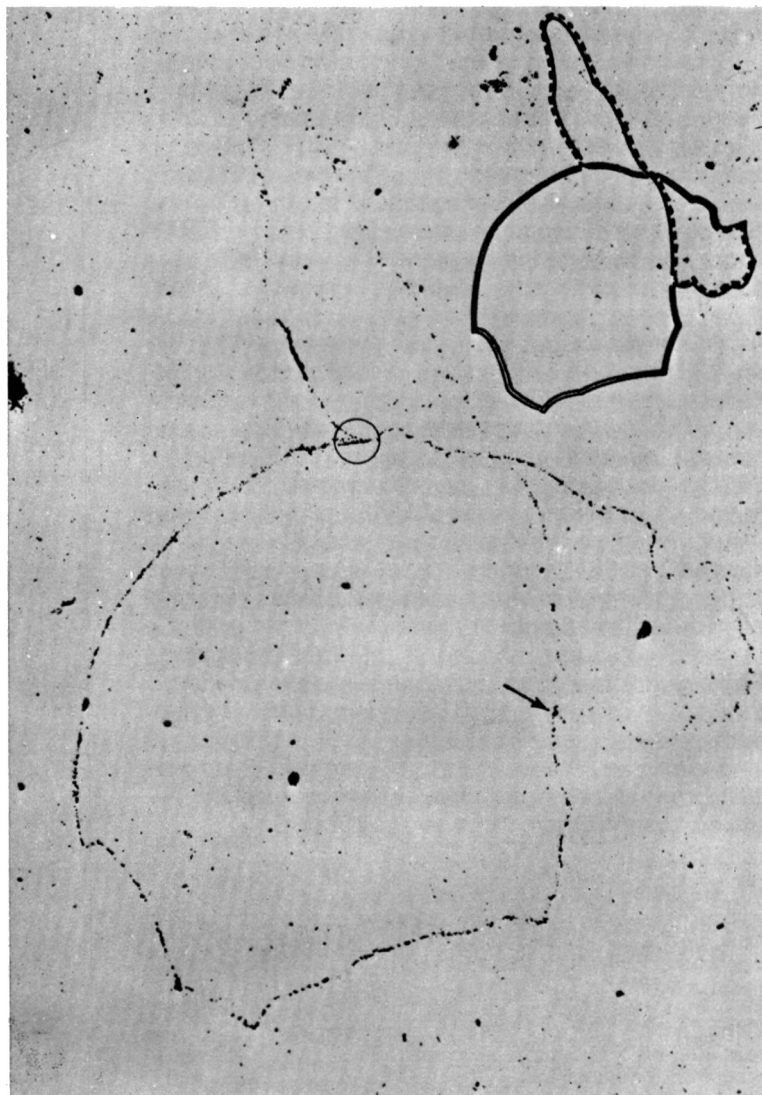


Рис. 3. Радиоавтография интактной редулицирующей хромосомы *E. coli*. ДНК была экстрагирована примерно после двух генераций клеток, растущих на среде, содержащей H^3 тимидин. Область роста обозначена стрелкой, а начальная точка редуликации — кружком. В верхней части рисунка дан линейный контур (μ) хромосомы, а также указано расположение меченой (—) и немеченой (— — —) нитей, выявленное на основе данных об интенсивности включения метки. Интерпретация радиоавтографа основывается прежде всего на том, что два более длинных участка имеют примерно одинаковую длину. Это свидетельствует о том, что они являются двумя дочерними спиралями, тогда как короткий участок радиоавтографа представляет собой родительскую спираль. Район роста — участок соединения, где родительская спираль мечена лишь наполовину. Другой участок соединения — стартовая точка редуликации. Участок родительской спирали, помеченный в два раза сильнее, указывает, на какой стадии цикла деления была введена метка (из работы Дж. Кэрнса, 1963 г.)

кированной среде с радиоактивной меткой и успела ко времени ее изоляции пройти примерно одну четверть второй редупликации. Непосредственные наблюдения подобных конфигураций и особенностей распределения в них изотопной метки дают убедительные доказательства в пользу реальности механизма, схематически изображенного на рисунке 1.

Дальнейшие радиоавтографические исследования выявили еще одну замечательную особенность. Неразрушенный геном бактерии *E. coli*, который мы будем в дальнейшем называть хромосомой, представляет собой кольцо (геном (генотип) — совокупность всех генов одного гаплоидного (одинарного) набора хромосом, который образуется после редукционного деления. У бактерий имеется лишь одна кольцевая хромосома, поэтому у них понятия геном и хромосома идентичны. — *Ред.*). В процессе редупликации хромосома фактически имеет не у-образную форму, а форму кольца, образованного соединением у-образных концов. Эти фигуры, наблюдаемые на некоторых радиоавтографах, являются, вероятно, обломками редуплицирующихся хромосом, схожих с представленной на рисунке 3. Открытие кольцевидного строения хромосомы у *E. coli* не было совершенно неожиданным, поскольку ранее была установлена кольцевидность генетической карты этого организма (генетическая карта — схема взаимного расположения генов, локализованных в одной хромосоме. — *Ред.*).

Обнаружение кольцевидных молекул ДНК у некоторых вирусов, заражающих бактерии и млекопитающих, указывает на общее значение кольцевидности хромосом. Однако причины подобной формы хромосом еще неизвестны. Дж. Кэрнс высказал предположение, что образование кольца соединяет концы у-образных участков в структуру, действующую наподобие мотора, который обуславливает процесс раскручивания материнской спирали. Возможно также, что кольцевидность создает условия для регулирования количества участков роста в каждой хромосоме. Возможно, наконец, что для начала процесса редупликации необходим некий механический сигнал, обусловленный локализацией участка роста в том месте кольцевидной хромосомы, где начинается редупликация.

Что касается регулирования процесса удвоения хромосомы, то имеются доказательства, по крайней мере для бактерий, что для этого необходимо наличие в клетке опреде-

ленных растворимых веществ. Наблюдения можно провести, например, на тех клетках, в которых, кроме самой бактериальной хромосомы, содержатся некоторые добавочные хромосомы, получившие название факторов пола. Были обнаружены мутантные факторы пола, утратившие способность к редуплицированию, несмотря на то, что сама бактериальная хромосома редуплицировалась вполне нормально. Получены также данные, доказывающие, что мутантный фактор пола способен редуплицироваться, если в клетке присутствует, помимо него, и нормальный фактор пола. Данный факт свидетельствует о рецессивности мутации, препятствующей протеканию процесса редупликации (рецессивность — явление, при котором признак одного из родителей не проявляется у организма, возникшего в результате гибридизации генетически различных предков, но возможность наследственной передачи сохраняется. — *Ред.*). Отсюда следует, что фактор пола обуславливает образование растворимого специфического продукта, необходи-

Мутация — резкое наследственное изменение, не обусловленное рекомбинацией генов. Различают генные мутации, обусловленные изменениями строения той сложной структуры, какой является ген, например, утратой группы атомов или изменениями ее расположения, и хромосомные мутации, обусловленные перестройками структуры хромосом или утратой ее отдельных сегментов. У бактерий особое значение имеют биохимические мутации, изменяющие обмен веществ, лишające клетку бактерии способности синтезировать определенную аминокислоту, витамин, основание нуклеиновых кислот и другие вещества, необходимые для ее существования.

У бактерий выявлены два типа клеток. В первом из них, обозначаемом F⁻, бактерии между собой не конъюгируют (не соединяются). Во втором (F⁺) они конъюгируют между собою, и при этом происходит перенос вещества хромосомы одной клетки в другую. Если конъюгирующие бактерии несут разные мутации, то в результате их слияния возникают рекомбинантные формы, несущие мутации обеих исходных клеток. При конъюгации между клетками типа F⁺ таких рекомбинантных форм возникает мало, но при конъюгации между бактериями типа F⁻ с бактериями типа F⁺ их возникает много. При конъюгации между этими типами клеток всегда часть хромосомы клетки F⁺ переходит в клетку F⁻. Это позволяет относить клетки F⁺ к мужскому полу. Генетический фактор, определяющий способность передачи генетического материала от клетки F⁺ («мужской») клетке F⁻ («женской»), обозначают как фактор пола. В клетке F⁺ он обычно находится не в хромосоме, а в цитоплазме, но иногда переходит на хромосому. Если в конъюгации участвуют клетки F⁺, в которых хромосомы содержат фактор пола, получается во много раз большее число рекомбинантных форм.

мого для осуществления процесса редупликации. Это одно из ряда наблюдений, говорящих в пользу общей схемы регуляции синтеза ДНК, предложенной Ф. Жакобом и С. Бреннером (Франция, Англия, 1963 г.). Согласно их схеме, каждый из способных к автономной редупликации элементов ДНК обладает геном, обуславливающим синтез растворимого инициатора данного процесса, который взаимодействует со специфическим участком, локализованным в том месте, откуда начинается редупликация. Взаимодействие этого участка и его растворимого инициатора — начало процесса синтеза ДНК. Картина, нарисованная Жакобом и Бреннером, представляет собой полезную и, весьма возможно, правильную рабочую гипотезу. Но все же вряд ли можно утверждать, что здесь все уже известно.

Нити двойной спирали ДНК закручены одна вокруг другой, поэтому в процессе своего удвоения они должны раскрутиться, как это было уже описано нами. Пока мало еще известно о механизме раскручивания. Приблизительные расчеты говорят о необходимости мощной движущей силы, которая смогла бы вызвать вращение всей недуплицированной части хромосомы *E. coli* с требуемой скоростью. Учеными предложен ряд гипотез для разрешения этой проблемы. Например, в относительной близости от области роста могут произойти кратковременные разрывы в одной цепочке, следствием которых может быть свободное вращение вблизи одиночных химических связей не испытывавшей разрывов цепи. При этом необходимость приложения силы для вращения возникнет лишь для части материнской спирали, простирающейся от области роста до разрыва. Данная гипотеза предполагает, в противоположность воззрениям Дж. Кэрнса, что обуславливающий редупликацию момент кручения возникает в самом районе роста. Проникновение разрывов одной нити в область роста, возможно, вызывает гибель дочерней спирали. Может быть, в числе локализованных там механизмов имеются и восстанавливающие повреждения ферменты. Можно также предположить, что скорость протекания процесса редупликации зависит от момента кручения и что она уменьшается, когда близкий разрыв одной нити вызывает ослабление момента кручения, обеспечивая достаточное время для восстановления ферментом разорванной нити. До сих пор нет убедительных доказательств правильности какой-нибудь из гипотез, предложенных для объяснения механизма раскручивания.

Итак, суммируем наше обсуждение вопроса о редупликации ДНК. Обе комплементарные нити, составляющие двойную спираль, отделяются друг от друга и выступают в роли матриц, на которых синтезируются новые комплементарные нити. В области роста возникает процесс, захватывающий вначале нередуплицированную молекулу и завершающийся образованием двух дочерних спиралей. Указанные положения можно считать доказанными. Но в противоположность этому мы до сих пор не имеем ясного представления о структуре области роста и происходящих в ней явлениях. Очень смутны и наши представления о механизмах, обуславливающих редупликацию, или о системах, регулирующих ее.

Копирование ДНК в процессе ее редупликации происходит, как правило, очень точно. Однако имеются два чрезвычайно важных биологических феномена, которые вызывают изменения последовательности расположения нуклеотидов в ДНК.

Продолжение нашего обсуждения мы посвятим рекомбинациям, исследуя взаимодействия между гомологичными молекулами ДНК*, ведущие к образованию молекул, у которых последовательность расположения нуклеотидов зависит отчасти от их последовательности у одного, отчасти — у другого из исходных взаимодействующих партнеров.

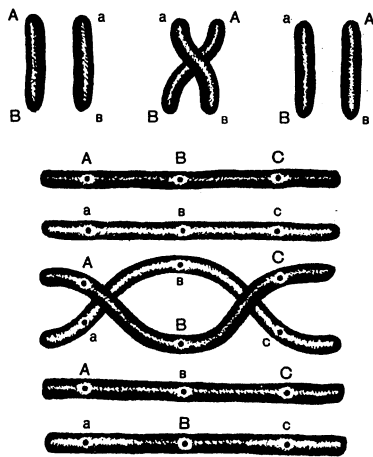
Для объяснения рекомбинаций были высказаны две совершенно противоположные гипотезы, предложенные задолго до того, как выяснилась генетическая роль ДНК. Тем не менее и та, и другая из указанных гипотез носят настолько общий характер, что их можно вполне использовать и для рекомбинаций между молекулами ДНК. Более ранняя из них — гипотеза разрывов и воссоединений — развита учеными Ф. А. Янсенсом, Т. Морганом и другими 50 лет тому назад. В то время существование рекомбинаций уже было признано генетиками (А. Стертевант и Дж. Бидл, США, 1912 г.). Много позднее Дж. Беллинг (США, 1931 г.) предложил противоположное объяснение явления рекомбинации, которое предшествовало гипотезе, известной под названием гипотезы выборочного копирования.

Согласно гипотезе разрывов и воссоединений рекомбинатные хромосомы формируются путем соединения фрагментов исходных

* Гомологичные молекулы ДНК — две отделившиеся друг от друга комплементарные цепи двойной спирали ДНК. — Ред.

структур. Гипотеза выборочного копирования, наоборот, считает исходные хромосомы лишь матрицами, на которых синтезируются рекомбинантные хромосомы. Последние поочередно копируются сначала с одной, а затем со второй исходной структуры. По этой гипотезе исходные хромосомы передают рекомбинантным только свою информацию, но не свое вещество. Сам Дж. Беллинг (1933 г.) отказался от идеи выборочного копирования, потому что было установлено наличие двойных кроссинговеров, захватывающих три или четыре нити, то есть таких случаев, когда со всей очевидностью ясно, что исходные хромосомы не сохранили свою структуру после рекомбинации. Тем не менее по причинам не заслуживающим того, чтобы они были упомянуты в столь небольшой статье, до недавнего времени выборочное копирование рассматривалось как правдоподобный механизм рекомбинации у бактерий и вирусов. Поэтому вызывает невольную улыбку то обстоятельство, что именно у этих организмов были получены наиболее убедительные доказательства в пользу гипотезы разрывов и воссоединений. Особенно много дали в указанном отношении опыты с бактериофагами.

Генетическая рекомбинация бактериофагов осуществляется путем инфицирования кле-



Кроссинговер, или перекрест, — обмен между гомологичными участками гомологичных хромосом. При этом возникают половые клетки типов Ав и аВ. Такая рекомбинация называется **реципрокной**.

Двойной кроссинговер, или двойной перекрест, — обмен между тремя парами генов гомологичных хромосом, когда кроссинговер происходит как на участке между первым и вторым геном, так и на участке между вторым и третьим геном.

ток бактерий смесью генетически маркированных фагов (маркер — ген, обуславливающий хорошо различимый признак. — Ред.). В потомстве от инфицированных подобной смесью клеток имеются как исходные, так и рекомбинантные типы фагов. Частота появления рекомбинантных форм может быть использована для построения линейных генетических карт, подобно тому как были использованы для этой цели все рекомбинантные системы, подвергавшиеся детальному генетическому анализу. На таких картах расстояние между двумя любыми генами пропорционально среднему проценту их рекомбинаций. У всех исследованных штаммов фагов все маркеры укладываются в пределах одной генетической карты. В соответствии с этим и физическим носителем наследственности фага является одна молекула ДНК. Ей может быть присвоено название фаговой хромосомы. Так же как и у высших организмов, расположение маркеров вдоль генетической карты фага совпадает с расположением соответствующих факторов наследственности по длине его хромосомы. Более того, оказывается, что расстояния между маркерами на генетической карте примерно пропорциональны расстояниям между ними на протяжении хромосомы.

Если рекомбинации являются следствием лишь простых разрывов и воссоединений хромосом, то должны возникать хромосомы, у которых одна часть двойной нити ДНК происходила бы от одной исходной хромосомы, а вторая часть — от другой. Подобная картина и наблюдается при скрещивании

Фаг — бактериальный вирус, паразитирующий на бактерии или находящийся в симбиозе с нею. Проникая в бактерию, фаг вводит в нее свое содержимое, состоящее из нуклеиновой кислоты. Нуклеиновая кислота обладает способностью так изменять обмен вещества бактерии, что она начинает продуцировать новые фаговые частицы — профаги, подобные той, которая проникла в бактерию. Профаг прикрепляется к бактериальной хромосоме в определенном месте и ведет себя подобно гену бактериальной хромосомы, влияя на биохимические свойства бактерии — хозяина. Фаги могут мутировать, и каждая мутантная форма их, находясь в клетке бактерии в виде профага, оказывает свое специфическое воздействие на биохимические свойства клетки — хозяина. Подобные мутантные формы фагов являются поэтому генетически маркированными. Каждая мутантная форма профага прикрепляется в определенном для нее месте бактериальной хромосомы. Если одновременно заразить бактерию фагами двух разных типов, то возникают с определенной средней частотой, наряду с исходными, новые рекомбинантные типы фагов.

фагов, несущих меченную изотопами ДНК. Более того, поскольку имеется примерное сходство между линейными расстояниями на генетической карте и на хромосоме, то следует ожидать, что соотношение длины участков исходных хромосом, образовавших хромосому определенного рекомбинантного типа, должно быть равным соотношению длины соответствующих участков генетической карты. Измерения количества маркированной ДНК у некоторых рекомбинантов, полученных от скрещивания фагов, чьи хромосомы были помечены изотопами, подтвердили это предположение, касающееся довольно узкого вопроса и основанное на гипотезе разрыва и воссоединения (М. Мезельсон и Дж. Уигл, 1961 г.; Г. Келленбергер и другие, 1963 г.).

Есть также доказательства того, что разрывы и воссоединения имеют место при рекомбинациях у бактерий (М. Волл и С. Гудголл, 1961 г.; М. Фокс, 1962 г.; О. Сиддики, 1963 г.). Обнаружение этого механизма у вирусов и бактерий после того как полагали, что он действует лишь у высших организмов, указывает на отсутствие коренных различий между молекулярными механизмами рекомбинаций у столь разных форм. Генетической основой данного предположения является то обстоятельство, что, за одним возможным исключением, основные особенности процесса рекомбинации у бактерий и вирусов представляют собой копии таковых процессов у высших организмов. У высших организмов рекомбинация между хорошо отделенными друг от друга маркерами обычно бывает реципрокной. В отношении рекомбинаций у бактерий и вирусов подобного явления пока еще не обнаружено. Однако нет и решительных доказательств его отсутствия у этих форм. Таким образом, нет серьезных причин предполагать, что имеется не один основной молекулярный механизм генетических рекомбинаций, а несколько механизмов такого рода.

Почти ничего неизвестно о процессах, вызывающих разрыв и воссоединение молекул ДНК. Однако мы начинаем понимать структуру первичной рекомбинантной хромосомы

в районе воссоединения. Важные данные были получены в результате изучения частичных гетерозигот*, изредка возникающих при скрещивании бактериофагов (С. Луриа, 1962 г.). Они гетерозиготны в отношении коротких участков генетической карты. Размножаясь, они расщепляются и дают гомозиготное потомство**, которое обычно является рекомбинантным в отношении маркеров, локализованных на противоположных сторонах района исходной гетерозиготности. Редкое явление послемейотического расщепления, наблюдаемое у грибов (Дж. Финчем и П. Дэй, 1963 г.), по-видимому, тесно связано с гетерозиготностью фагов.

Еще несколько ранее этих открытий исследователи фагов предположили, основываясь на особенностях частичных гетерозигот, что структура первичного рекомбината может включать короткое перекрытие между участками разного происхождения (К. Левинтал, США, 1954 г.). Открытие разрывов и воссоединения молекул ДНК у фагов привело к выводу, что воссоединение двух участков ДНК происходит в результате такого перекрытия, при котором комплементарные нити двух исходных участков конъюгируют в соответствии со специфическими водородными связями структуры Уотсон—Крика (М. Мезельсон, 1962 г.). Подобный механизм мог бы объяснить высокую специфичность и точность генетической рекомбинации. Обмен может происходить лишь между гомологичными рядами нуклеотидов, поэтому эти ряды не утрачиваются и не добавляются, а просто рекомбинируются.

Хотя мы еще не располагаем окончательными доказательствами, некоторые физические наблюдения, которые мы здесь не будем описывать, говорят довольно убедительно о том, что перекрывающиеся участки рекомбинантного бактериофага содержат только две нити ДНК (Г. Келленбергер, М. Зишиши и Г. Эпстейн, 1962 г.; М. Мезельсон, 1964 г.). В поддержку этой концепции можно привести тот довод, что идею о составе перекрытия из четырех нитей трудно сочетать с образованием реципрокных рекомбинантов, обнаруженных у высших организмов. В ходе указанных выше исследований было выявлено, что другими особенностями воссоединения молекул ДНК являются удаление и ресинтез небольшого количества ДНК. Эти процессы схематически изображены на рисунке 4. Две молекулы ДНК, изображенные на этой схеме, предположительно представляют собой результат одной реципрокной рекомбинации. Рассмотрим ее генетические последствия.

* Гетерозигота—зигота (клетка, образованная в результате слияния двух половых клеток), у которой соответствующие участки гомологичных хромосом содержат разные аллели. — Ред.

** Гомозиготное потомство—особи, у которых соответствующие участки гомологичных хромосом несут одинаковые аллели. Половые клетки такой особи имеют поэтому лишь один этот аллель. — Ред.

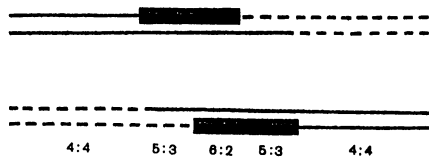


Рис. 4. Вероятная структура двух молекул ДНК в результате одной реципрокной рекомбинации. Тонкая сплошная и прерывистая линии представляют нити полинуклеотидов, происходящих от разных родительских молекул. Жирной сплошной линией обозначены участки, где ДНК одной родительской нити была утрачена и замещена ДНК, синтезированной вдоль комплементарной нити, происходящей от другой родительской нити. Подобный тип утраты участка ДНК и его ресинтеза является уникальным. В результате мейоза возникают две указанные на данной схеме структуры (рекомбинантные) и две нерекомбинантные хромосомы противоположного родительского типа. Указано соотношение частей хромосомы в результате мейоза

Возможность потери некоторой части ДНК в области перекрывания, а затем ресинтезирования ее дает объяснение некоторым неправильным расщеплениям, наблюдаемым в тех случаях, например, у разных грибов, когда проявляются все возникающие при мейозе генотипы. Если принять правдоподобную гипотезу, что нередуцированные хромосомы содержат у любых организмов лишь одну

двойную нить ДНК, то после рекомбинации в мейозе имеются четыре двойных нити ДНК. Если нет преимущественной потери или редупликации какой-то определенной части ДНК, то в результате мейоза любые два аллеля, участвовавшие в скрещивании, должны встречаться с одинаковой частотой в образовавшихся в результате мейоза клетках. Тем не менее, если, как было указано выше, произошла потеря, а затем ресинтез нитей ДНК в районе их перекрывания вдоль комплементарной нити иного происхождения, то аллели иногда образуются на равном соотношении частей хромосомы. Помня, что мейотические рекомбинации представляют собой конъюгацию двух из имеющихся в наличии четырех хромосом, мы вправе ожидать случайного расщепления аллелей в отношении 6:2 и 5:3, как это показано на рисунке 4. Подобные неправильные соотношения действительно возникают, и они оказываются связанными с рекомбинациями расположенных вблизи от них генов-маркеров (Дж. Финчем и П. Дэй, 1963 г.). Они получили название «генных конверсий» (превращений генов), указывающее на возможность обусловленности подобных неправильных соотношений аллелей не обычной рекомбинацией, а другим процессом. Однако нет веских доказательств ошибочности более простого объяснения конверсий гена, согласно которому они представляют собой результат потери и ресинтеза ДНК, связанных с нормальной рекомбинацией, как это было объяснено выше (аналогичное объяснение явления конверсии генов было предложено и Х. Уайтхаузом, 1963 г.).

Каковы бы ни были детали механизма рекомбинации, он, по-видимому, включает по меньшей мере четыре различных реакции: разрывы нитей ДНК, потери участков ДНК, ресинтез утраченных участков, воссоединение их с сохранившейся частью нити ДНК при помощи фосфорнодифирных связей. Почти наверняка все эти процессы катализируются специфическими ферментами. Ни один из таких ферментов еще не был окончательно выявлен, но разрешение этой задачи, видимо, и является одним из главных направлений исследований, имеющих своей целью углубление наших знаний о рекомбинации генов.

Мейоз — деление ядра половых клеток, в результате которого число хромосом уменьшается вдвое по сравнению с клетками тела организма (соматическими клетками). В последних каждая хромосома представлена в двойном числе. В результате мейоза из каждой пары гомологичных хромосом в половую клетку попадает лишь одна хромосома. Это мейотическое расщепление. **Послемейотическое расщепление** — расщепление по аллелям одного участка хромосомы после мейоза. **Аллель** — форма гена, измененная в результате мутации.



ГОВАРД УОЛТЕР ФЛОРИ (*Florey*) (р. 1898) — английский специалист в области патологии и антибиотиков. Экс-президент Королевского общества Великобритании, член Королевской коллегии врачей Великобритании, почетный член Королевской коллегии врачей Австралии, иностранный член АН СССР.

Родился в Аделаиде (Южная Австралия). Там он окончил Академическую школу, а потом университет. В 1922 он приехал в Оксфордский университет, где учился под руководством профессора Шерингтона. В 1925—1926 изучал специальную патологию в США. Ранние эксперименты Г. Флори посвящены проблемам патологии: воспалению, капиллярному кровообращению, функции лимфоцитов. С 1935, будучи профессором патологии в Оксфорде, Флори начал изучать противобактерийные свойства лизоцимов, а затем пеницилина. Мировую известность имеют его труды по специальной патологии.

ГОВАРД УОЛТЕР ФЛОРИ

СТРОЕНИЕ

КЛЕТКИ

И ЕЕ ФУНКЦИИ

Произведения наскальной живописи поражают удивительной точностью изображения животных. Видимо, изучение анатомии тела привлекало внимание людей с древнейших времен. Знания о внутреннем строении человеческого тела, приобретенные древними греками и египтянами, основывались, главным образом, на визуальных наблюдениях животных и чисто теоретических предположениях о физиологических механизмах. Такой подход к изучению анатомии человека господствовал почти 1500 лет, пока ученые, работающие в основном в Италии, не подошли по-новому к исследованию строения тела и постепенно освободились от влияния древней догмы.

Вскоре после этого был изобретен микроскоп. В XVII в. начала накапливаться информация о строении тканей животного, которое до того времени не было известно.

Вначале ткани животных рассматривались

во влажном или в сухом виде, но в XIX в. были найдены пути для «фиксации» ткани, которая, как полагали, сохраняла большую часть живых структур. Средства для получения тонких срезов таких сохранившихся тканей увеличили возможности микроскопических исследований, которые еще больше возросли с созданием методов дифференцированной окраски.

Дифференцированная окраска позволила наблюдателям различать некоторые элементы ткани и определять содержимое отдельных клеток, которые составляют большую часть тела животного. Все это создало твердую уверенность в том, что основной и самый важный элемент живых организмов — клетка. В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям свойств клетки.

Долгое время у ученых возникали сомнения, действительно ли морфологические чер-

ты клеток, фиксированных с помощью химических веществ, соответствуют строению живой клетки.

Следующий шаг вперед был сделан в XX в. Изобрели фазово-контрастный микроскоп, при помощи которого удалось рассмотреть многие из структур, выявляемых в фиксированной клетке.

Ближе к середине XX в. ученым стало ясно, что дальнейшее усовершенствование оптического микроскопа невозможно. Предел реального увеличения в микроскопе был и все еще остается около 2000 раз. Граница устанавливается длиной волны видимого света.

Некоторые успехи достигнуты в гистохимии — науке, изучающей локализацию химических веществ и процессов в микроскопических структурах тканей и клеток, благодаря чему появилась возможность выявлять расположение ферментов, основных катализаторов жизни, в определенных местах в клетке.

Изобретение светового микроскопа для изучения тканей животного было настоящим переворотом в биологии.

Открытие волнового характера движения электрона и связи его с магнитными полями сыграло большую роль в изобретении электронного микроскопа. Этот прибор дает гораздо большее увеличение, чем световой микроскоп, потому что электронные волны короче световых. Конечно, электронные волны нельзя увидеть невооруженным глазом, но они могут вызывать видимое свечение (флуоресценцию) в некоторых химических веществах. При определенных условиях изображения предметов могут быть видны на плоской поверхности свечения — на экране, подобном телевизионному. Более того, электроны влияют на фотографические пластины и могут создавать на них изображения предметов, возникающих после проявления.

Каждая область биологии стимулировалась введением методов, связанных теперь с электронным микроскопом.

В течение последних 15 лет регулярно собираются специальные международные конгрессы и было создано много журналов, отражающих результаты электронномикроскопических исследований. Однако эти исследования рассматриваются не сами по себе а в теснейшей связи с изучением функций клетки физиологами и биохимиками.

При помощи электронного микроскопа можно рассмотреть не только структуру очень маленьких фильтрующихся вирусов, но и их поведение в клетках, которые они заражают.

Рис. 1.

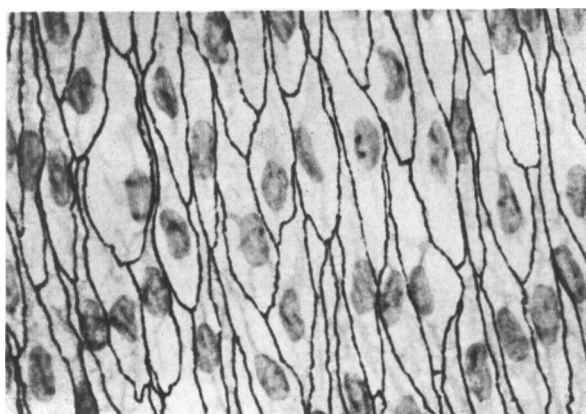


Рис. 2:

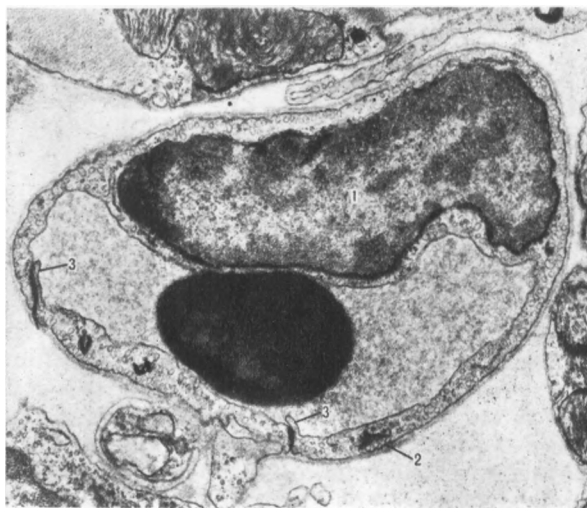


Рис. 3.



Рис. 1. Эндотелий, выстилающий аорту кролика. Границы между плоскими клетками, в которых видны ядра, выделены, так как препарат был обработан нитратом серебра ($\times 800$)

Рис. 2. Эндотелиальные клетки в сердечном капилляре. На этой фотографии показаны части эндотелиальных клеток. Соединением между ними являются щели, узкие и более темные, чем окружающая их цитоплазма. Базальная мембрана расположена близко к клеткам и имеет сходство с мембраной, покрывающей сердечную мышцу. Цитоплазма содержит в себе много пузырьков. 1 — ядро; 2 — базальная мембрана; 3 — соединение ($\times 24,000$)

Рис. 4.

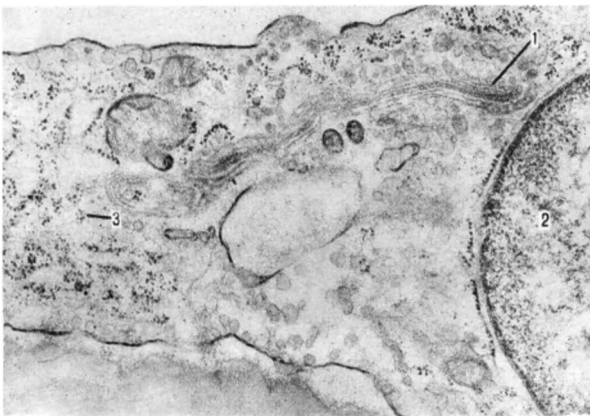
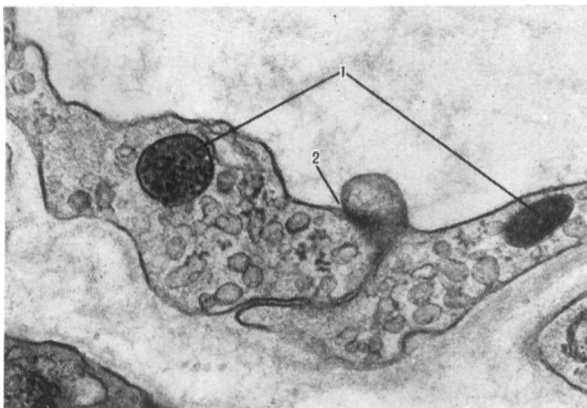


Рис. 3. Структурные элементы трех эндотелиальных клеток капилляра сердечной мышцы: 1 — митохондрия; 2 — рибосомы; 3 — эндоплазматический ретикулум; 4 — базальная мембрана; 5 — соединение ($\times 46,000$)

Рис. 4. Эндотелиальная клетка аорты: 1 — тельце Гольджи, которое состоит из обычных параллельных пластинчатых структур и пузырьков; 2 — ядро; 3 — рибосомы ($\times 39,500$)

Рис. 5. Мультивезикулярные (пузырьковидные) тельца в двух эндотелиальных клетках поджелудочной железы: 1 — мультивезикулярные тельца; 2 — соединение ($\times 73,000$)

Рис. 5.



Таким образом, создание электронного микроскопа произвело революцию в биологической науке. Расширение наших знаний, вызванное этой революцией, можно проиллюстрировать на примере эндотелиальных клеток, выстилающих внутреннюю поверхность кровеносных сосудов.

Перечисленные ниже элементы микроstructures клеток, которые видны на приводимых здесь электронномикроскопических фотографиях, невозможно увидеть под обычным микроскопом.

Рибосомы — это структуры, теснейшим образом связанные с выработкой белков клеткой.

Эндоплазматический ретикулум представляет собой мембраны, к которым прикреплены рибосомы, которые участвуют в синтезе белка.

Аппарат Гольджи. Точная функция этой органеллы неизвестна. Однако она почти наверняка участвует в синтезе веществ, в том числе в некоторых клетках — в синтезе белка.

Мультивезикулярные тельца. Они поглощают мелкие частицы, введенные в кровь. Плотные тельца. Функции тех и других известны еще недостаточно.

Тельца Вейбел-Палад, их функция неизвестна.

Межклеточные полости переносят различные вещества через стенку сосудов.

Другие органеллы можно увидеть в различных типах клеток. Функции многих структур, открытых электронным микроскопом, как уже было сказано, все еще не выяснены.

КЛЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ

Наиболее важная черта строения клетки, животной и растительной, — наличие в ней ядра и цитоплазмы. Ядро и цитоплазма теснейшим образом связаны между собой и не могут существовать друг без друга, но функция и строение их различны.

Ядро — главный управляющий «орган» клетки. Окруженное тонкой мембраной (под электронным микроскопом видно, что эта мембрана двуслойна, специальные поры в ней служат для соединения ядра с цитоплазмой), ядро содержит самые различные химические компоненты, но прежде всего белки и нуклеиновые кислоты. Главным компонентом ядра является один из видов нуклеиновых кислот — дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Она представляет собой вещество, на котором записана вся наследственная информация клетки. В момент клеточного деления ДНК собирается в хромосомы, которые хорошо видны в обычном световом микроскопе.

В ядре отчетливо выделяется еще одна, меньшая по размерам структура — ядрышко. В ядрышке накапливается и, по-видимому, синтезируется рибонуклеиновая кислота (РНК). Синтезируясь в ядре, она потом переносится в цитоплазму, где становится основной структурной единицей так называемых рибосом.

Рис. 6.

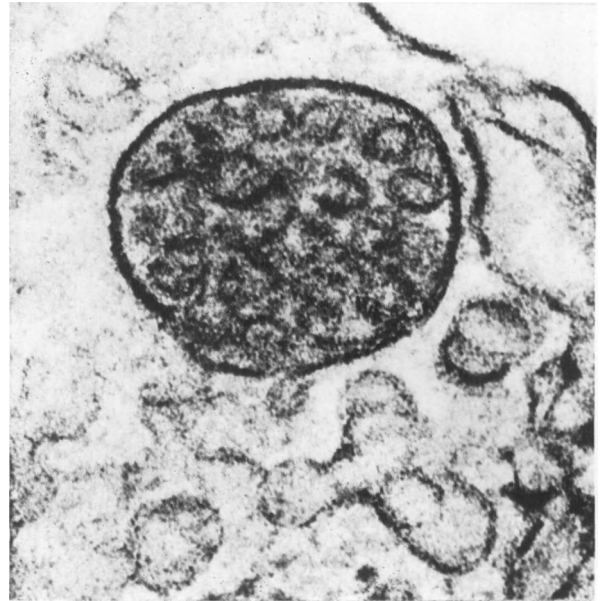


Рис. 7.

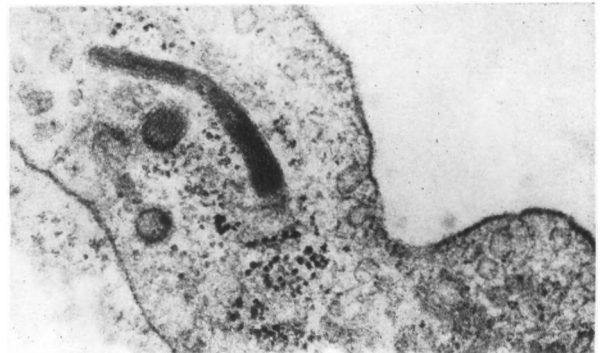


Рис. 8.

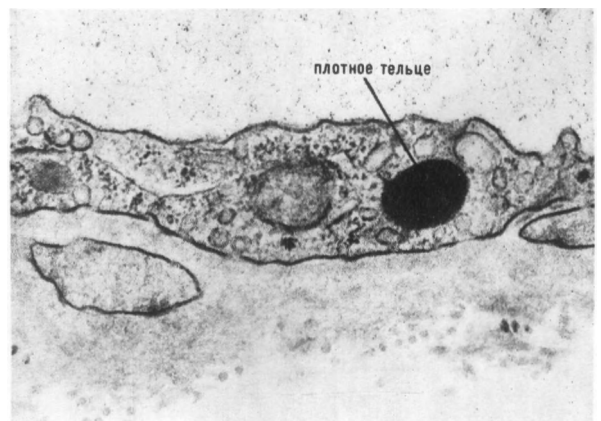


Рис. 9.

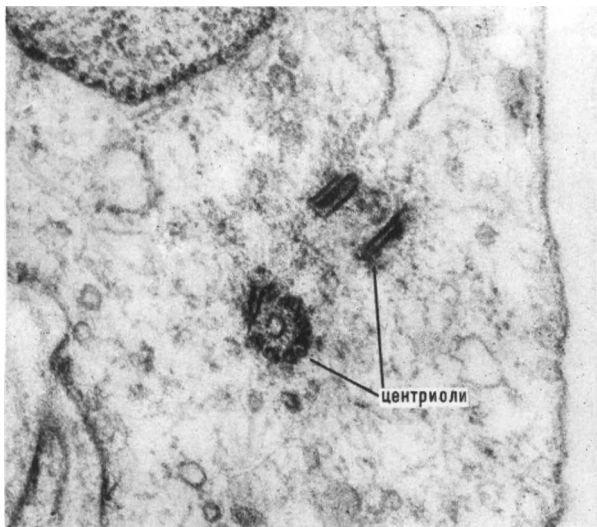


Рис. 10.

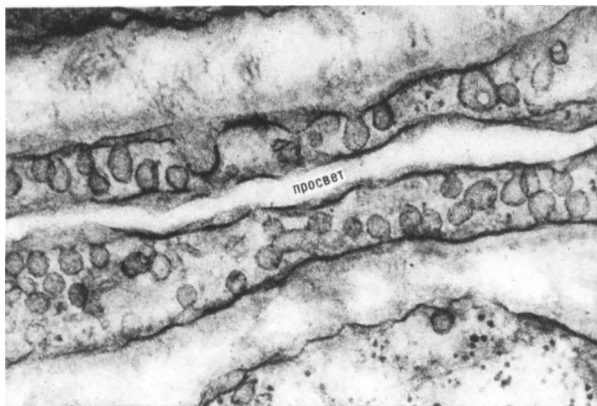


Рис. 11.

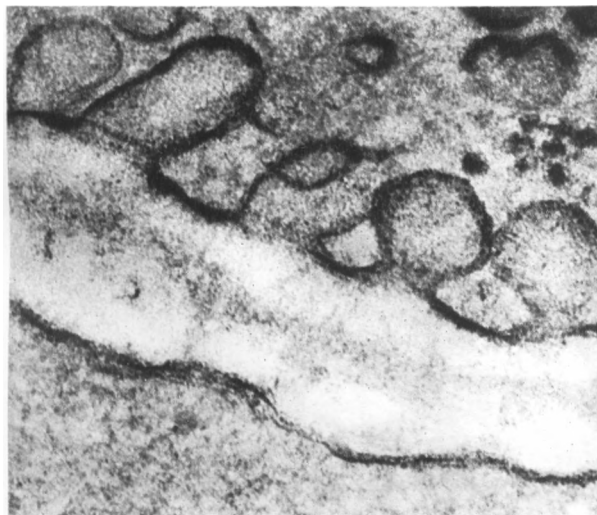


Рис. 6. Одно из мультивезикулярных телец с рисунка 5. Мембраны, окружающие основное тело, и мелкие пузырьки внутри него, состоят из двух внешних темных слоев и более светлой промежуточной зоны (× 1,700)

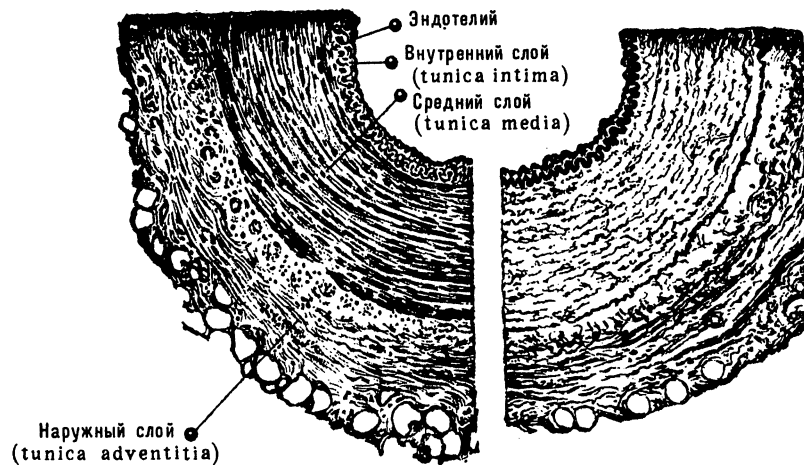
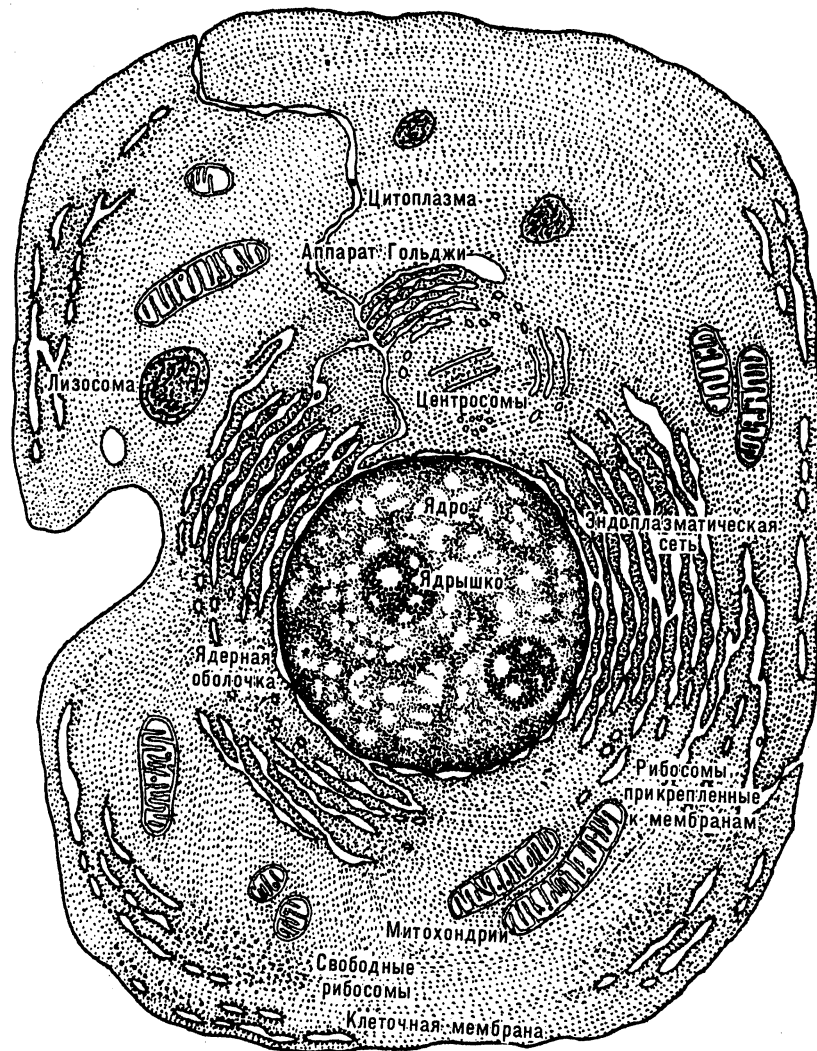
Рис. 7. Эндотелий аорты. Тельца, подобные тем, которые видны на этой фотографии, были описаны Вейбелом и Паладом. Они, очевидно, состоят из параллельных трубок, плотно прилегающих друг к другу. Одно тельце разрезано вдоль, другое — поперек (× 73,500)

Рис. 8. «Плотное» тельце в эндотелии капилляра поджелудочной железы (× 55,000)

Рис. 9. Центриоли в эндотелии аорты. Одна из них разрезана поперечно, другая — продольно. Они состоят из параллельных трубочек (× 80,000)

Рис. 10. Эндотелий капилляра сердца. Фотография показывает межклеточные мелкие полости, которые образованы, видимо, складками плазматической мембраны клетки и располагаются на ее внутренней и внешней поверхностях. В некоторых местах они, очевидно, прикасаются друг к другу, а иногда и углубляются в клетку на всю ее ширину (× 80,000)

Рис. 11. Мелкая полость, граничащая с наружной поверхностью эндотелиальной клетки. Выстилающая мембрана состоит из единой структуры и является продолжением плазматической мембраны поверхности клетки (× 170,000)



Цитоплазма — рабочий аппарат клетки. Вся она пронизана системой мембран, отходящих от ядерной оболочки и соединяющихся с наружной клеточной мембраной. Эти внутренние клеточные мембраны, образующие сильно переплетенную сеть с многочисленными канальцами и полостями, часто называют эндоплазматическим ретикуломом. К части мембран этого ретикулома прикрепляются рибосомы. В других случаях рибосомы лежат свободно.

Рибосома — чрезвычайно важная структура цитоплазмы. В ней или на ней осуществляется синтез белка. Сами рибосомы построены из белка и специального вида рибонуклеиновой кислоты, так и называемой рибосомной (о ней уже упоминалось, когда речь шла о ядрышке). Из ядра к рибосомам приходит и другой вид рибонуклеиновой кислоты — информационная. Эта РНК является отпечатком молекулы ДНК и несет в себе генетическую информацию, содержащуюся в ней. Отсюда и ее название — информационная. На молекуле информационной РНК, прикрепленной к рибосомам, отдельные аминокислоты выстраиваются в длинную молекулу белка.

Рибосома — очень важная, но далеко не единственная структура цитоплазмы. Огромное значение имеют **митохондрии** — структуры, ответственные за высвобождение и аккумуляцию энергии в клетке. Носящие название **лизосом** пузырьковидные образования содержат либо инородные для клетки вещества, либо вещества, которые хоть и синтезированы самой клеткой, но не должны находиться в составе цитоплазмы, так как вредны для нее. Разновидностями лизосом являются так называемые **мультивезикулярные** и **плотные тельца**, особенности функций которых еще недостаточно выяснены.

Заслуживает специального упоминания аппарат Гольджи, состоящий из системы внутриклеточных мембран. Описанный более 80 лет тому назад, он до сих пор остается по существу загадкой для исследователей. Недавно было высказано мнение, что аппарат Гольджи представляет собой место, в котором образуются клеточные мембраны.

Цитоплазма содержит многие другие структуры, носящие, однако, менее общий характер. Одни из них хорошо выявляются только в делящихся клетках (например, центриоли), другие содержатся лишь в клетках некоторых типов (нейрофибриллы — в нервных и миофибриллы — в мышечных клетках). Однако уже из приведенной общей схемы видно, как сложно построена

клетка, какой тонкий механизм представляет собой комплекс ее структур, обеспечивающих ее функции. Строение стенки сосуда. Исследование кровеносных сосудов представляет огромный интерес в связи с тем, что оно может помочь в распознавании причин многих болезней и прежде всего таких, как атеросклероз и гипертоническая болезнь.

Кровеносный сосуд состоит из трех слоев — внутреннего, среднего и наружного.

Внутренний слой — в специальной литературе его часто называют латинскими словами *туника интима* (*tunica intima*) — изнутри выстлан эндотелием. За эндотелием идет прослойка рыхлой соединительной ткани, через посредство которой осуществляется его питание. На границе между эндотелием и соединительной тканью лежит так называемая базальная мембрана.

К внутреннему слою прилегает средний — **медиа** (*tunica media*). Он представляет собой скопление сосудистых мышц, обеспечивающих изменение просвета сосуда.

Вокруг среднего слоя лежит наружный, состоящий из рыхлой соединительной ткани и носящий название **адвентиции** (*tunica adventitia*).

Приведенная схема относится к так называемым сосудам среднего калибра — артериям и венам. Эти сосуды различаются лишь своим средним (мышечным) слоем. В активно сокращающихся артериях он толстый, в венах же он тонкий, плохо выраженный.

Особую группу сосудов представляют тончайшие кровеносные капилляры. По своему строению они соответствуют внутренней оболочке сосуда среднего калибра и состоят из эндотелия и рыхлой соединительной ткани. Капилляры играют важнейшую роль в нашем организме: именно через их стенку осуществляется обмен между кровью и тканями. Одни вещества, прежде всего кислород и питательные вещества, переносятся при этом из крови в межклеточную жидкость, а оттуда в клетки. Другие — углекислота и продукты клеточной жизнедеятельности — переходят в кровь.

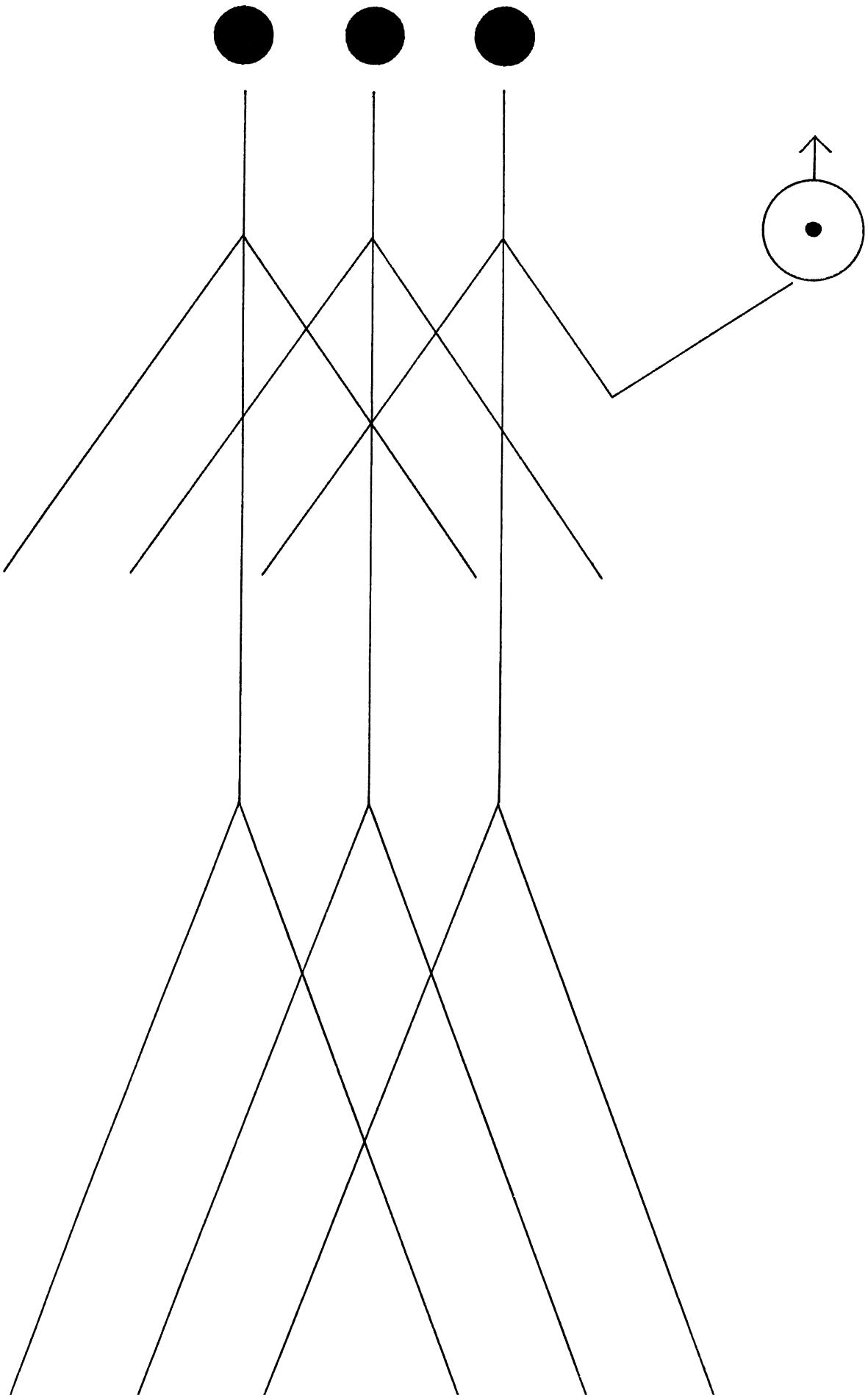
Роль барьера играют при этом клетки **эндотелия**. Вот почему так важно изучение эндотелия, в особенности с помощью электронной микроскопии.

Клетки эндотелия прекрасны видны на оригинальных электронных микрофотографиях профессора Г. Флори. Чрезвычайно высокое качество этих фотографий, представляющих значительный научный интерес, свидетельствует о больших достижениях руководимого профессором Г. Флори коллектива.

У СКРЫТОЙ И ЗАМКНУТОЙ ВНАЧАЛЕ
СУЩНОСТИ ВСЕЛЕННОЙ НЕТ СИЛЫ,
КОТОРАЯ МОГЛА БЫ ПРОТИВОСТОЯТЬ
ДЕРЗАНИЮ ПОЗНАНИЯ;
ОНА ДОЛЖНА РАСКРЫТЬСЯ ПЕРЕД НИМ,
ПОКАЗАТЬ ЕМУ СВОИ БОГАТСТВА
И СВОИ ГЛУБИНЫ
И ДАТЬ ЕМУ НАСЛАЖДАТЬСЯ ИМИ.

Гегель

ВСЕЛЕННАЯ





КОНСТАНТИН ПЕТРОВИЧ ФЕОКТИСТОВ (р. 1926) — механик, доктор технических наук, космонавт. В 1949 окончил Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана. После окончания МВТУ работает инженером. В 1951 поступает в аспирантуру. В 1955 защищает кандидатскую диссертацию. Выполняет ряд работ по теории движения и проектированию машин. В 1964 в качестве научного сотрудника принимает участие совместно с В. М. Комаровым и Б. Б. Егоровым в полете первого многоместного космического корабля «Восток». В 1967 получает докторскую степень за комплекс ранее выполненных работ.

КОНСТАНТИН ПЕТРОВИЧ ФЕОКТИСТОВ

КОСМИЧЕСКИЕ

КОРАБЛИ

Эта статья посвящена основным проблемам создания космических кораблей.

Мне, собственно, хотелось говорить только о трех вопросах — о близости задач создания космического корабля и живого существа, о космических кораблях будущего и о распределении обязанностей в управлении кораблем между автоматами и экипажем. Но, как и всякому человеку, стремящемуся сохранить логичность и последовательность высказываемых суждений, мне приходится говорить и об очевидных и тривиальных вещах — это плата за попытку связного изложения.

На наших глазах возникает новая область техники — техника космических кораблей.

Начало этому было положено в конце пятидесятых годов созданием первого космического корабля «Восток», а затем и кораблей «Меркурий», «Восход» и «Джемини».

Сравнительно простые, а с точки зрения инженеров конца шестидесятых и начала семидесятых годов, может, и просто примитивные, — эти корабли уже несут в себе те особенности, которые будут характерны и для будущего, а техника их создания является той отправной базой, от которой начинает развиваться техника космических кораблей.

Для создания первых космических кораблей было использовано все лучшее, чем располагает современная техника. По мере роста задач, которые будут ставиться при создании космических кораблей, будут расти и проблемы, и трудности, потребуется новая техническая и научная база, связанная практически со всеми отраслями человеческого знания.

Задача создания космического корабля — типичная комплексная проблема. Сложность и многосторонность этой проблемы можно хорошо проиллюстрировать, если заметить, что задача создания космического корабля близка по постановке к задаче создания некоего живого высокоорганизованного существа, предназначенного жить и действовать в весьма широком диапазоне условий среды и пространства.

Пусть меня не подозревают в том, что здесь делается попытка протащить «тихой сапой» постановку задачи о создании живого существа, способного жить, передвигаться, собирать и обрабатывать информацию в космосе и на каких-либо других планетах, обмениваться ею.

Просто проблема создания космического корабля сама по себе очень близка к этому. Конечно, можно было бы найти другие, более безобидные аналогии вроде океанского корабля, воздушного лайнера и тому подобное, но на предложенной аналогии можно проще пояснить трудности, многообразии задачи и показать ее соблазнительность.

Каковы же характерные особенности:

живого существа

Получение и обработка информации, обмен информацией с другими существами и, соответственно, наличие органов для получения (глаза, уши, осязание, обоняние, вкус) и обработки информации (центральная и периферийная нервные системы).

Возможность существования в широком диапазоне условий среды с одновременным поддержанием внутри организма весьма стабильных условий, необходимых для надежного функционирования организма, и, соответственно, наличие органов, обеспечивающих стабильные условия внутри организма (органы регулирования теплообмена через кожу, кровообращение и т. д.).

космического корабля

Получение и обработка информации об окружающем пространстве, о своем положении в пространстве (координаты угловые и линейные), о параметрах движения, возможность сбора «новой» информации и, соответственно, наличие «органов» для получения (средства измерений — радио, оптические, гироскопические, приборы для научных исследований и т. д.) и обработки информации (счетно-решающие устройства, бортовые вычислительные машины и, наконец, экипаж).

Полет в широком диапазоне условий (перегрузки и вибрации при подъеме с Земли и при спуске на Землю, высокая температура при спуске, вакуум в орбитальном полете, поток световой энергии от Солнца и отсутствие его в тени планеты, радиация, метеориты и т. д.) и, соответственно, средства для поддержания стабильных условий внутри корабля — по температуре, по давлению, по газовому составу, — необходимых для обеспечения жизни экипажа и для работы бортовой аппаратуры (герметичность отсеков, тепловая защита, средства поддержания теплового ре-

Возможность ориентации и передвижения в пространстве и, соответственно, наличие органов контроля ориентации (глаза, вестибулярный аппарат и т. д.) и передвижения (ноги, крылья и т. д.).

Питание — возможность восполнения энергетических затрат.

Наличие некоторого избытка, резерва сил на случай непредвиденных обстоятельств, возможность бороться с болезнями и восстанавливать здоровье даже после существенных травм и болезней, наличие резерва сил, которые проявляются часто в играх и в другой деятельности, не направленной на достижение примитивных материальных целей.

Автоматическая координация и синхронизация работы внутренних органов.

Эти параллели можно было бы продолжить, но уже перечисленных достаточно для наших целей.

Приведенный здесь подход к задаче создания космического корабля как к проблеме создания высокоорганизованного существа сразу позволяет в значительной степени представить себе сумму проблем, которые необходимо разрешить, и даже контуры общего решения.

Естественно, что полученные таким способом общие требования и представления не определяют однозначно образ космического корабля, его устройство, сложность и особенности его отдельных элементов. Кроме постановки общих для всякого космического корабля требований, нужен определенный компас, то есть нужно ясно осознать и четко

жима и газового состава в кабине и т. д.).

Необходимость осуществления маневров для изменения направления и характера движения и, соответственно, наличие средств угловой ориентации корабля в пространстве (оптические, гироскопические, радио- и другие средства со счетно-решающими устройствами и системами управляющих органов — микрореактивных двигателей, маховиков и т. д.) и средств изменения количества движения корабля (корректирующие двигательные установки, ракетные ступени, электрореактивные двигатели в межпланетных кораблях).

Питание, водоснабжение и обеспечение кислородом экипажа, а также обеспечение энергоснабжения бортовой аппаратуры и, соответственно, наличие на борту либо запасов питания, либо средств, позволяющих получать энергию и обеспечить регенерацию частично или полностью потребляемых экипажем запасов. Наличие запасов прочности конструкции, дублирование аппаратуры, систем и отдельных элементов, наличие запасов энергии, превышающих минимально необходимые для достижения поставленных целей, регулярное выполнение всякого рода тестовых операций с целью проверки работоспособности систем и агрегатов и корабельного комплекса в целом.

Координация и управление работой бортовых систем, регулирование ритма их работы в различных режимах полета и в различных обстоятельствах — при изменении условий полета.

294 сформулировать цель, которую мы преследуем, решая данную задачу. Со временем цели создания космических кораблей будут меняться и, соответственно, будут меняться технические средства, привлекаемые для создания корабля.

Первые космические корабли («Восток», «Меркурий») преследовали очень узкую цель — обеспечить возможность осуществления первых полетов человека в космос по орбите спутника Земли и провести первые исследования влияния условий полета на организм человека.

Такая формулировка задачи резко упрощала общие проблемы создания корабля, четко ограничивала диапазон условий его работы и сводила решение задачи к нескольким узловым проблемам:

— выведение на орбиту спутника Земли аппарата с человеком (проблема создания достаточно мощной и надежной ракеты-носителя);

— спуск космического корабля с орбиты на Землю и приземление (главное — защита от воздействия высоких тепловых потоков при спуске в атмосфере);

— обеспечение контроля и возможности управления полетом корабля с Земли, так как перед первым полетом еще нельзя было с уверенностью утверждать, что человек в условиях невесомости будет способен управлять полетом корабля самостоятельно;

— ориентация корабля в пространстве и сообщение кораблю корректирующего (тормозного) импульса количества движения, необходимого для перевода космического корабля с орбиты спутника Земли на траекторию снижения, проходящую в плотных слоях атмосферы;

— обеспечение условий существования космонавта на борту корабля и условий работы бортовой аппаратуры (правда, в течение ограниченного отрезка времени, порядка нескольких суток);

— энергопитание бортовой аппаратуры.

Первая проблема решалась использованием мощной многоступенчатой ракеты на химическом топливе.

КОСМОС — АРЕНА МИРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С самого начала космической эры, которую открыл первый в мире советский искусственный спутник Земли, Советский Союз неизменно выступает инициатором разработки международно-правовых норм, регулирующих деятельность государств по освоению и использованию космического пространства.

Еще в марте 1958 года правительство Советского Союза выступило с предложением о заключении международного соглашения, запрещающего использование космоса в военных целях. В 1961 году Советский Союз заявил, что первый космический полет Юрия Гагарина — достижение не только советского народа, но и всего человечества, что все достижения и открытия наша страна ставит на службу миру и безопасности народов.

Усилия Советского Союза привели к принятию XVIII сессией Генеральной Ассамблеи ООН в 1963 году резолюции о невыводе на орбиту объектов с ядерным оружием на борту.

27 января 1967 года в Москве, Вашингтоне и Лондоне был открыт для подписания широкий международный договор, который незадолго до этого был одобрен Генеральной Ассамблеей ООН.

Договор устанавливает твердый правопорядок в новой сфере деятельности человечества — в мирном использовании космического пространства.

Народы всего мира с удовлетворением встретили подписание «Договора о принципах деятельности государств по исследованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела». Уже в первых статьях договора указывается, что все исследования космоса, Луны и небесных тел должны осуществляться «на благо и в интересах» всех стран, что космическое пространство не подлежит «национальному присвоению».

Статья третья провозглашает, что государства — участники Договора осуществляют деятельность по исследованию и использованию космического пространства в интересах поддержания международного мира и безопасности и развития международного сотрудничества и взаимопонимания.

В статье пятой Договора говорится, что космонавты — это посланцы человечества

Проблема защиты кабины корабля от воздействия больших тепловых потоков при спуске была решена за счет покрытия поверхности кабины специальным теплозащитным материалом.

Для контроля траектории полета, работы бортовых систем и для управления с Земли были использованы радиосредства, разработанные на базе имеющихся в то время радиосредств измерений параметров движения, телеметрии и управления.

Для ориентации корабля «Восток» был использован принципиально очень простой метод ориентации одной из осей корабля на Солнце с помощью оптического датчика поиска Солнца. Для выдачи корректирующего (тормозного) импульса была использована реактивная двигательная установка.

Для обеспечения стабильных температурных условий в отсеках корабля «Восток» была создана система терморегулирования. Тепловое равновесие между выделяемой внутри корабля энергией (за счет жизнедеятельности космонавта и работы бортовой аппаратуры) и теплообменом с окружающим пространством обеспечивалось использованием радиационного радиатора с жалюзи, открытие и закрытие которых позволяло регулировать излучаемую в пространство энергию.

Из кабины корабля на радиационный радиатор тепло передавалось с помощью жидкости, циркулирующей в замкнутом контуре. Температура в кабине корабля стабилизировалась за счет регулирования теплообмена в газожидкостном теплообменнике, установленном в кабине и включенном в контур циркулирующей охлаждающей жидкости. Поддержание газового состава в кабине корабля осуществлялось за счет использования регенерационной установки, поглощавшей влагу, углекислый газ, вредные газовые примеси и выделявшей необходимое количество кислорода.

Энергопитание бортовой аппаратуры обеспечивалось за счет использования химических батарей.

в космосе, и государства-участники обязаны оказывать им всемерную помощь в случае аварии, бедствия или вынужденной посадки.

Отдельная статья договора предусматривает международную ответственность за национальную деятельность в космическом пространстве.

При исследовании и использовании космического пространства, включая Луну и другие небесные тела, государства-участники Договора должны руководствоваться принципом сотрудничества и взаимной помощи. Государства — участники Договора осуществляют изучение и исследование космического пространства таким образом, чтобы избежать их вредного загрязнения, а также неблагоприятных изменений земной среды вследствие доставки внеземного вещества, и с этой целью, в случае необходимости, принимают соответствующие меры.

Для содействия международному сотрудничеству в исследовании и использовании космического пространства Договор провозглашает, что все станции, установки, оборудование и космические корабли на Луне и на других небесных телах открыты для представителей других государств-участников настоящего Договора на основе взаимности.

Этот Договор — важный этап в борьбе миролюбивых государств за превращение космического пространства в зону мира и сотрудничества.

Мирная инициатива Советского государства, открывшего человечеству дорогу в космос, приносит свои плоды. Люди Земли верят, что с нашей прекрасной планеты будут начинаться только мирные космические трассы.

ОТКРЫВАЯ ТАЙНЫ ЛУНЫ

Первая в мире мягкая посадка на Луну, первый в мире спутник Луны — эти достижения советских ученых вписаны в историю мировой науки. В итоге научных исследований с помощью станции «Луна-10» получены спектры гамма-излучения лунной поверхности и магнитографические разрезы окололунного пространства. Проведено 74 сеанса траекторных измерений, в ходе которых оценивались аномалии чувствительного поля Луны; 17 длительных сеансов с измерением радиационной обстановки, свойств окололунной плазмы, плотности микрометеорного вещества и теплового излучения Луны; 3 сеанса измерений рентгеновского излучения лунной поверхности.

Решения основных проблем, принятые при создании первого космического корабля, были достаточно просты. При усложнении будущих кораблей придется пересматривать эти решения и находить новые — более эффективные. К тому же по мере изменения целей создания космических кораблей к этим проблемам будут прибавляться новые.

Так, при создании кораблей, предназначенных для высадки экспедиции на Луну, придется столкнуться с рядом новых проблем:

— выведение на орбиту спутника Земли космического корабля весом, в десятки раз превышающим вес первых космических кораблей (это необходимо для обеспечения топливом ракетных ступеней, используемых для разгона корабля к Луне, торможения при посадке на Луну и для разгона к Земле);

— обеспечение точного управления траекторией движения (чтобы проиллюстрировать эту проблему, достаточно назвать одну характерную цифру — при возвращении на Землю корабль должен попасть в «коридор» по высоте условного перигея шириной 10—20 километров) и сложное маневрирование корабля у Луны (оптимальной с точки зрения энергетики является классическая схема высадки экспедиции на планету: переход корабля на орбиту спутника, отделение от корабля и спуск на планету специальной кабины с экипажем, подъем ее обратно на орбиту, сближение и стыковка ее с кораблем, переход экипажа в корабль и старт корабля к Земле);

— возвращение корабля в атмосферу Земли со второй космической скоростью (примерно 10,5 км/сек вместо 7,5 км/сек при спуске с невысокой орбиты спутника Земли). Это означает, что тепловые потоки, воздействующие на корабль при его движении в атмосфере, возрастают в два-три раза по сравнению с тепловыми потоками, воздействующими на корабль при спуске с орбиты спутника Земли.

Существенно более сложными проблемами для кораблей лунных

Всего со спутником «Луна-10» проведено 219 сеансов связи. С борта спутника семь раз передавалась мелодия партийного гимна «Интернационал». Знания о Луне и окололунном пространстве значительно расширились.

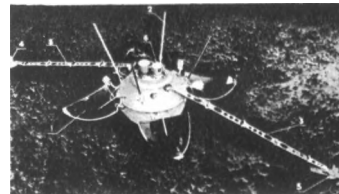
Вслед за «Луной-10» в лунном небе появились еще два спутника — «Луна-11» и «Луна-12». Вывод их на орбиту позволил продолжить эксперименты комплексной программы изучения Луны, которая включает фотосъемку поверхности, гравиметрические измерения, гамма- и рентгеноспектрометрические исследования, измерения магнитного поля Луны, выяснение плотности микрометеорного вещества, изучение инфракрасного и ультрафиолетового излучений Луны, солнечных, магнитосферных и окололунных потоков частиц средних и высоких энергий, определение концентрации заряженных частиц малых энергий, радиоастрономические исследования в диапазоне длинных и средних волн.

21 декабря 1966 года была запущена автоматическая станция «Луна-13», которая, как и ее предшественница «Луна-9», совершила 24 декабря мягкую посадку в районе Океана Бурь. Передача круговой панорамы участка прилунения началась 26 декабря в 16 часов 30 минут по московскому времени. Ученые смогли познакомиться с микроструктурой лунной поверхности и сравнить новые данные со снимками первой круговой панорамы. Получены изображения лунной поверхности в районе прилунения при различных высотах Солнца.

Станция «Луна-13» была оснащена также приборами для исследования свойств лунной поверхности: механизм выноса имел на одном конце грунтомер, а на другом — радиационный плотномер. Эти приборы позволили исследовать лунную почву на расстоянии 1,5 м от станции. 30 декабря была полностью завершена программа исследований. Станция «Луна-13» позволила получить уникальные данные о физико-механических свойствах поверхностного слоя Луны.

Исследования Луны с помощью автоматических аппаратов ведутся не только в Советском Союзе.

Вслед за автоматической станцией «Сервейор», повторившей достижение «Луны-9» и совершившей мягкую посадку, американские ученые запустили еще несколько станций. Аппараты «Лунар орбитер» вслед за «Луной-10» стали спутниками Луны. Запуски



Автоматическая станция «Луна-13»

1. Лепестковые антенны
 2. Штыревые антенны
 3. Механизмы выноса приборов
 4. Механический грунтомер
 5. Радиационный плотномер
 6. Телевизионная камера
- (Фото автоматической станции «Луна-12» смотри в «Календаре науки» на стр. 23)

ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ СОВЕТСКОЙ НАУКИ В КАНУН 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

ПОЛЕТ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ «ВЕНЕРА-4»

12 июня 1967 г. в Советском Союзе была запущена космическая ракета с автоматической межпланетной станцией «Венера-4» на борту. Станция «Венера-4» весом 1106 кг состоит из орбитального отсека и спускаемого аппарата. Орбитальный отсек служит для размещения электронных приборов радиокомплекса, системы астроориентации и научной аппаратуры. Спускаемый аппарат предназначен для выполнения комплексных исследований в атмосфере планеты. Форма его близка к шару диаметром 1000 мм, вес — 383 кг.

18 октября 1967 г. в 7 часов 34 минуты московского времени автоматическая станция вошла со второй космической скоростью в атмосферу Венеры, и от нее отделился спускаемый аппарат. Начиная с высоты 26 км, непосредственно после раскрытия парашюта, на протяжении полутора часов научные приборы спускаемого аппарата проводили непрерывные устойчивые измерения параметров атмосферы Венеры. Ее состав на 90—95 процентов представлен углекислым газом, в то время как на долю кислорода приходится лишь 0,4 процента, а вода вместе с кислородом составляет не более 1,6 процента. Количество азота не превышает 7 процентов. Температура атмосферы изменялась в пределах от 40 до 280°С, а атмосферное давление от 1 до 20 атмосфер.

Впервые в мире автоматическая станция «Венера-4» осуществила плавный спуск и посадку на Венеру, доставив на ее поверхность второй вымпел с изображением Герба СССР.

За время полета станции «Венера-4» были проведены также исследования, которые позволяют сделать вывод о практически полном отсутствии магнитного поля и радиационных поясов у Венеры.

Научные результаты, полученные с борта «Венеры-4», являются важным вкладом в мировую науку. Полет автоматической станции «Венера-4» позволил решить одну из сложнейших задач межпланетных сообщений, открыл новую страницу в освоении околосолнечного космического пространства и планет.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СТЫКОВКА НА ОРБИТЕ

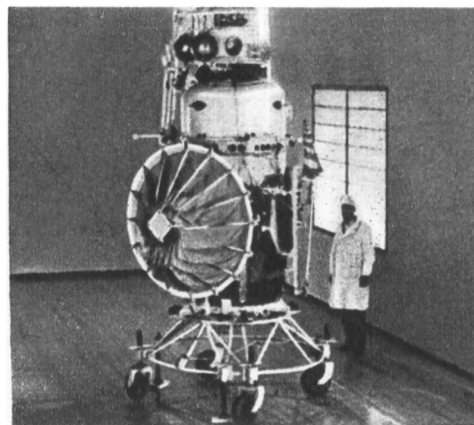
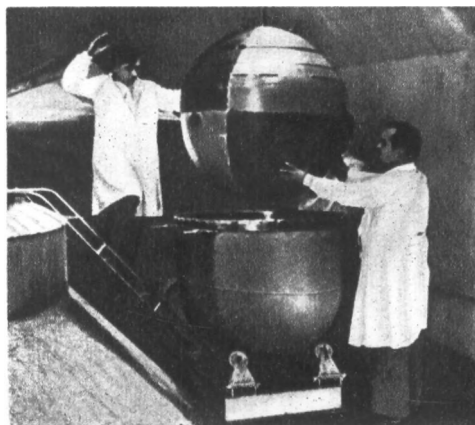
В соответствии с программой запуска космических аппаратов серии «Космос» 30 октября 1967 г. в СССР был выведен на орбиту искусственного спутника Земли «Космос-188». В 12 часов 20 минут московского времени впервые в мире была осуществлена автоматическая стыковка на орбите искусственного спутника Земли «Космос-188» со спутником «Космос-186», запущенным 27 октября 1967 г.

Расстояние между ними в момент вывода спутника «Космос-188» на орбиту составляло 24 километра, а относительная скорость их движения была порядка 25 метров в секунду.

Процессы поиска, сближения и стыковки проводились с помощью специальных радиотехнических средств и счетно-решающих устройств, установленных на борту спутников.

Бортовые радиотелевизионные установки передавали процесс стыковки космических аппаратов на Землю. Оба искусственных спутника в состыкованном состоянии в течение трех с половиной часов продолжали полет по орбите. В 15 часов 50 минут московского времени 30 октября по команде с Земли была проведена автоматическая расстыковка искусственных спутников, которая также наблюдалась по телевидению на измерительных пунктах, после чего с помощью бортовых двигательных установок спутники были переведены на различные орбиты. 31 октября 1967 г. спутник «Космос-186» опять-таки по команде с Земли на 65-м витке совершил мягкую посадку в заданном районе. Второй спутник продолжал полет и исследование космического пространства еще в течение двух суток, затем также был возвращен на Землю.

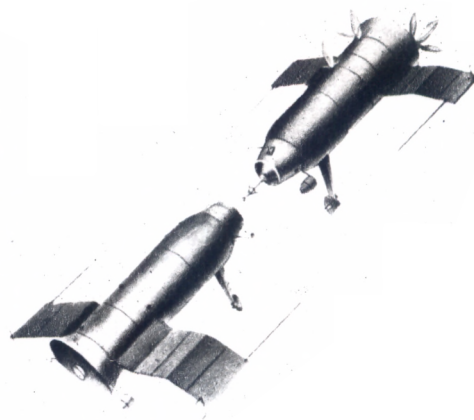
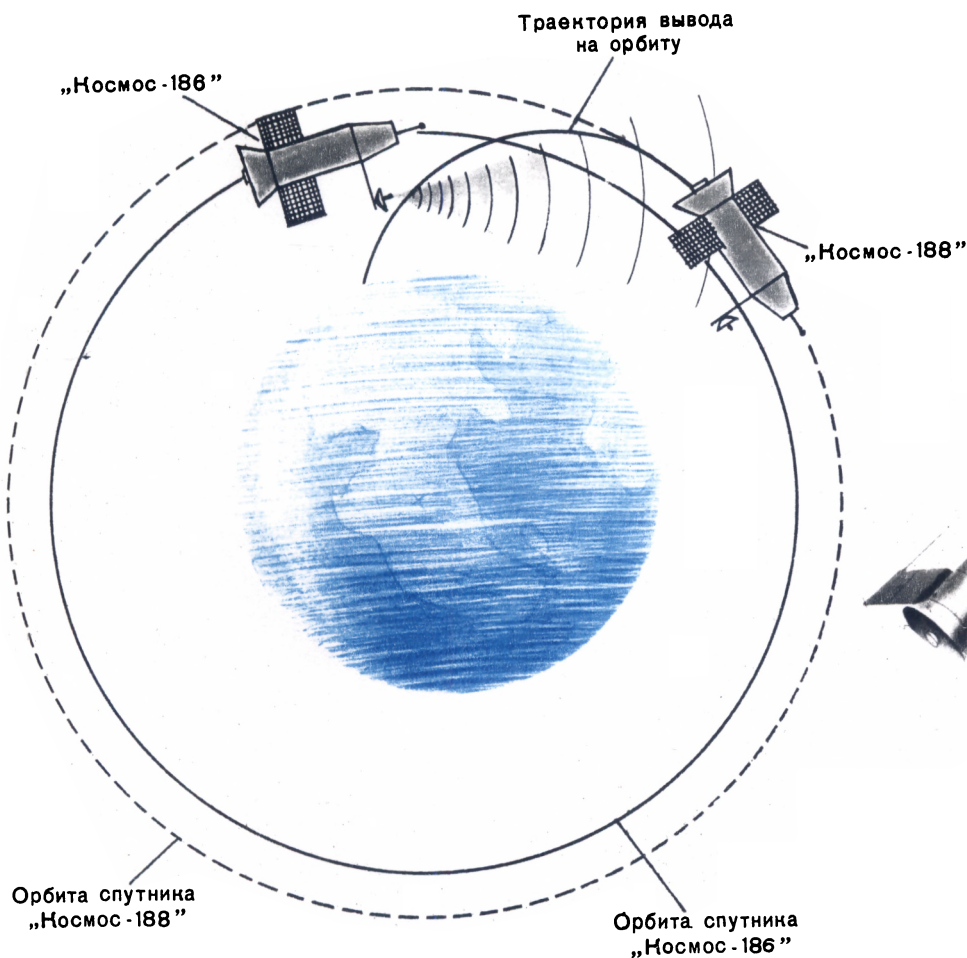
Подобный эксперимент, впервые проведенный советскими учеными, говорит не только о блестящем решении сложной научно-технической задачи по обеспечению автоматической стыковки спутников, но и открывает широкие перспективы создания сложных космических систем и больших орбитальных научных станций, способных проводить комплексные исследования космического пространства и планет.



Кадры из фильма «Здравствуй, Венера!».

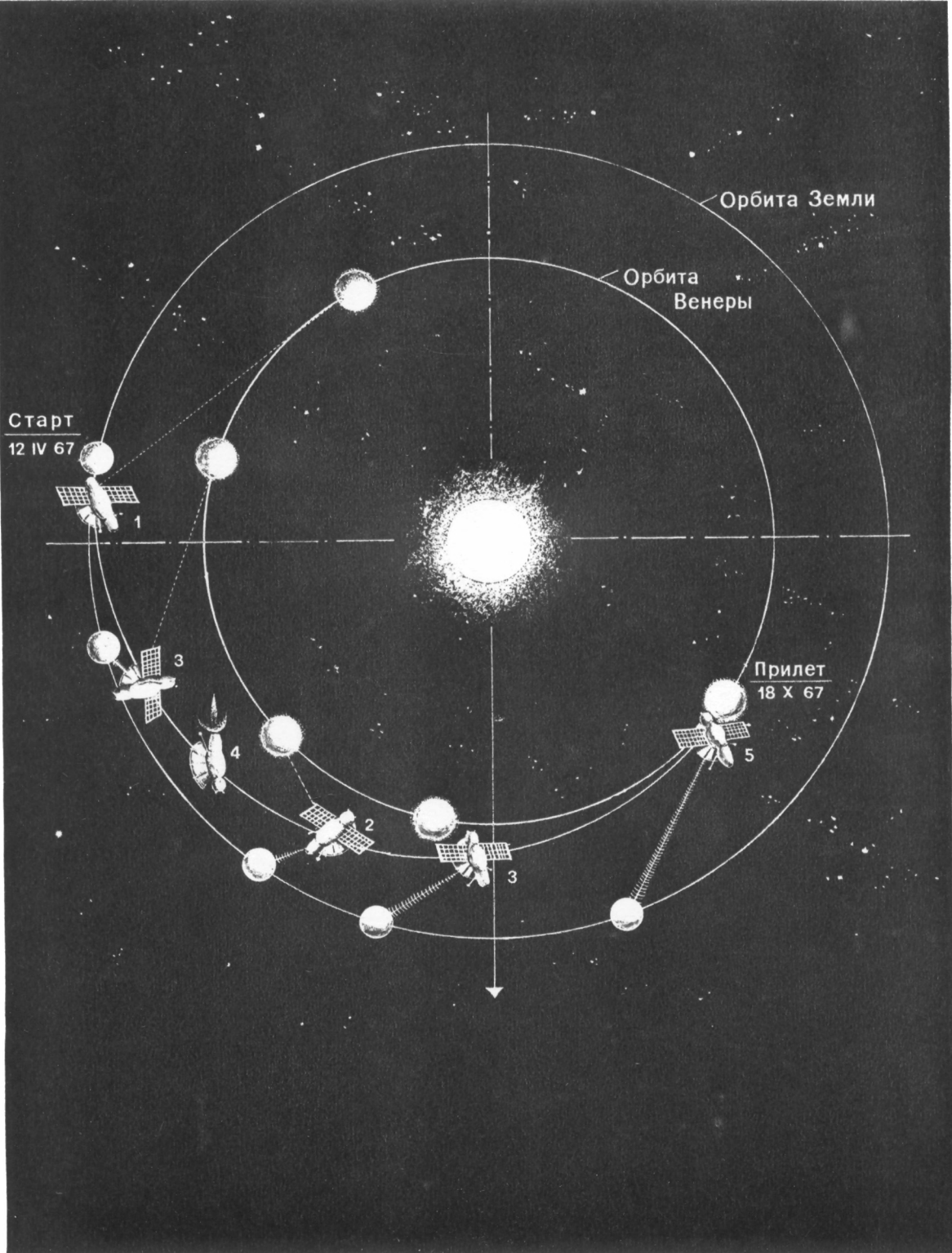
Слева: подготовка спускаемого аппарата к испытаниям на центрифуге. Справа: автоматическая станция «Венера-4» на монтажной тележке.

Схема полета автоматической станции и взаимное положение Земли и Венеры.



Автоматические спутники «Космос-186» и «Космос-188» на конечном этапе сближения.

Схема выведения «пассивного» спутника «Космос-188» в зону автоматической стыковки.



Полет межпланетной
станции «Венера-4»
Автоматическая
стыковка на орбите
(фотографии и схемы)

экспедиций окажутся и проблемы обеспечения жизнедеятельности экипажа, энергопитания, ориентации, сообщения кораблю во время полета многих корректирующих его траекторию импульсов количества движения (за счет многократного включения корректирующих двигателей).

Круг проблем существенно расширяется, если мы попытаемся представить себе космические корабли, предназначенные для осуществления, например, экспедиции на Марс:

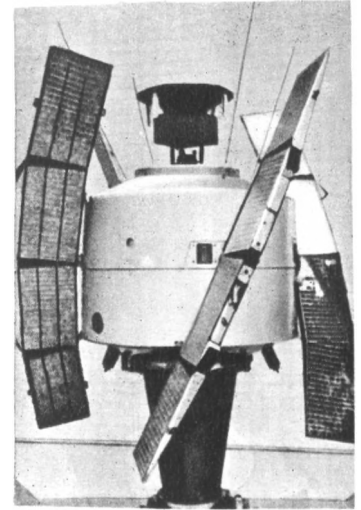
— выведение на орбиту спутника Земли корабля весом во много сотен тонн (или сборка его на орбите спутника Земли из отдельных блоков меньшего веса, выводимых на орбиту один за другим);

— появление этой проблемы связано с другой проблемой — с проблемой энергетики: для разгона к Марсу, торможения у Марса и для возвращения к Земле необходимо сообщить кораблю на различных участках полета приращения скорости, составляющие в сумме порядка 15—25 км/сек (в зависимости от схемы полета), по сравнению с 9 км/сек при выведении корабля на орбиту спутника Земли;

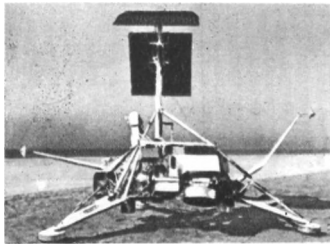
— длительность полета, учитывая время полета к Марсу, время возвращения к Земле и время ожидания на орбите спутника Марса (или на поверхности планеты) момента, благоприятного относительно положения Марса и Земли, для возвращения корабля к Земле (это время может составлять около 1,5 года), можно оценить приблизительно в три года. При таком сроке экспедиции качественно изменятся проблемы питания и обеспечения экипажа корабля водой и кислородом, энергопитания бортовых систем, резко усложняется проблема ресурсов и надежности бортовых систем и всего комплекса корабля в целом;

— навигация на трассе «Земля—Марс».

К общим проблемам создания «марсианского» космического корабля близко примыкают задачи спуска на Марс, возвращения на орбиту (оптимальной с точки зрения энергетики схемой полета на Марс, так



Общий вид американской станции «Сервейор», предназначенной для мягкой посадки на Луну



Общий вид спутника «Эксплорер» для радиоастрономических наблюдений

аппарата «Лунар эксплорер» и «Сервейор-2» были неудачными — первый не вышел на орбиту вокруг Луны и остался на вытянутой геоцентрической орбите, где был проведен ряд исследований, а второй разбился о поверхность Луны из-за неправильной коррекции, вследствие чего не было выполнено торможение.

17 апреля 1967 года была запущена станция «Сервейор-3». 19 апреля она достигла лунной поверхности. По примеру «Луны-13» «Сервейор-3» был оснащен приборами для исследования лунной почвы. В частности, на станции имелась небольшая лопатка для отбора проб. 26 апреля была взята проба лунного грунта и выложена на подставку, окрашенную в белый цвет. Помимо фотографирования окружающей поверхности Луны, станция «Сервейор-3» передала на Землю крупномасштабные снимки пробы лунной почвы.

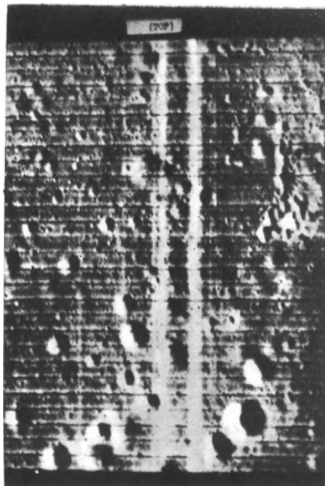
«Лунар-орбитер-1» произвел снимки экваториальной зоны лунной поверхности, некоторые с высоты около 40 км. Основная цель фотографирования с аппаратов «Лунар орбитер» — поиски ровной площадки, удобной для посадки пилотируемого корабля. Среди снимков, полученных с американских аппаратов для исследования Луны, особо отмечен «серп» Земли с селеноцентрической орбиты («Лунар орбитер-1») и снимок гор вокруг кратера Коперник («Лунар орбитер-3»).

4 мая 1967 года была запущена автоматическая станция «Лунар орбитер-4», а 8 мая она вышла на эллиптическую, близкую к полярной, орбиту вокруг Луны. (Наши заметки о некоторых событиях космического года охватывают период до конца мая 1967 года). Во время полета станция сфотографировала ранее неисследованный район вблизи Южного полюса Луны. В частности, в этом районе обнаружена глубокая трещина длиной около 100 км.

ПРОГРАММА «ДЖЕМИНИ» ЗАВЕРШЕНА

С 12 по 15 ноября 1966 года проходил полет космического корабля «Джемини-12». Американские космонавты, совершившие полеты в двухместной капсуле «Джемини», выполнили ряд разнообразных экспериментов, имеющих большое значение для дальнейшего развития космонавтики в США. В течение года и восьми месяцев совершено в общей сложности десять полетов.

Специалисты называют следующие основные итоги.



Фотография участка лунной поверхности, сделанная станцией «Лунар Орбитер-3». Снимок состоит из 28 участков, а полная фотография — из 86 участков. Снимок охватывает район лунной поверхности размером 3×4 мили

же как и на Луну, является схема с выходом корабля на орбиту спутника Марса и высадка на Марс только специальной части — планетного корабля), создание средств передвижения по планете, обеспечивающих возможность обследования какого-либо района планеты.

Решения характерных для космических кораблей проблем, использованные при создании кораблей «Восток», останутся как классический пример простоты и соответствия уровню техники, служившей базой для создания этих космических кораблей. Но сами эти решения едва ли сохранятся как типовые для будущих кораблей — дальнейшее развитие техники космических кораблей, накопление опыта, прогресс в других областях науки и техники позволят найти более эффективные и более надежные решения. Возможности здесь велики. Приведем некоторые примеры решения характерных проблем.

Возвращение на Землю. Здесь прогресс будет, очевидно, развиваться в направлении создания аппаратов для управляемого (а не баллистического) спуска с использованием аэродинамической подъемной силы. Речь идет о том, чтобы существенно снизить перегрузки при спуске и обеспечить точное приземление в определенные, отведенные для посадки космических кораблей, районы.

Энергопитание. Снижение весовых характеристик, увеличение ресурса работы, увеличение мощности — таковы главные задачи развития в этой области. Помимо систем энергопитания с использованием солнечных батарей, топливных элементов, изотопных термогенераторов в будущем, по-видимому, будут использоваться ядерные термогенераторы и более сложные ядерные энергетические установки.

Контроль траектории движения. Здесь следует ожидать развития автономных корабельных средств измерения и обработки, использующих для измерения оптические, телевизионные и радиосредства (в качестве опорных тел — звезды и планеты) и для обработки — бортовые электронные вычислительные машины.

Длительное (до четырнадцати суток) пребывание в космосе хорошо переносится космонавтами. Американские ученые считают, что срок пребывания космонавтов в полете может быть увеличен до тридцати суток.

Самая большая продолжительность пребывания в открытом космосе составила 2 часа 9 минут. Получен опыт использования индивидуального реактивного устройства для передвижения в открытом космосе. Выполнены простые механические операции с инструментом.

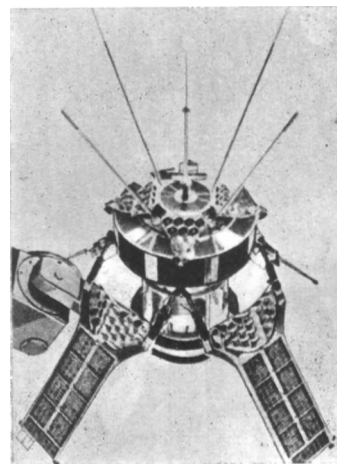
Космонавты уверенно управляли кораблями, выполняли маневр, сближали корабли, производили облет другого корабля, совершали полет на дистанции нескольких метров, стыковали корабль с другим искусственным космическим объектом.

Выполнены эксперименты по образованию в космосе вращающейся системы из корабля и космического объекта с целью создания искусственной силы тяжести, по стабилизации системы корабль — космический объект за счет использования гравитационного поля Земли.

Среди опытов, которые проводили космонавты, можно назвать определение массы неизвестного космического объекта, исследование ионного следа корабля, фотографирование неба, светил и земной поверхности из космоса.

КОСМИЧЕСКИЕ ДОРОГИ ФРАНЦИИ

Уверенными темпами продолжает исследование космоса «третья космическая держава». На страницах ежегодника уже рассказывалось о первых трех французских спутниках. Семья космических посланцев Франции пополнилась еще одним спутником. 8 февраля 1967 года с космодрома Хаммагир на территории Сахары была запущена ракета «Диамант». На ней находился контейнер со спутником. Несмотря на то, что при подготовке запуска специалисты встретили ряд трудностей (предстартовый отсчет неоднократно прерывался), спутник вышел на близкую к расчетной орбиту. «Диадем» — так называется новый французский спутник. Его название происходит от головной повязки, которую носили жрецы в древней Греции. Под лучами солнца повязка, украшенная драгоценными камнями, сияла всеми цветами радуги. Такое название спутнику французские ученые дали потому, что основная цель запуска —



Общий вид французского спутника «Диадем». Отражатели, установленные на панелях, предназначены для геодезических экспериментов с использованием луча лазера

Обеспечение теплового режима. Здесь задача заключается в уменьшении диапазона колебаний температуры в отсеках корабля — это позволит применять в аппаратуре кораблей более сложные, легкие и компактные ее элементы и повысить надежность их работы. (Уместно вспомнить, что, например, у здорового человека температура тела поддерживается с точностью до десятых долей градуса).

Для обеспечения теплового режима могут быть использованы жидкостные контуры, выравнивающие поля температур по оболочкам и другим элементам конструкции кораблей, регулирование оптических коэффициентов радиационных поверхностей, входящих в «горячие» и «холодные» контуры систем терморегулирования.

Обеспечение жизнедеятельности экипажей. Особенно острой эта проблема является для длительных полетов. Если при осуществлении экспедиции на Марс пытаться решать эту проблему за счет запасов пищи, воды и кислорода, то для экспедиции из 10 человек потребовалось бы взять с собой запасы пищи, воды и кислорода общим весом порядка 70 тонн (даже без учета возможности задержки экспедиции, а эту возможность для дальних экспедиций, по-видимому, исключать нельзя).

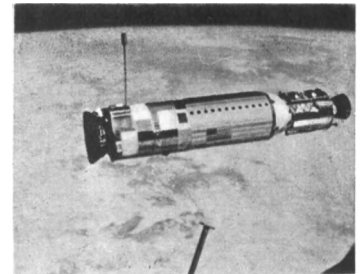
Пути решения этих проблем — в регенерации, восстановлении используемых запасов. Сравнительно простой является задача регенерации воды — она сейчас на уровне современной техники (уже существует несколько физико-химических способов регенерации воды). Более сложной, но также вполне решимой является задача регенерации кислорода — здесь реальным может оказаться путь биологической регенерации (например, за счет использования простейших водорослей).

Вопрос пищи можно решить за счет использования обезвоженных продуктов (при одновременном использовании регенерации воды).

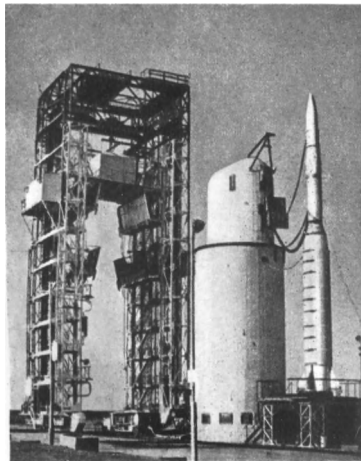
Более радикальным путем обеспечения жизнедеятельности экипажа в дальних полетах явится, по-видимому, создание на борту замкну-



Космонавт Р. Гордон соединяет ступень ракеты «Аджена» с капсулой «Джемини-11» 33-метровым тросом после стыковки



Ступень ракеты «Аджена» рядом с капсулой «Джемини-12» на заключительном этапе полета после неудачной попытки провести маневр для увеличения высоты орбиты



Башня для сборки и башня для заправки и управления запуском ракеты «Диаман» на космодроме Хаммагир

эксперименты с лучом лазера. В январе 1965 года французские ученые уже провели подобный эксперимент, но тогда оптический генератор, установленный на телескопе обсерватории Сан Мишель в Провансе, посылал луч на американский спутник «Эксплорер-22». В ходе эксперимента удалось с высокой точностью определить траекторию полета «Эксплорера-22». После запуска спутника «Диadem» французские ученые получили возможность провести сложный эксперимент самостоятельно — с помощью собственного наземного оборудования и «национального» космического аппарата, выведенного на орбиту французской ракетой-носителем.

Космические эксперименты Франции не ограничиваются только запуском спутников. Французские ученые занимаются разработкой медико-биологических проблем, связанных с пребыванием живых организмов на больших высотах. В марте 1967 года с космодрома Хаммагир были запущены две высотные ракеты «Веста». В контейнере ракет совершили путешествие по баллистической траектории обезьяны. Оба раза космические путешественницы благополучно приземлились на парашюте. Максимальная высота полета была 240 км. Цель экспериментов — изучение деятельности мозга животных.

Признанием больших успехов французских ученых в области космических исследований стало награждение премией Галабера директора космического центра в Бретиньи Жан-Пьера Косса, которого называют «отцом французских спутников», и Роже Шевалье — руководителя разработки ракет-носителей «Диаман».

Стремлением к самостоятельности и взаимовыгодному сотрудничеству характеризуется позиция Франции в космических исследованиях и в других отраслях науки и техники.

Первой из западных держав Франции заключила с Советским Союзом соглашение о сотрудничестве в области изучения и освоения космического пространства в мирных целях. Соглашение предусматривает сотрудничество в области изучения космоса, включая в принципе запуск Советским Союзом французского спутника; в области космической метеорологии; в области изучения радиосвязи и телевидения с помощью искусственных спутников Земли; широкий обмен научной информацией, научными делегациями.

Эксперимент по созданию систем дальней космической связи ставится на спутниках

300 того экологического цикла, обеспечивающего в процессе полета круговорот веществ, то есть практически полную регенерацию пищи, воды и кислорода.

Проблема выведения на траекторию полета или более общая — проблема энергетики движения космических кораблей.

Сейчас различают космический корабль и ракету-носитель. Но почему? Ведь корабль начинает свой полет с момента старта, с момента отрыва от Земли, и на этом участке система ракета—корабль — единое целое. Может быть, дело в энергетических расходах на различных участках полета? Но ведь уже для космического корабля лунной экспедиции, стартующего с орбиты спутника Земли, суммарное приращение скорости на всех участках полета должно быть примерно равным суммарной скорости, сообщаемой кораблю при выведении его на орбиту спутника Земли, а для марсианского корабля даже существенно больше.

Различие этих понятий объясняется уровнем развития ракетной и космической техники. Современные космические комплексы существенно изменяются за время своего полета от старта с Земли до возвращения; на участке выведения на орбиту спутника Земли последовательно отделяются ступени ракеты-носителя, а затем и корабль отделяется от последней отработавшей ракетной ступени. При возвращении на Землю перед входом в атмосферу уже сам космический корабль разделяется на две или более частей, из которых только одна кабина (или, как ее иначе называют, спускаемый аппарат) с экипажем достигает поверхности Земли, сбрасывая перед приземлением еще ряд элементов конструкции. Таким образом, если от поверхности Земли отрывается система весом 100 тонн, то возвращается спускаемый аппарат весом около тонны. 1 : 100 — это соотношение наиболее ярко показывает, насколько сильно изменяется система от взлета до возвращения. А ведь для лунных и марсианских кораблей при использовании

«Молния-1», которые регулярно запускаются в Советском Союзе. Помимо организации радио- и телевизионной связи между Москвой и Владивостоком, спутники «Молния-1» служат для отработки совместной советско-французской системы дальнего телевидения. Работы над этой системой уже принесли первые практические результаты. С ноября 1965 года проведено несколько экспериментальных передач между Москвой и Парижем. Эксперименты показали, что существует возможность организации регулярного обмена черно-белыми и цветными телевизионными программами между Советским Союзом и Францией. Сеансы телевизионной связи через спутник «Молния-1» неоднократно проводились во время визита Президента Франции Ш. де Голля в СССР и Председателя Совета Министров СССР А. Н. Косыгина во Францию. (О сотрудничестве Советского Союза и Франции в разработке системы цветного телевидения см. статью А. Д. Фортуненко «Цветное телевидение и спутники «Молния-1», помещенную в этом же томе. — Р е д.)

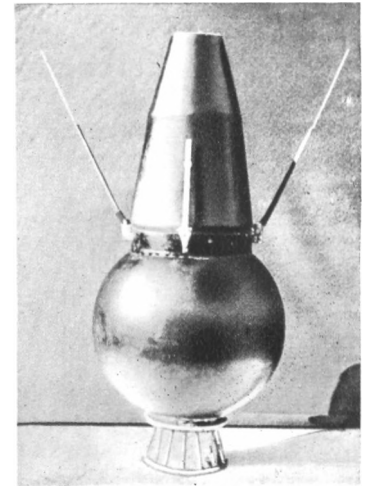
АНГЛИЙСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В КОСМОСЕ

6 мая 1967 года английский спутник ИК-3 стартовал с американской авиабазы Ванденберг в Калифорнии. Очередному английскому спутнику и его предшественникам путь на орбиту проложила американская ракета-носитель. Английская космическая программа во многом зависит от США. И хотя Англия принимает участие в совместных европейских программах (создает, например, первую ступень трехступенчатой ракеты «Европа-1»), национальные эксперименты еще только планируются.

Даже испытания экспериментального образца английского спутника ИК-3 проводились в Далласе, штат Техас. После проверки совместности спутника с ракетой-носителем «Скаут», испытаний радиооборудования спутника и станций наземной сети слежения спутник ИК-3 был отправлен на самолете в Англию для окончательных комплексных испытаний.

Английские ученые продолжают работы по слежению за космическими аппаратами, запускаемыми к Луне и планетам. Для этой цели используется один из самых мощных в мире радиотелескопов в Джодрелл Бенк.

Подводя итоги космическим исследованиям Англии в 1965—1966 годах, крупный



Экспериментальная модель японского спутника, предназначенная для пусковых испытаний.

химических ракет эти соотношения могут вырасти до 1:1000 и даже до 1:10000.

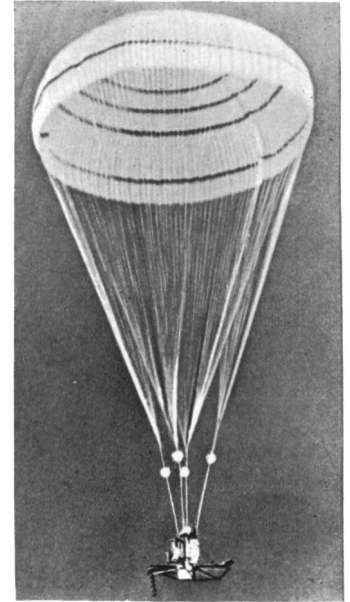
Хорошо ли это? Напрашивается аналогия со сложными необратимыми переходами, которые претерпевают в течение жизни некоторые представители животного мира: летающее насекомое, яйцо, гусеница, куколка и т. д. Во время таких переходов резко понижается безопасность существования этих существ, что вполне естественно. Интересно отметить, что в живой природе эти формы жизни со сложными переходами не завоевали доминирующего положения — очевидно, они оказались менее приспособленными, чем другие, не так скачкообразно изменяющиеся во время своей жизни живые существа.

Надо сказать, что и в современных космических системах упомянутые переходы обладают пониженной надежностью, что объясняется сложностью, нестационарностью и необратимостью процессов, идущих во время этих переходов. Если построить по времени полета вероятность «неприятностей», то в местах переходов мы обнаружим пики. А главное — необратимость, невозможность повторения наиболее сложных процессов.

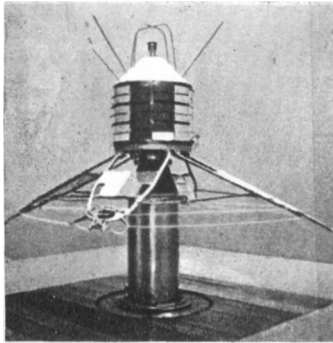
Эти соображения наводят на мысль — нельзя ли представить себе корабль, способный стартовать непосредственно с Земли, выходить в космический полет, осуществлять посадку на другие планеты и возвращаться на Землю без сброса по пути большей части своей конструкции, способный проделывать это не раз (ну, может быть, с соответствующей заправкой и после проведения необходимой «профилактики»). Это позволило бы сделать корабль более надежным, проверить его перед «дальними» полетами в испытательных.

Здесь возможны два пути развития, и, по-видимому, оба они будут опробованы.

Первый путь — создание орбитальных кораблей, предназначенных для полетов по орбитам спутников планет и перелетов между этими



Снижение астрономической обсерватории на парашюте



Английский спутник «ИК-3» во время наземных испытаний.

английский ученый профессор П. Шеппард заявил, что, хотя космические исследования в Англии в основном полагаются на международные программы, чисто национальная программа является их неотъемлемым элементом. Она позволяет в пределах возможностей разрабатывать новые технические средства и проводить в жизнь комплексные программы наблюдений. Англия планирует провести целый ряд экспериментов с помощью высотных ракет «Скайларк».

Что же касается первого английского спутника, то, по сообщению газеты «Дейли мейл», он будет весить около 100 кг. Его доставит на орбиту английская ракета «Блэк эрроу», которая будет запущена с австралийского полигона Вумера во второй половине 1969 года.

ЯПОНСКИЙ СПУТНИК

В апреле 1967 года Япония предприняла третью попытку вывести на орбиту собственный искусственный спутник — металлический шар диаметром 48 см, установленный на четвертой ступени ракеты. Запуски проводились с помощью ракеты «Лямбда-4». Несмотря на неудачи, японские специалисты близки к успешному выполнению первого космического эксперимента.

Институт авиационно-космических наук при Токийском университете разработал экспериментальный образец исследовательского спутника. Вес его 70 кг, диаметр корпуса 75 см. В приборном отсеке спутника разместятся акселерометр, датчики температуры, телеметрическое оборудование, радиомаяк и батареи. Первый запуск исследовательского спутника намечен на середину 1967 года. Для запуска этого спутника предполагают использовать трехступенчатую ракету «Мю».

Планы Японии в области космических исследований весьма разнообразны. Среди них и разработка воздушно-космического самолета, и медико-биологические исследования, и радиоастрономические наблюдения. Представляет интерес план работ над проектом навигационного спутника, который представило правительству министерство транспорта. На первом этапе (1966—1968 гг.) предусматривается проектирование спутника, на втором этапе (1969—1970 гг.) — разработка спутника и изготовление систем, третий этап — создание и запуск спутника, изготовление наземного оборудования — предполагается завершить в 1971—1972 годах.

302 орбитами. Такие корабли должны быть снабжены электрореактивными двигателями (плазменными или ионными), с очень высокими удельными параметрами — с удельной тягой (то есть с отношением тяги двигателя к расходу рабочего тела в секунду) порядка 10 000—15 000 единиц. В качестве источника энергии такие двигатели, по-видимому, будут использовать ядерные реакторы, хотя мыслимо и использование солнечных термогенераторов с огромными поверхностями.

К сожалению, у электрореактивных двигателей очень небольшие тяги — порядка килограммов или десятка килограммов, и потому они могут использоваться только при движении на орбитах. Характерной особенностью полета таких кораблей будут очень протяженные участки работы двигателей. Например, время работы электрореактивного двигателя при разгоне корабля с орбиты спутника Земли к Марсу или Венере будет исчисляться неделями. Соответственно, едва ли не главной проблемой создания таких двигателей является ресурс их работы. Орбитальные корабли с электрореактивными двигателями практически не будут изменяться в полете. При развитии техники космических кораблей по этому пути для доставки экипажа с Земли на такой орбитальный корабль и для возвращения на Землю можно будет использовать космические корабли того типа, которые создаются в настоящее время.

Второй путь развития — создание космических кораблей, слабо изменяющихся за время полета — от старта с Земли до возвращения. Такие корабли могут быть созданы на базе газовых ядерных реакторов при условии создания ядерно-реактивных двигателей, использующих на участках полета, где требуются высокие тяги (взлет с поверхности планеты), всю мощность бортовых реакторов и водород в качестве рабочего тела. Удельные тяги таких двигателей должны быть порядка 3000 единиц. Для движения между орбитами спутников планет на таких кораблях можно использовать электрореактивные двигатели

В ближайшее время Япония, по всей вероятности, вступит в ряды «космических» держав, проведя первый самостоятельный эксперимент в космическом пространстве.

ТЕЛЕСКОП В СТРАТОСФЕРЕ

В начале 1967 года была запущена в стратосферу на высоту около 20 км первая советская астрономическая обсерватория. Цель запуска — изучение сложных физических процессов, происходящих на Солнце.

Автоматическая астрономическая обсерватория представляет собой уникальный комплекс оптической, электронной и радиотехнической аппаратуры. В ее состав входят: крупный телескоп с высокой разрешающей способностью, большой солнечный спектрограф с фотокамерами, камера прямых снимков Солнца с большим фокусным расстоянием, гелиограф с фотокамерой, системы автоматического поиска, наведения, слежения и стабилизации, программное устройство и системы телевидения, телеуправления и телеметрии, источники питания.

Когда аэростат достиг заданной высоты, программирующее устройство включило систему телевидения и электропитание автоматической системы управления. Началось автоматическое наведение телескопа на Солнце. По сигналам телеметрии и по изображению на экране видеоконтрольного устройства телевизионной системы контролировалась работа астрономической обсерватории. После окончания автоматической фокусировки включались в работу фотокамеры.

Телевизионная система позволяла оператору-астроному постоянно видеть фотографируемые участки Солнца. Он мог наводить телескоп на интересующие ученых участки солнечной поверхности для фотографирования.

ПАМЯТИ ГЕРОЕВ КОСМОСА

Позади первые десять лет космической эры. Человечество начало осваивать бескрайние просторы Вселенной. И, как всегда, когда человек вторгается в новую, неизведанную область, он идет на риск. Вот почему мы склоняем голову перед именами первопроходцев, отдавших свои жизни во имя покорения космоса.

Погиб советский космонавт Владимир Комаров. Погиб человек, который вывел,

как более эффективные. Может быть, однако, окажется целесообразным и для движения между планетами использовать высокие тяги, если удастся создать двигатели с более высокими удельными параметрами (это позволит сократить время межпланетных перелетов).

Общая проблема управления. Уже раньше здесь говорилось об основных функциях управления на космическом корабле: координация и контроль работы бортовой аппаратуры, переключение бортовых систем в различные режимы работы, регулирование ритма работы, введение, в случае необходимости, резерва аппаратуры, угловая ориентация корабля, контроль положения и управление его движением.

Уже в настоящее время созданы средства, почти полностью автоматизирующие процессы контроля и управления на кораблях (иначе нельзя было бы посылать автоматические межпланетные станции к Марсу и Венере, нельзя было бы испытывать первые космические корабли в беспилотных полетах). Правда, следует отметить, что серьезный анализ состояния корабля и его систем производится пока только на Земле специалистами на основе радиотелеметрических измерений. Не вызывает сомнения возможность полной и достаточно надежной автоматизации всех процессов управления на космическом корабле, включая и вопросы контроля и анализа состояния корабля и его систем.

Но тогда — какова роль человека в управлении кораблем?

Сейчас всерьез борются две тенденции в этой области: одна — передать почти все функции управления и контроля экипажу, и другая — максимально освободить экипаж от функций управления.

К этому спору близко примыкает вопрос: а зачем вообще мы сажаем на корабль экипаж — управлять кораблем или для каких-то других целей?

Дело, конечно, не в том, кто на каких позициях стоит, дело в отыскании объективной истины, а именно — в выборе направления развития средств управления.



В. М. Комаров



Слева направо: **В. Гриссом,**

Э. Уайт, Р. Чаффи

в космос два корабля — «Восход» и «Союз». Полет «Восхода» был новой ступенью на пути овладения космосом. Впервые в истории космических исследований за пределы нашей планеты вырвался могучий корабль с целым экипажем на борту. Капитаном корабля был Комаров. Космонавту и инженеру, ему было поручено испытать и новый космический корабль. Комаров сделал все, что требовалось по программе полета — совершал маневрирование, испытывал основные системы на различных режимах, проделал все необходимые эксперименты. И погиб, как солдат на своем посту, как ученый, до последней минуты не прекращавший исследований. Погиб на пути к родной Земле. Погиб, обретя бессмертие.

Не выйдут больше в космос и три мужественных американских космонавта. Во время наземной тренировки, так и не покинув Земли, трагически погиб экипаж первого в США трехместного корабля «Аполлон». Нет в живых ветерана космических полетов США Вирджила Гриссома, нет первого американца, повторившего подвиг Алексея Леонова, — Эдварда Уайта, так и не побывав в космосе Роджер Чаффи. Но и погибнув, герои служат человечеству. Их опыт освещает путь для следующих шагов. Штурм космоса будет продолжаться. Впереди новые полеты, новые победы науки, победы человеческого разума. Память о первых жертвах космоса требует, чтобы эти победы служили только миру и прогрессу, только благу людей труда, руками которых строятся все корабли цивилизации, в том числе и космические корабли.

Чтобы прояснить вопрос, рассмотрим одну из характерных функций управления — управление ориентацией корабля с участием пилота.

Управление ориентацией корабля осуществляется совместной работой следующих звеньев: **чувствительные элементы**, определяющие угловое положение корабля в пространстве (например, оптический датчик, превращающие измеренное отклонение в электрический сигнал); **чувствительные элементы**, определяющие угловую скорость корабля, выдающие результат опять же в виде электрического сигнала; **индикаторные устройства** — приборы, показывающие пилоту величину измеренных сигналов; **пилот**, **ручки управления**, преобразующие движения рук пилота в электрические сигналы; **усилительные счетно-преобразующие устройства**, обеспечивающие преобразование электрических сигналов с ручек управления в силовые движения управляющих органов; **управляющие органы** (например, микрореактивные двигатели).

Выходит, что человек в этой последовательности рабочих звеньев выполняет, в сущности, очень примитивную роль счетно-решающего звена, отрабатывающего полученную информацию в управляющий сигнал. И это действительно так.

Может быть, человек может заменить и другие элементы? Как правило — нет. Требования к точности управления космическим кораблем настолько высоки, что управление «на глазок» возможно только в некоторых простейших случаях.

Конечно, это не значит, что контур управления не может или не должен включать человека. Но это никак не может быть главной задачей человека на борту — в контуре управления человека успешно заменяет довольно простое счетно-решающее устройство.

Можно рассмотреть вопрос и о другой важной функции управления — о контроле и анализе состояния и работы бортовой аппаратуры и систем. Прежде чем пытаться утверждать, что именно эта функция и есть задача экипажа, надо вспомнить о том, что над расшифровкой телеметрических данных, передаваемых с борта корабля во время его полета на Землю, работают десятки специалистов. Конечно, на космических кораблях будущего процесс обработки информации о состоянии корабля и его систем должен осуществляться на борту. Но неужели экипажем? Ведь тогда даже на кораблях с многочисленным экипажем большая часть времени и энергии экипажа будет уходить на осмысливание этой информации (напряжение питания, правильность функционирования по результату, по времени срабатывания многочисленных приборов и агрегатов, регулирование всякого рода динамических процессов — газового состава, теплового режима отсеков и отдельных поверхностей и агрегатов корабля, мощности, отдаваемой в сеть корабля, ориентация корабля и т. д.). Ясно, что надежность правильного осмысливания состояния корабля экипажем повысится, если экипаж будет освобожден от примитивных, но зато весьма многочисленных функций по первичной обработке информации, которые с успехом могут выполнять простейшие аналоговые автоматы и электронные вычислительные и анализирующие машины.

Отсюда представляется логичным следующее распределение обязанностей по управлению:

автоматы — измерения, регулирование динамических процессов и ритма работы, первичный и обобщающий контроль состояния корабля и его систем и выдача экипажу обработанной информации в виде последовательных порций: «все хорошо» (или «все хорошо, кроме...»), контроль состояния отдельных систем с оценкой «хорошо — плохо», состояния параметров и функционирования отдельных систем (по требованию экипажа), рекомендации по действиям экипажа, прогноз работы и состояния систем и т. д.;

экипаж — выбор и принятие решений о дальнейшем ходе работ, полета, о необходимых профилактических мероприятиях и тому подобное — одним словом, за экипажем должно остаться «право выбора». Конечно, экипаж в случае необходимости должен иметь возможность получения первичной информации. Но ее обработка — не регулярная функция экипажа, а дело исключительное.

Больших задач по управлению на экипаж возлагать не следует, иначе ни на что другое у него не хватит времени. Ведь в таком случае управление кораблем превратится в самоцель, и мы придем к абсурду. Действительно, зачем тогда люди будут посылать корабли в космос?

Получение новой информации, обработка ее и на основе этой обработки опять получение новой информации — вот главная задача экипажей космических кораблей.

Ибо получение новой информации о Вселенной, в которой мы живем, и есть та главная цель, которую будет преследовать человечество, посылая в космос корабли.



МАКС ШТЕЕНБЕК (*Steenbeck*)
(р. 1904) — немецкий физик, доктор наук, профессор, вице-президент Германской академии наук в Берлине, председатель Научного совета ГДР.

Родился в Киле. С 1927 по 1945 сотрудник фирмы «Сименс Шукерт», занимается физикой газового разряда. С 1945 по 1956 ученый работает в научно-исследовательских институтах СССР над проблемами полупроводников и разделения изотопов.

Вернувшись в ГДР, Штеенбек становится профессором университета имени Фридриха Шиллера в Иене и руководителем института магнитной гидродинамики. Он занимается вопросами магнитогидродинамики турбулентных сред. Штеенбек — один из участников создания первой атомной электростанции ГДР.

В 1962 Штеенбек избирается вице-президентом Германской академии наук в Берлине. С 1964 — он почетный доктор университета в Иене.

В 1965 ученый назначается председателем Научного совета республики, а в 1966 его избирают иностранным членом АН СССР.

МАКС ШТЕЕНБЕК

ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЛАНЕТ И ЗВЕЗД

Достигнутые за последние годы успехи естественных наук, особенно физики, основываются исключительно на работах, посвященных исследованию структуры и процессов в микромире. Поэтому понятно, что научные исследования проводятся сейчас преимущественно в атомарной и субатомарной областях. Однако мы не должны забывать, что и в макромире большое количество вопросов ждет своего решения. При этом часто речь идет о процессах, например в метеорологии, имеющих самое непосредственное отношение к нашей жизни. Другими проблемами подобного рода являются, например, причина возникновения магнитного поля Земли или магнитной активности Солнца с ее 22-летним циклом, оказывающим существенное влияние на климат, биологические процессы и связь на Земле. И, как это ни кажется на первый взгляд парадоксальным, к макрофизике относится, вероятно, и проблема возникновения космического излучения, влияющего через посредство мутаций на возникновение новых форм жизни на Земле. Во всяком случае это касается высокоэнергетической части этого излучения, так как здесь частицы обладают настолько большой энергией, что она не может быть объяснена реакциями отдельных атомов, а должна быть, вероятно, истолкована как следствие ускорения частиц в гигантских космических электромагнитных полях — что опять приводит нас в об-

308 ласть макрофизики. Развивающаяся астронавтика снова вызвала к этим вопросам всеобщий интерес. Эйнштейн еще раньше отмечал, что ему кажется очень важным разрешение двух проблем: как возникают магнитное поле Земли и космическое излучение. Не исключено, что оба вопроса относятся к области магнитной гидродинамики и даже, в известной степени, являются родственными.

В этой статье представления о возникновении магнитных полей планет и звезд сводятся к известным процессам и закономерностям. Хотя сейчас уже получены количественные зависимости, данная статья не ставит своей целью указать путь к этим результатам, который не всегда прост в математическом отношении, а стремится наглядно представить самое существенное с физической точки зрения и тем самым сделать, по меньшей мере качественно, понятными некоторые из важнейших результатов.

Исследования, касающиеся темы данной статьи, были проведены в руководимом мною Иенском институте за последние годы и результаты их были доложены на астрономическом съезде в Айзенахе осенью 1965 г. Подробные расчеты публикуются в западногерманском журнале «Натурфоршунг» и частично в ежемесячнике нашей Академии наук. Проблема представляется мне интересной для широких кругов читателей.

Научное значение исследований, посвященных предмету данной статьи, заключается, прежде всего, не в возможности вычислить форму, напряженность, а для переменных полей, какие мы наблюдаем на Солнце, также и продолжительность периода из других свойств планет или звезд. Для этого состояние материи внутри таких объектов, вообще говоря, известно недостаточно точно. Как раз наоборот, значение указанных исследований заключается в том, что они дают возможность сделать выводы о внутренней структуре планет или неподвижных звезд по наблюдаемым полям, то есть получить данные, более или менее надежный подход к которым другим путем невозможен. Таким образом, наблюдаемые магнитные поля — это не конец, а начало исследования. Нам нужна теория для того, чтобы расшифровать содержащуюся в таких наблюдениях информацию. Поэтому начнем с рассмотрения некоторых наиболее важных наблюдений.

Магнитное поле Земли является в основном существенно постоянным во времени полем диполя (рис. 1). Слабой долей полей более высоких порядков, обнаруженных при тщательном анализе, в данном случае следует пренебречь. Существенно, что направление диполя лишь приблизительно совпадает с осью вращения Земли. Существен также факт, который подтверждается направлением намагниченности некоторых железных руд в местах их залегания и заключается в том, что сегодняшнее направление земного поля не всегда совпадает с тем, каким оно было на этом месте раньше. Известно далее, что малые объекты, такие, как Луна или Марс, обладают по сравнению с Землей существенно более слабым дипольным полем, если вообще им обладают. С другой стороны, известно, что обладающее гораздо большими размерами Солнце имеет (в весьма грубом приближении) переменное

Диполь — совокупность двух разноименных, но одинаковых по величине зарядов (электрических — в случае электрического диполя, магнитных — в случае магнитного диполя), расположенных на некотором расстоянии друг от друга.

Основной характеристикой диполя является его момент (электрический или магнитный), определяемый как вектор, направленный от отрицательного заряда к положительному и численно равный произведению величины заряда на расстояние между ними.

Квадруполь проще всего представить себе как систему двух взаимно перпендикулярных диполей.

дипольное поле, которое даже в максимуме лишь немного сильнее земного. Солнечное поле колеблется, изменяя полярности с периодом в 22 года, причем ось диполя в пределах точности наблюдений совпадает с осью вращения Солнца. Намного более интенсивные, но кратковременные и, очевидно, обусловленные случайными обстоятельствами магнитные поля встречаются на клочковатой поверхности Солнца. Они особенно сильны и долговечны (с продолжительностью порядка месяца) в солнечных пятнах, где напряженность поля нередко достигает нескольких килоэрстед. Эти солнечные пятна имеют место преимущественно в периоды, когда колеблющееся дипольное поле Солнца проходит вблизи нуля.

Солнечные пятна появляются на средних гелиографических широтах, изредка вблизи солнечного экватора и никогда не появляются на солнечных полюсах. Пятна располагаются парами, и соответствующие друг другу пятна пары всегда развиваются совместно, находясь приблизительно на одной широте, причем одно из пятен пары соответствует магнитному северному полюсу, в то время как другое — магнитному южному. Если в северном солнечном полушарии расположенное восточнее пятно пары представляет северный, а расположенное западнее — южный магнитный полюс, то в южном полушарии положение обратное. Через 11 лет, то есть через половину периода солнечной активности, все полярности изменяются на противоположные.

Еще более примечательными являются данные спектрального анализа света некоторых магнитных постоянных звезд. Здесь уже появляются магнитные поля с напряженностями, превышающими 30 килоэрстед, в то время как обычно наблюдаемые поля звезд имеют напряженности порядка от сотни (предел точности измерения) до тысячи эрстед. Не говоря уже о большой напряженности полей, ошеломляющим является и тот факт, что некоторые химические элементы, как, например, европий и хром, всегда скапливаются на различных магнитных полюсах звезд. Но если, например, на некоторых звездах европий располагается преимущественно у северного магнитного полюса, а хром — у южного, то на других звездах это расположение обратное. Непосредственное наблюдение таких мест скопления на поверхности неподвижной звезды, естественно, невозможно, так как даже в самых сильных телескопах неподвижные звезды выглядят точками. Однако результаты измерения доплер-эффекта показывают как будто, что хром располагается преимущественно вблизи экватора, а европий — у геометрического полюса. Кроме того, спектр этих магнитных звезд отличается от спектра родственных им, но немагнитных, относительно более сильным проявлением линий металлов, к тому же многие магнитные звезды имеют небольшие колебания яркости.

Таким образом, имеется богатый материал наблюдений, однако без математизированной теории механизма возникновения магнитных полей весьма сомнительна возможность использовать эту информацию для развития представлений о структуре обсуждаемых объектов.

Попробуем рассматривать эти космические тела как аналоги динамомашин, в которых вследствие процессов механического движения генерируются постоянные и переменные электрические токи, обуславливающие возникновение магнитных полей. В самом деле, звезды при высоких температурах являются очень хорошими электрическими проводниками, существенно более хорошими, чем, например, горячий газ в наших земных электрических дугах. Проводимость вблизи поверхности Солнца превосходит проводимость аккумуляторной кислоты, в глубине она существенно выше проводимости нашей меди. «Жидкое» вещество внутри Земли также имеет хорошую электрическую проводимость.

Итак, можно поставить вопрос: возможно ли при помощи имеюще-

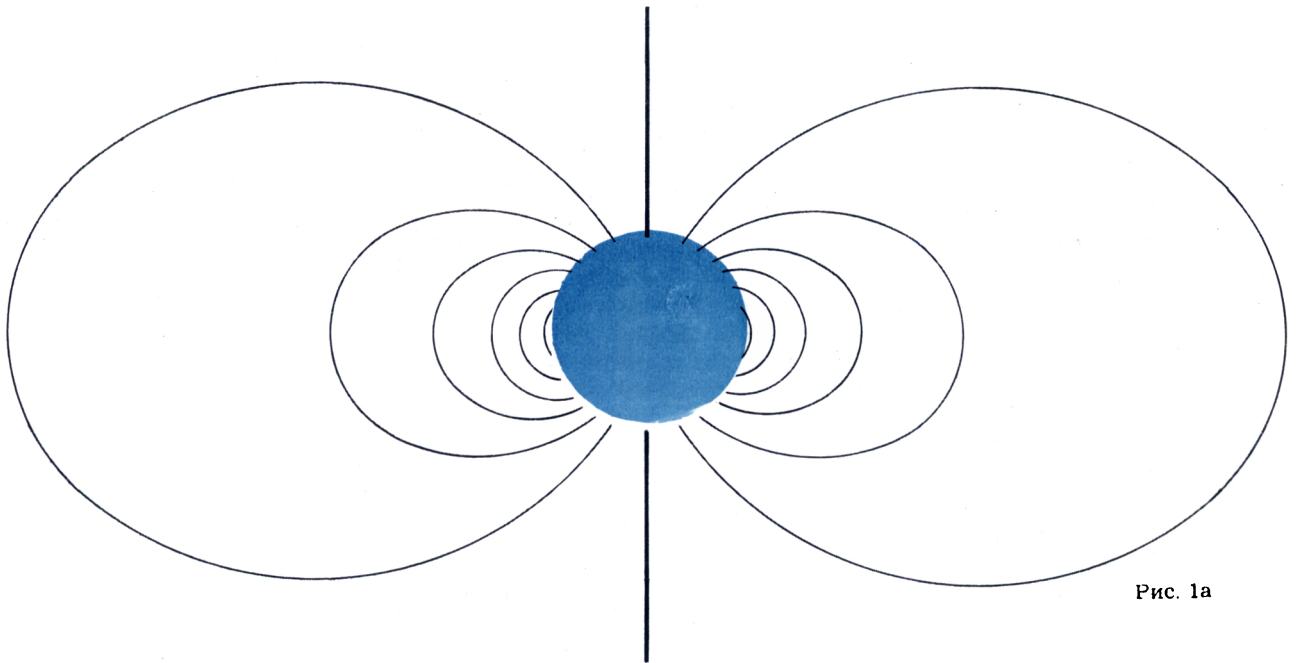


Рис. 1а

гося в звезде магнитного поля и движения звездной материи индуцирование таких токов, которые, со своей стороны, регенерировали бы исходное магнитное поле с усилением? Если бы это было возможным, звезда была бы динамомашиной с самовозбуждением, и возник бы следующий вопрос: какой ток — постоянный или переменный — будет она генерировать и каким образом?

Для индуцирования тока необходимо перемещение проводящей материи в магнитном поле. Если твердое тело и магнитное поле вращаются совместно, то их взаимное перемещение отсутствует и индукция не наблюдается. Но горячие газовые шары, каковыми мы должны считать звезды, вращаются, очевидно, не так, как твердые тела, имеющие всюду одну и ту же угловую скорость. Если по каким-либо причинам внутри звезды происходят некоторые перемещения больших объемов, то угловая скорость вращения будет зависеть от широты и от глубины под поверхностью, однако мы предполагаем, что она остается постоянной вдоль параллелей. В таком случае газовый шар вращается коаксиальными * кольцевыми зонами. Внутри отдельной кольцевой зоны скорость имеет определенное значение, а различные зоны имеют различные периоды обращения. В общем случае такие внутренние течения приводят к тому, что кольцевые зоны больших диаметров вращаются медленнее, чем зоны, расположенные вблизи общей оси. Это происходит потому, что материя, перемещающаяся из приосевых областей в более удаленные, сохраняет свой момент количества движения. Если на один оборот в приосевой области требовалось некоторое определенное время, то в более удаленных областях это время возрастает. При противоположном движении явления обратны. Направляясь перпен-

* Коаксиальные зоны — концентрические, расположенные одна внутри другой и имеющие общую ось кольцевые зоны.

Рис. 1. а) дипольное поле;
б) квадрупольное поле

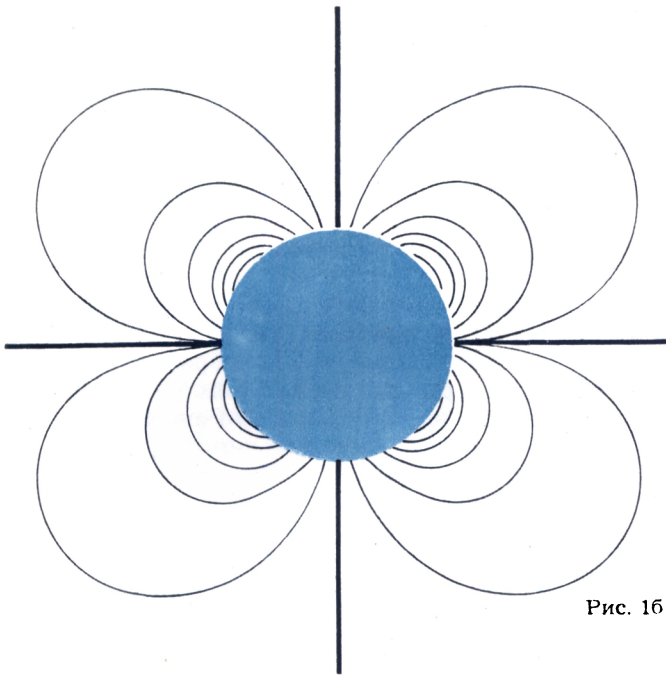


Рис. 16

дикулярно от некоторой точки поверхности звезды вглубь, мы всегда попадаем в область с более быстрым вращением. Расчет, однако, показывает, что это вовсе не обязательно имеет место в случае, если, например, двигаться по поверхности вдоль меридиана от экватора к полюсу. При известных условиях может быть так, что в экваториальной зоне, то есть в области наибольших расстояний от оси вращения, угловая скорость будет больше, чем в приосевых полярных областях. Так, например, на поверхности Солнца период вращения в районе экватора составляет 26 дней, а вблизи солнечного полюса он близок к 28 дням. Это положение вначале поражает и, по-видимому, не является правилом, но может быть понято.

Различная скорость вращения отдельных областей звезды — так сказать «дифференциальное вращение» — действительно позволяет индуцировать токи при помощи магнитного поля. Эту индукцию нетрудно вычислить, а также наглядно представить. Мы покажем это на двух примерах, важных для дальнейшего изложения.

На рисунке 2 используется предположение о том, что звезда имеет поле квадруполь. Причина возникновения этого поля нас пока не интересует. Оба геометрических полюса звезды, если смотреть извне, представляют собой южные магнитные полюсы. Северный магнитный полюс равномерно распределен по кругу экваториальной зоны. Такое поле возникает, если внутри звезды протекают токи, приблизительно показанные на рисунке. Предположим, что такое поле когда-либо возникло, а затем было предоставлено самому себе. Как оно будет вести себя в дальнейшем?

Если звезда вращается как твердое тело, магнитное поле постепенно затухает без изменения своей формы. При затухании магнитного поля индуцируются токи, совпадающие с обозначенными на рисунке 2, причем затухание поля происходит таким образом, что индуцированные токи каждый раз соответствуют мгновенному значению поля. Для

312 звезд, имеющих приблизительно величину Солнца, затухание указанного поля происходит очень медленно; через 10^9 лет оно ослабло бы лишь на несколько процентов. Причина малой скорости затухания поля заключается в том, что токи протекают через гигантские сечения хорошо проводящего вещества. Вследствие малого омического сопротивления для поддержания токов достаточно незначительные напряжения, индуцируемые даже при очень медленных изменениях поля. Развитые магнитные поля внутри хороших проводников практически законсервированы или «заморожены»; однажды возникшее в таком веществе, а затем предоставленное самому себе магнитное поле остается практически неизменным.

Теперь предположим, что звезда находится в состоянии дифференциального вращения, при котором близкие к оси области вращаются быстрее, чем поверхностные. На рисунке 3 изображено поле квадруполья в экваториальном слое внутри звезды, если его рассматривать со стороны верхнего геометрического полюса. Это поле имеет только направленные наружу радиальные силовые линии (рис. 3 а), застывшие в веществе, как уложенные резиновые нити. Если теперь близкие к оси области вращаются быстрее, чем внешние, эти силовые линии захватываются веществом до тех пор, пока существует квадрупольное поле (рис. 3 б). Если это поле существует достаточно долго, а дифференциальное вращение происходит с достаточной скоростью, силовые линии могут содержать очень большое количество витков. Тогда к первоначально лишь радиальному полю добавляется кольцевое магнитное поле (рис. 3 в), которое может быть на много порядков сильнее радиального. Однако снаружи кольцевое поле непосредственно не может быть обнаружено.

Вблизи обоих геометрических полюсов звезды также возникают два пояса магнитного поля, направленного навстречу экваториальному полю. Они содержат более слабые кольцевые поля, так как радиальные

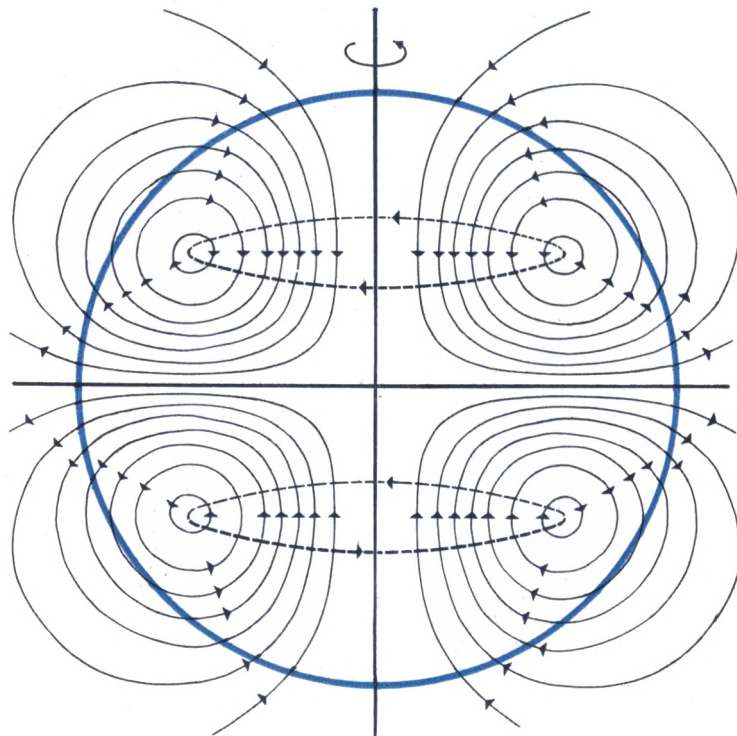


Рис. 2. Токи квадрупольного поля. Магнитные силовые линии показаны сплошными, токи — пунктирными линиями

компоненты квадрупольного поля (а только они и могут закручиваться) здесь значительно слабее, чем у экватора. Энергия, необходимая для образования этих магнитных кольцевых поясов, черпается из дифференциального вращения, так как под его влиянием увеличивается длина «резиновых нитей».

Точное решение уравнений Максвелла приводит к тем же результатам, которые получены здесь наглядным путем. Индуцируются как раз те токи, которые необходимы для образования поясов магнитного поля (рис. 4). Если рассматривать исходное поле как поле возбуждения, то дифференциальное вращение в самом деле представляет собой род динамомашин, которая, потребляя механическую работу, генерирует электромагнитную энергию для кольцевых полей. Но это пока не динамомашина с самовозбуждением, так как она генерирует не те токи, которые показаны на рисунке 2 и приводят к образованию «поля возбуждения», а лишь токи, указанные на рисунке 4. Они обвивают пояса магнитного поля и расположены перпендикулярно току, необходимому для возбуждения.

Аналогичное положение имеет место во втором примере, который подготавливает проводимое ниже рассмотрение магнитного поля Солнца. Здесь речь идет о переменном поле, которое может появиться только на малых глубинах вблизи поверхности хорошего проводника. Как уже было сказано, Солнце имеет периодически колеблющееся дипольное поле. На рисунке 5 это поле показано в момент, когда оно близко к максимуму. Магнитные силовые линии, которые должны быть замкнуты сами на себя, могут образовывать обратное замыкание магнитного дипольного поля лишь в тонком приповерхностном слое. Это поле связано с токами, которые текут в очень тонком приповерхностном слое в направлении параллелей с востока на запад. Вследствие сравнительно малого сечения проводника (малой толщины слоя) они встречают относительно большое омическое сопротивление. Поэтому время жизни магнитного поля, содержащегося в приповерхностном слое проводника, значительно меньше, чем в случае, когда магнитное поле заполняет весь объем звезды. Однако и здесь в течение времени существования поля дифференциальное вращение приводит к закручиванию силовых линий. Поскольку экваториальная зона Солнца вращается быстрее, чем обе полярные области, дифференциальное вращение приводит к образованию поясов магнитного поля по одному в каждом полушарии. Оба пояса располагаются на средних гелиографических широтах симметрично относительно экватора и имеют взаимно противоположные направления (рис. 6).

Точное решение и здесь подтверждает эту картину. Энергия, необходимая для образования поясов магнитного поля, черпается из дифференциального вращения, а самовозбуждение этой динамомашины здесь также еще отсутствует, так как генерируемые токи снова перпендикулярны токам, необходимым для создания исходного поля.

Исходное поле (квадрупольное или дипольное) на много порядков слабее, чем кольцевое поле, рожденное дифференциальным вращением. Поэтому для его воспроизведения требуется намного меньшая мощность, которая может быть обусловлена менее эффективным процессом. Такой процесс должен иметь место, так как без него не может возникнуть самовозбуждение всей «машины». На самом деле некоторый механизм обратной связи существует. Уже в условиях очень слабой турбулентности движения звездного вещества он приводит к процессам, которые из кольцевых полей снова воссоздают первоначальное исходное поле. Только этот факт делает понятным существование звездных магнитных полей.

Под турбулентностью в данном случае следует понимать только хаотичное, неупорядоченное движение. О величине возникающих при

Рис. 3. Квадрупольное поле в экваториальном слое: а) без дифференциального вращения, б) наивание силовых линий вследствие дифференциального вращения, в) картина силовых линий радиального и кольцевого полей

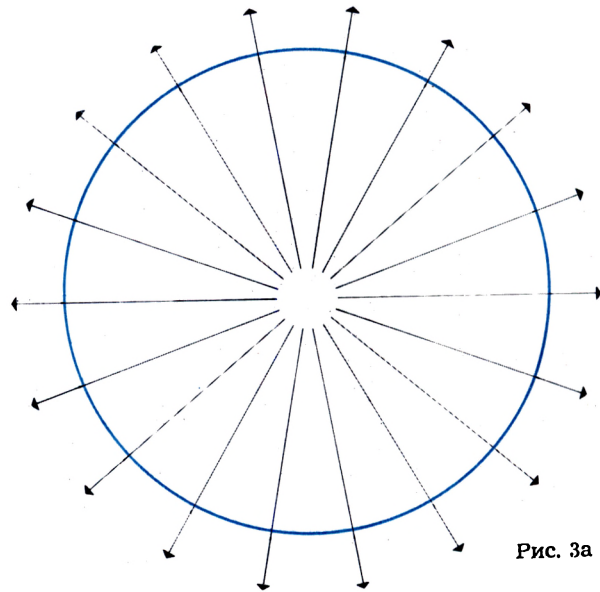


Рис. 3а

этом скоростей пока еще ничего не сказано. Если медленно и беспорядочно перемешивать ложкой какую-либо жидкость, то получится приблизительная модель того, что в данном случае понимается под турбулентностью. Следует предполагать, что более или менее интенсивное движение подобного рода имеет место внутри почти всех небесных тел. Это движение может возникать, например, в результате неустойчивости температур и давлений. Такое же явление можно наблюдать (только в малом масштабе) при тепловой конвекции воздуха над нагретой солнечными лучами поверхностью или в воде уже задолго до кипения при подогревании ее в стеклянном сосуде. Последний пример может служить аналогией к тепловой конвекции, которая, как мы полагаем, имеет место в жидких недрах Земли в связи с увеличением температуры по глубине. Температурные неустойчивости такого рода, подобно «тепловым грозам» в земной атмосфере, чрезвычайно ясно выражены в близких к поверхности слоях почти всех неподвижных звезд, а также и внутри звезд, где эти неустойчивости вызываются происходящим в звездах теплообразованием в результате ядерных процессов. Причиной возникновения огромной по своим масштабам слоистой турбулентности может явиться также дифференциальное вращение или пульсация звезды. Таким образом, внутренние области как звезд, так и Земли следует представлять себе находящимися не в состоянии покоя, а в состоянии более или менее интенсивного, постоянно изменяющегося на отдельных участках, случайного, неупорядоченного движения, то есть в состоянии турбулентности.

С первого взгляда может показаться невозможным сделать какие-либо конкретные заключения о таком хаотическом движении. Однако на самом деле это не так уж трудно. Для того чтобы это понять, необходимо вспомнить, что кинетическая теория газов имеет дело также с хаотическим движением, а именно с хаотическим движением молекул, и, пользуясь исключительно понятиями эффективной скорости и

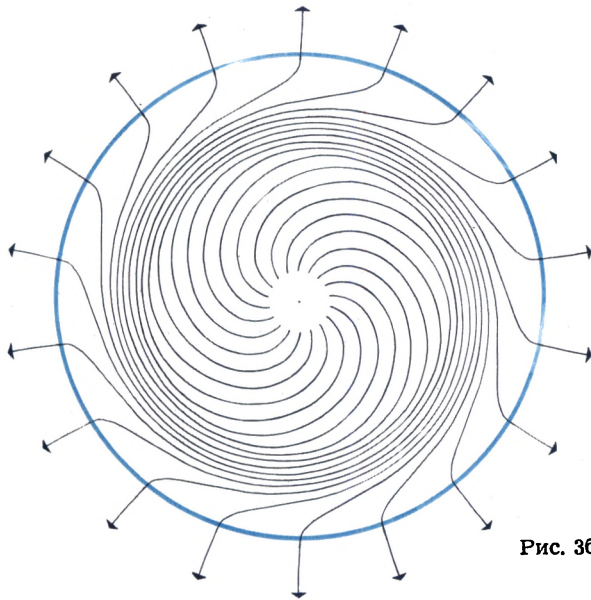


Рис. 3б

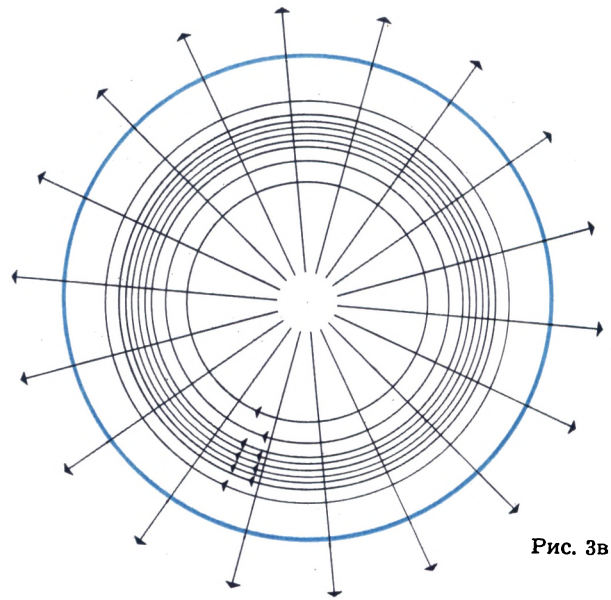


Рис. 3в

средней величины пробега, приходит к совершенно ясным выводам о средних величинах, например о давлении газа, теплопроводности или вязкости. Что касается частных, как, например, определения траектории какой-либо конкретной молекулы, то от этого кинетическая теория должна отказаться. Так же обстоит дело и с магнитной гидродинамикой турбулентно движущихся сред. И здесь можно получить ясно формулируемые количественные выводы, касающиеся средних значений каких-либо величин внутри областей, которые по сравнению с размерами одиночного турбулентного вихря очень велики. И здесь вполне достаточно знать скорость и длину, а именно эффективную скорость турбулентности и так называемый «интервал корреляции», характеризующий протяженность маленькой области в турбулентном поле, внутри которой поток еще в некоторой степени однороден. Данная теория свободна от каких бы то ни было модельных представлений о конфигурации движения, которое принимается настолько неупорядоченным, что может быть рассчитано при помощи теории случайных функций. Подробные вычисления слишком громоздки, чтобы их здесь приводить. Эти результаты, однако, можно легко понять качественно.

Когда звезда вращается, турбулентность испытывает влияние сил Кориолиса. Этот факт является причиной некоторой упорядоченности, которая обнаруживается в любом хаотически возникшем турбулентном поле. Это можно ясно видеть на рисунке 7. На нем в турбулентном потоке показан малый объем, который в звезде движется вверх, то есть удаляется от центра звезды в области меньшего давления, где он, естественно, растягивается. Вследствие этого наряду с вертикальной скоростью возникают радиальные компоненты скорости, и если мы не рассматриваем область в экваториальном слое, то силы Кориолиса приводят к появлению циркулярного движения (аналогичного движению ветров, огибающих метеорологический антициклон).

Таким образом, вертикальный и циркулярный потоки связаны меж-

ду собой. Они одновременно изменяют свои знаки (опускающийся объем сжимается и испытывает влияние сил Кориолиса противоположного знака — метеорологический циклон). Эту связь между осевым и циркулярным потоками определяет правило винта. А именно: правило левого винта (как показано на рис. 7) в северном полушарии Солнца, направление вращения которого совпадает с направлением вращения Земли, и правило правого винта — в южной полусфере, независимо от знака вертикального потока. Так же выглядят и элементы турбулентности: градиент плотности и вращение звезды обуславливают преобладание определенного винтового движения в поле турбулентного потока. Более общая формулировка будет приведена позднее.

Рисунок 8 иллюстрирует, как этот факт проявляется электродинамически. На нем еще раз схематично представлены связанные между собой осевой и циркулярный потоки из рисунка 7. Кроме того, предположено, что имеется обширное магнитное поле H_0 , перпендикулярное к плоскости рисунка и направленное от наблюдателя. Представим себе, что H_0 — это циркулярное магнитное поле в одном из кольцевых поясов рисунка 4, огромное по сравнению с размерами отдельного турбулентного вихря (подобного тому, который изображен на рисунке 7). Магнитное поле охватывает много таких вихрей как по объему, так и во времени. Эти вихри одинаково часто могут быть как восходящими, так и нисходящими.

На рисунке 8 показано возникновение индукционных токов, обозначенных короткими жирными стрелками, в результате взаимодействия направленного за плоскость рисунка магнитного поля H_0 и циркулярного потока по известному правилу правой руки. Индукционные токи, в свою очередь, обуславливают появление магнитного поля H_1 , направленного в правую сторону теперь уже в плоскости рисунка. Это магнитное поле H_1 генерирует, в свою очередь, совместно с другой компонентой винтового движения (с осевым вертикальным потоком) элект-

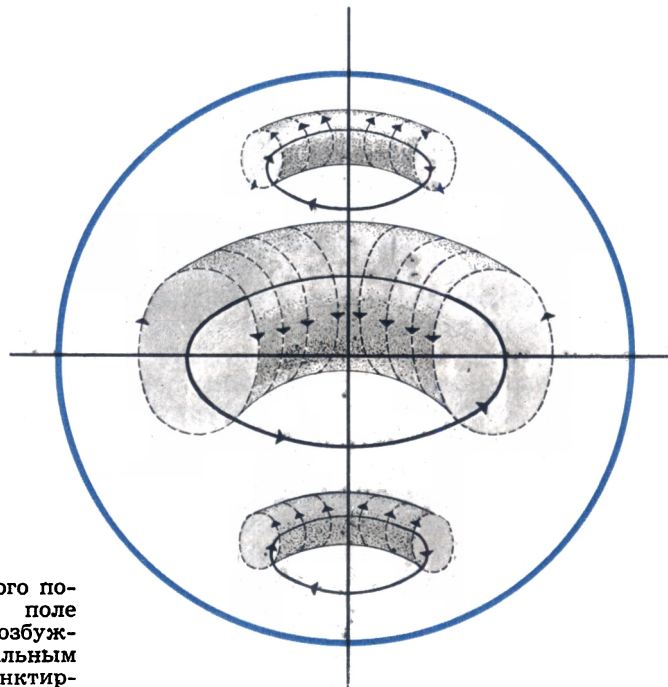
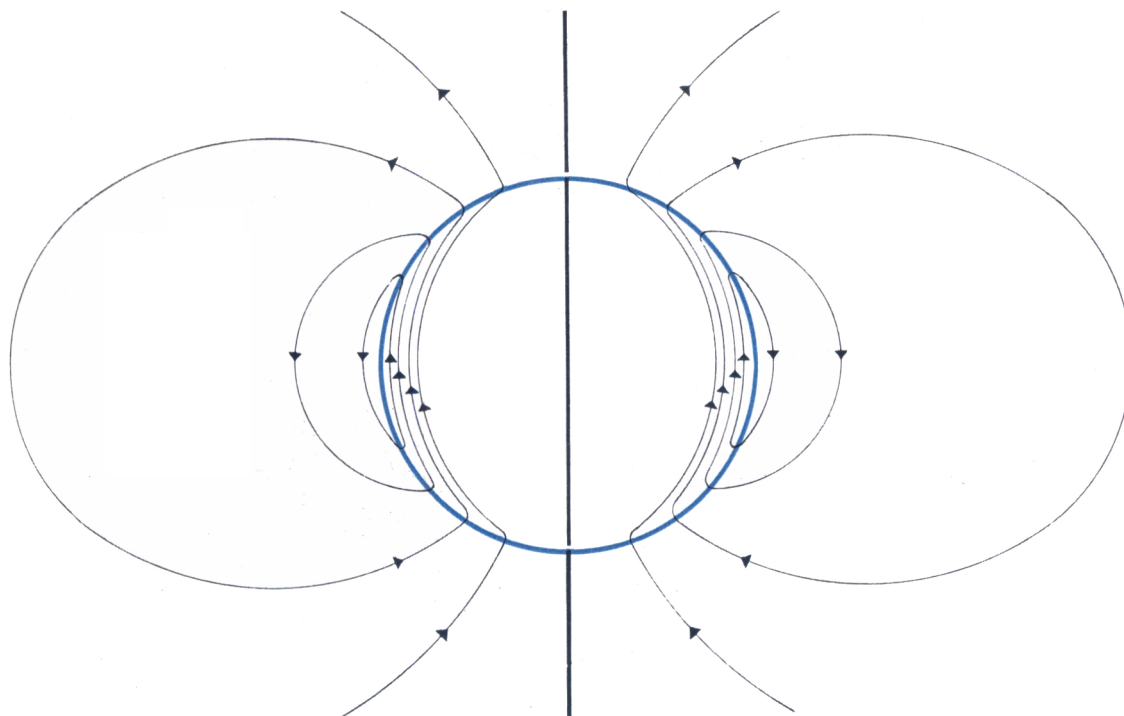


Рис. 4. Пояса магнитного поля в квадрупольном поле (сплошные линии) и возбужденные дифференциальным вращением токи (пунктирные линии)



родвижущую силу, направленную за плоскость рисунка, то есть параллельную исходному магнитному полю H_0 . В непосредственной близости к показанной на рисунке области турбулентности может быть расположена другая область, вещество в которой опускается перпендикулярно вниз, вследствие чего она окружена циркулярным потоком, направленным в противоположную сторону. Здесь тоже возникает электродвижущая сила, параллельная исходному магнитному полю H_0 . Обратная последовательность при рассмотрении связанных между собой скоростей приводит к тому же результату. Магнитное поле в турбулентном поле с преобладанием левовинтовых потоков возбуждает электродвижущую силу, всегда совпадающую по направлению с этим магнитным полем. Если же в турбулентном поле преобладают правовинтовые потоки, то возникает электродвижущая сила, направленная противоположно магнитному полю. Точный расчет этого эффекта, разумеется, не прост, но он приводит, наряду с последующими разъяснениями, к тому же самому результату без каких бы то ни было специальных представлений о конфигурации потока.

Рассмотрим теперь снова рисунок 4. Экваториальный кольцевой пояс с сильным циркулярным магнитным полем при указанном направлении вращения звезды в верхнем полушарии расположен в области с преобладанием левовинтового движения в турбулентном поле. В нижней полусфере, напротив, преобладает правовинтовое движение. Таким образом, в верхней половине под влиянием кольцевого поля возникают токи, совпадающие по направлению с магнитным полем, в нижней половине — токи противоположного направления. А это как раз именно те токи, которые необходимы для создания исходного квадрупольного поля.

Итак, благодаря этой обратной связи динамомашинка сама генерирует ток возбуждения. Дойдет ли дело до самовозбуждения, зависит только от того, достаточно ли сильны оба генерирующих процесса

Рис. 5. Замыкание линий поля переменного диполя в тонком приповерхностном слое

318 (квадрупольное поле — кольцевое поле через дифференциальное вращение, и кольцевое поле — квадрупольное поле через турбулентность с силами Кориолиса). Критические условия самовозбуждения принципиально идентичны условиям самовозбуждения для обыкновенной динамомшины. Их можно рассчитать для различных форм исходного поля (диполь и мультиполь). При этом, естественно, следует исходить из предположения о локальном процессе дифференциального вращения и турбулентного поля. Результаты расчетов показывают, что критические условия самовозбуждения гораздо легче выполняются для квадрупольного поля, чем для других форм поля. В этом случае скорость турбулентного движения в недрах звезды, необходимая для самовозбуждения, очень мала, порядка метров в сутки. Ось симметрии квадрупольного поля совпадает с осью вращения звезды.

Энергию, необходимую для возникновения кольцевых полей, дает дифференциальное вращение, а энергию, необходимую для возникновения квадрупольного поля, — турбулентное движение. Оба эти движения замедляются, отдавая энергию, которая требуется для возникновения магнитного поля. В стационарном конечном состоянии скорости хватает лишь для выполнения критических условий самовозбуждения. Поэтому в стационарном состоянии могут возникать поля только такой формы, для сохранения которых нужны самые минимальные скорости (в данном случае это — квадрупольное поле). Если возникшее ранее каким-либо образом (например, благодаря электрическим токам в звездной плазме) слабое начальное поле к моменту своего возникновения содержит еще части другого поля (например, дипольное поле), то динамомшина не сможет постоянно поддерживать эти поля, так как скорости у нее хватает только для поддержания квадрупольного поля. Знак квадрупольного поля у экватора зависит от того, какая полярность образовалась сначала (случайно ли?). По изложенной здесь теории одинаково возможно возникновение обеих полярностей.

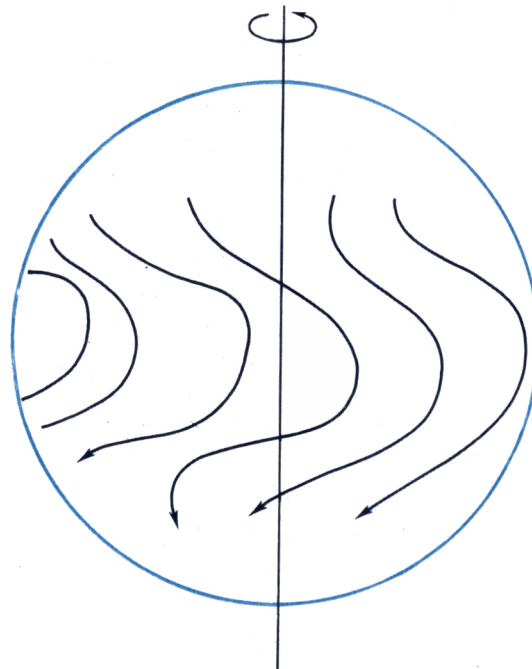


Рис. 6. Навивание линий дипольного поля в приповерхностном слое вследствие вращения экваториальной зоны

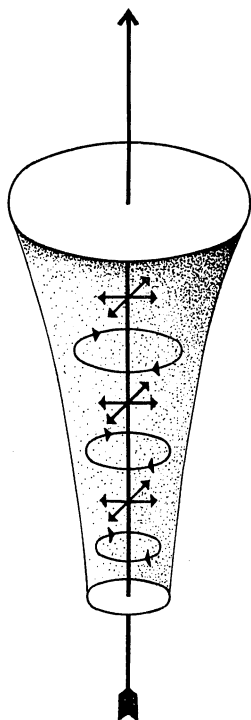


Рис. 7.

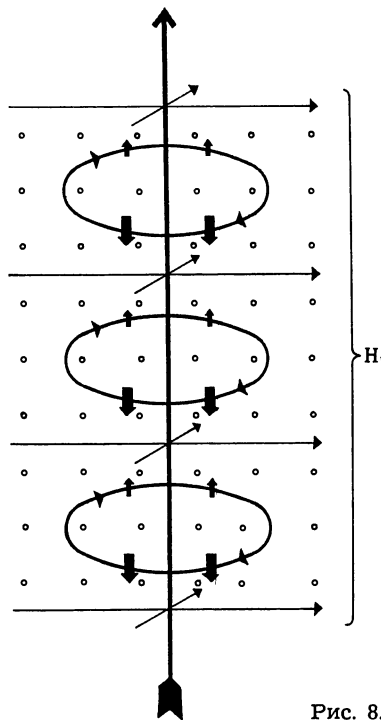


Рис. 8.

Рис. 7. Движение объема вещества, поднимающегося из области высокого давления в область низкого давления в вращающейся системе, с точки зрения наблюдателя, вращающегося вместе с ней

Рис. 8. Индукционные токи в винтовом потоке

Прежде чем перейти к описанию влияния этого магнитного поля на свойства звезд, еще раз остановимся на возникновении таких магнитных полей. Преобладание определенного винтового движения в турбулентном поле выводится, как уже отмечалось, из предположения о неоднородности (градиенте) плотности; но наличие такого градиента ни в коей мере не является единственной причиной. В несжимаемой жидкости сила Кориолиса также приводит к такому состоянию, если интенсивность турбулентного движения местами изменяется.

Приближенные расчеты на специальных моделях показывают, что для преобладания определенного винтового движения (правого или левого) при условиях турбулентности необходим градиент интенсивности турбулентного движения. Если преобладает левое вращение, то магнитное поле создает электродвижущую силу, направление которой совпадает с направлением этого магнитного поля, и наоборот. Этот основной вывод «классической» магнитной гидродинамики ведет к удивительным следствиям: обширное турбулентное поле с преобладанием определенного винтового движения, даже без всякого макроскопически упорядоченного движения (например, дифференциального вращения) может создать огромное и притом упорядоченное электромагнитное поле из механической энергии хаотического турбулентного движения.

Такое возникновение упорядоченного поля из беспорядочного турбулентного движения не вступает в противоречие со вторым основным законом термодинамики, ибо неупорядоченность в турбулентном поле далека от полной хаотичности термического равновесия.

На рисунке 9 приведен простой пример: в турбулентной сфере в кольце I течет ток i_0 . Протяженность поля этого тока очень велика по сравнению с размерами одного из отдельных элементов турбулентного движения, в которых должно преобладать левое вращение. С током i_0 связано магнитное поле H_0 , которое располагается по отношению к току

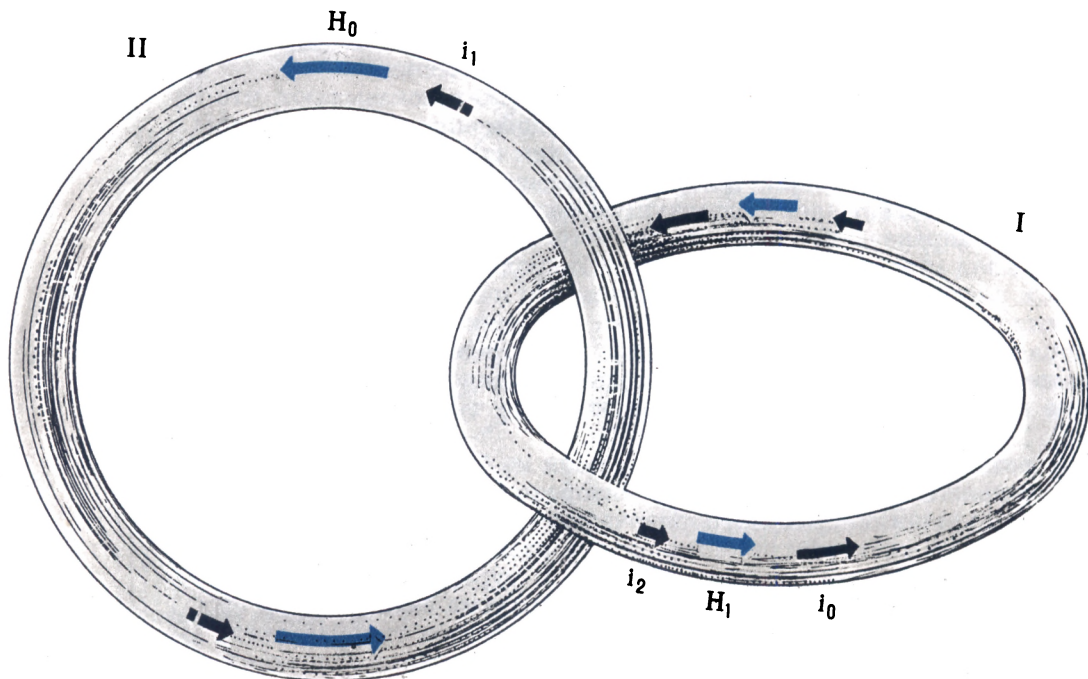
как одно смежное звено цепи по отношению к другому. Кольцо II — часть этого магнитного поля. Как уже говорилось, магнитное поле создает электродвижущую силу, направление которой совпадает с направлением этого поля: итак, в одном направлении с H_0 течет ток i_1 . Ток i_1 в свою очередь создает магнитное поле H_1 в кольце тока I имеющее то же направление, что и i_0 и создающее ток i_2 , который усиливает исходный ток i_0 . Читатель может сам проверить, что подобное увеличение силы тока путем электромагнитной обратной связи происходит и в том случае, если в турбулентном поле везде преобладает правое вращение.

Итак, при значительной протяженности турбулентного поля со значительным преобладанием винтового движения произвольно находящееся в равновесии или произвольно возрастающее электромагнитное поле может питаться только энергией турбулентного движения.

По аналогии можно объяснить возникновение магнитного поля Земли без какого-либо дифференциального вращения. Если предположить, что интенсивность турбулентного движения, возникшего в жидкой составляющей недр Земли благодаря температурным флуктуациям, ближе к поверхности уменьшается, так как там увеличивающаяся с понижением температуры вязкость и торможение о твердую кору гасят турбулентное движение, то можно вычислить, при каких условиях такое турбулентное поле под действием определяемой вращением Земли кориолисовой силы может вызвать самопроизвольное возникновение магнитного поля.

На рисунке 10 показаны результаты расчетов такого магнитного поля. В основу расчетов положено предположение о том, что интенсивность турбулентного движения линейно понижается с приближением к поверхности Земли. Расчеты показывают, что в этом случае для возникновения дипольного поля требуется скорость турбулентного движения на 7 процентов меньшая, чем для возникновения квадрату-

Рис. 9. Самовозбуждение электрического и магнитного полей в турбулентном поле с преобладанием винтового движения



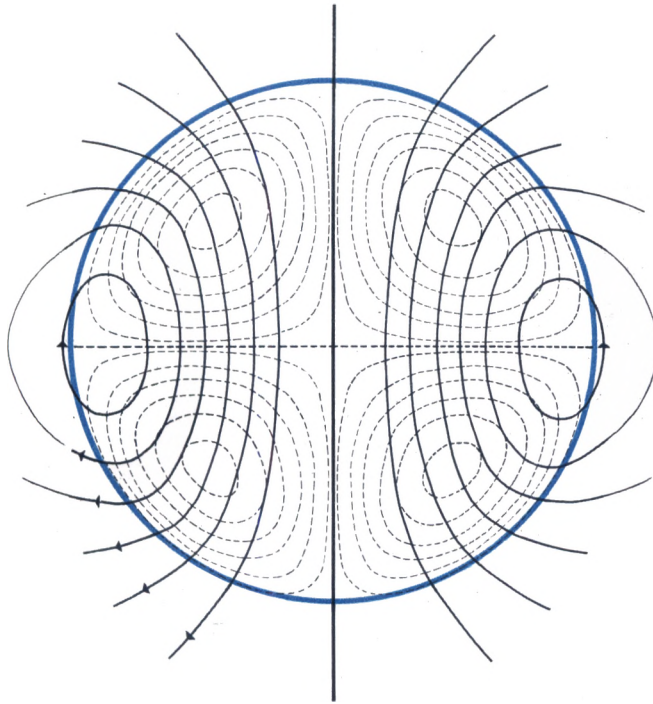


Рис. 10. Магнитное дипольное поле в жидком ядре Земли. Сплошные линии — линии дипольного поля, пунктирные — линии равной интенсивности кольцевых полей

польного поля. Поэтому если Земля и может иметь какое-либо поле, то это должно быть дипольное поле, как это и есть на самом деле. Его знак определяется здесь знаком того слабого начального поля, вокруг которого начинает в силу каких-либо причин возникать магнитное поле динамомашин.

Внутри каждого полушария кроме дипольного поля возникает кольцевое магнитное поле. При этом в северном кольце поле направлено с востока на запад, а в южном кольце — с запада на восток. Эти замкнутые кольцевые поля незаметны на поверхности. В остальном они (при отсутствии влияния дифференциального вращения) имеют такой же порядок величин, как и дипольное поле. Обе части магнитного поля (дипольное поле и замкнутый пояс) соответствуют двум кольцам на рисунке 9. Расчеты показывают, что скорость турбулентного движения, необходимая для возбуждения, может быть меньше одного метра в час. Диполь должен располагаться параллельно оси вращения, то есть географический полюс должен совпадать с магнитным. Ниже будет сказано о вероятных причинах отклонения географического полюса от магнитного.

Условия существования обратной связи для самовозбуждающегося звездного генератора постоянного тока оказываются совсем нечувствительными к изменениям местной интенсивности турбулентного движения и дифференциального вращения. Правда, такие изменения влияют на величину скорости турбулентного движения, необходимую для самовозбуждения этой динамомашин. Наоборот, для действия самовозбуждающегося генератора переменного тока необходимо соблюдение определенных условий; они находятся в строгой зависимости от дифференциального вращения и интенсивности турбулентного движения.

Электромагнитные поля переменного тока не проникают в глубь звезды; но толщина поверхностных слоев Солнца, которые можно наблюдать визуально, на целые порядки меньше, чем те глубины, в пре-

делах которых разворачиваются электродинамические процессы 22-летнего цикла. Поэтому мы не можем путем непосредственных наблюдений получить столь важные для решения нашей проблемы данные о процессах движения солнечного вещества в этой более глубокой области, и нам приходится экстраполировать их из данных, полученных в результате визуальных наблюдений. Для этого мы должны знать причины турбулентного движения и дифференциального вращения. В действительности замечается изменение характеристик движения солнечной материи в зависимости от глубины, которое в качественном отношении необходимо для возникновения самовозбуждающегося генератора переменного тока.

Дифференциальное вращение Солнца (более быстрое вращение зоны экватора, чем полярных областей) может вызвать в его недрах гигантские медленные потоки. Независимо от направления таких потоков скорость движения вещества в экваториальных слоях должна возрастать с глубиной. Дипольное поле, изображенное на рисунках 5 и 6, должно во всех случаях на большой глубине «навиваться» быстрее, чем на поверхности. Чтобы лучше уяснить принцип действия динамомашин переменного тока, в дальнейшем следует упрощенно принять, что «навивание» поля происходит только начиная с некоторой минимальной глубины d_1 . Точно известна причина возникновения турбулентности в близких к поверхности слоях Солнца. Развитие тепловых процессов внутри Солнца приводит к возникновению теплого потока, движущегося в радиальном направлении наружу. Этот поток в поверхностном слое, толщина которого равна 15 процентам радиуса Солнца, создает разность температур и давлений, тем самым — сильную вертикальную (восходящую и нисходящую) конвекцию материи. Весь этот слой находится в состоянии турбулентного движения. Он гораздо толще того слоя, в котором могут происходить периодические изменения 22-летнего цикла. С приближением к поверхности Солнца плотности газа экспоненциально понижается, и в такой же степени увеличивается кинематическая вязкость, благодаря чему происходит затухание турбулентного движения. Турбулентное движение потока вещества особенно сильно затухает непосредственно у самой поверхности Солнца. Следовательно, только здесь в турбулентном движении преобладает определенное вращение (в северном полушарии левое вращение, в южном — правое).

Итак, только в этой области на очень небольшой глубине (максимальное значение которой обозначим через d_2) создается магнитное дипольное поле. Возникновение дипольного поля из кольцевого благодаря турбулентному движению с преобладанием вращения на меньшей глубине d_2 — с одной стороны, и возникновение кольцевого поля благодаря «наматыванию» дипольного поля на большей глубине d_1 — с дру-

ГЕРМАНИЯ

Кельнская газета сообщает: предсказанный астрономами метеорный дождь был наблюдаем в ночь с 1 на 2 ноября. Несколько часов тысячи ракет пролетали по небу в виде длинных, ярких, блестящих, пересекающихся между собой полос красного, желтого и фиолетового цветов. Казалось, будто звезды для забавы перебрасывались этими огненными шарами. Большая часть их направлялась от востока к западу. К утру над городом разразился ураган.

«Биржевые ведомости»,
11 ноября 1866 г.

Сто лет назад



гой, происходит, следовательно, на различных глубинах. Это явление и более быстрое вращение экваториальной зоны создают условия для работы динамомашин переменного тока. И оба эти условия действуют на Солнце довольно энергично.

Дипольное поле, возникающее из кольцевого на небольшой глубине d_2 , начинает «навиваться» не в самый момент своего возникновения. Оно должно сначала проникнуть на глубину d_1 . Кольцевое поле, возникшее на этой глубине благодаря «навиванию» дипольного поля, должно, в свою очередь, подняться до глубины d_2 , чтобы там опять создать дипольное поле. Расчет показывает, что самовозбуждение возможно для той частоты взаимодействия этих полей, при которой суммарное время передвижения туда и обратно (между d_1 и d_2) составляет около половины периода процесса взаимодействия. Следовательно, расстояние $d_1 - d_2$ определяет частоту. Для Солнца оно составляет около 30 тыс. километров, или 5 процентов его радиуса. Запаздывание взаимодействия на половину периода означает перемену знака, и эта перемена необходима, чтобы при вращающейся быстрее экваториальной зоне вообще стало возможным самовозбуждение. Если бы обе части поля воздействовали друг на друга без запаздывания, кольцевые поля, изображенные на рисунке 6, создавали бы потоки, которые ослабляли бы уже имеющееся дипольное поле. Потоки такого направления, при котором они усиливают дипольное поле, в случае незапаздывающего взаимодействия возникали бы лишь при условии, что кольцевое поле наматывалось бы благодаря отставанию экваториальной зоны и тем самым имело бы противоположное направление. Но тогда это был бы всего лишь генератор постоянного тока. На самом же деле экваториальная зона Солнца вращается быстрее.

Расчеты показывают, что такое создание самовозбуждающегося генератора переменного тока возможно без каких-либо дополнительных процессов. Правда, необходимые для этого условия самовозбуждения значительно строже, чем для генератора постоянного тока, поскольку запаздывание на половину периода, о котором говорилось выше, обязательно связано с уменьшением амплитуды приблизительно до 4 процентов, и оба процесса, индуцирующие ток (дифференциальное вращение и турбулентное движение), должны дополнительно покрыть эту потерю. Расчеты модели показали, что скорости турбулентного движения в оболочке Солнца вблизи от поверхности должны иметь порядок 100—1000 метров в секунду. А это гораздо более интенсивное турбулентное движение, чем то, которое необходимо для самовозбуждения генератора постоянного тока. Фактически на поверхности Солнца, доступной непосредственно наблюдению, отмечаются еще большие скорости. Расчеты показывают далее, что как диполь, так и оба кольцевых пояса совершают колебания с общим периодом. При этом оба кольцевых пояса всегда направлены навстречу друг другу и достигают максимальной интенсивности в тот момент, когда дипольное поле переходит через нуль.

Важнейший вывод из упомянутых расчетов заключается прежде всего в том, что магнитные поля постоянного и переменного тока могут возникать благодаря вышеуказанным процессам аналогично самовозбуждающимся звездным динамомашинам. Выводы эти получены в результате количественного согласования расчетных данных с данными, полученными в результате наблюдений. Чтобы с полной уверенностью подтвердить все вышесказанное, необходимо произвести расчеты очень большого количества моделей, а это требует больших затрат на работу со счетно-решающими устройствами. Однако характер ожидаемых результатов уже известен.

Для приведения в действие дипольных полей планет из-за наличия твердой коры на поверхности и отсутствия существенного дифферен-

324 циального вращения необходимы значительная скорость вращения, жидкое ядро и достаточный температурный градиент для образования тепловой конвекции. Магнитное поле Земли — слабое. Слабые поля тормозят турбулентное движение внутри Земли до минимальной скорости, которой все-таки достаточно для самовозбуждения. Поэтому условия турбулентного движения внутри Земли, по-видимому, несколько перекрывают минимальные значения, необходимые для работы генератора постоянного тока. Небесные тела, подобные Земле, которые или вращаются медленнее, чем Земля, или меньше ее, или холоднее, имеют поэтому более низкую температуру недр по сравнению с Землей, и, по-видимому, уже не могут создать критического турбулентного движения, если только они не обладают остаточным магнитным полем, сохранившимся от ранних стадий развития.

Для динамомашин, расположенной под углом к оси вращения, требуется возмущение, синхронно обращающееся вместе с ним. У Земли это возмущение может быть следствием приливного течения, вызванного притяжением Луны; притяжение оказывает влияние и на жидкую составляющую недр Земли. Исходя из общего положения о сохранении вращательного момента, помимо преобладающего колебательного движения в недрах Земли должно быть еще слабое экваториальное течение. Если на внутренней поверхности твердой оболочки Земли имеются такие же «горы», как и на внешней, и эти «горы» частично расположены под углом к направлению меридиана, то циркуляционный поток будет иметь компоненту, минующую полюс, и тогда, благодаря электропроводности этого потока, магнитное поле Земли будет ослабляться. Геологическое развитие этих внутренних горных систем должно изменить топографию потока и соответственно изменить направление магнитного поля на поверхности Земли.

Для самовозбуждения генератора постоянного тока звезды, имеющей дифференциальное вращение, требуется такое незначительное турбулентное движение в ее недрах, какого, в сущности, можно ожидать почти у любой звезды, если у нее имеется слабое квадрупольное поле. Некоторые наблюдения позволяют предположить, что на Солнце также, помимо колеблющегося диполя, имеется постоянное во времени квадрупольное поле, которое имеет магнитную массу полюса всего на один порядок меньше, чем максимальная магнитная масса полюса дипольного поля. При этом южный полюс этого квадрупольного поля должен находиться на экваторе Солнца.

Сильное магнитное поле магнитных звезд должно оказывать большое влияние на строение звезды. Поле у экваториального кольцевого пояса достигает 10^7 — 10^8 эрстед. При указанной величине поля магнитное поперечное давление перестает быть бесконечно малым по отношению к большему гидростатическим давлениям в недрах звезды. При одинаковом общем давлении в поясе магнитного поля вещество находится в более разреженном состоянии, а потому оно легче, чем вещество на той же глубине вне этого пояса. Возникает подъемная сила, которая воздействует на конвекционное течение; благодаря ему вещество транспортируется из пояса вверх к экваториальной поверхности звезды. Этот «лифт» увлекает на поверхность захваченную часть кольцевого магнитного пояса, там она быстро затормаживается. Таким образом, магнитное поле пояса не может достичь той величины, когда действие магнитного поперечного давления привело бы к разрыву звезды, который в конце концов должен был бы произойти при постоянном «навивании» квадрупольного поля. Поскольку тяжелые элементы (например, металлы) на больших глубинах встречаются чаще, чем на поверхности, это конвекционное течение должно обуславливать возникновение в спектрах магнитных звезд более сильных металлических линий, чем в спектрах родственных им, но немагнитных звезд.

Теория эффекта Зеемана показывает, что ионы тяжелых и, прежде всего, редкоземельных элементов в магнитных полях становятся диамагнитными. Поэтому они вообще не могут проникнуть в сильные магнитные поля экваториального пояса и, следовательно, не могут подняться на поверхность. Этим, пожалуй, можно объяснить дефицит европия в районе экватора. Ионы атомов с малым количеством электронных оболочек могут, наоборот, в таком же поле становиться парамагнитными, если общий магнитный момент электронной оболочки не равен нулю. Ионы этого типа скапливаются в магнитном поясе и транспортируются конвекционным течением к поверхности экваториальных областей. В обоих слабых кольцевых полях вблизи полюса, напротив, возможно присутствие редкоземельных металлов, которые обладают парамагнитными свойствами и собираются там вследствие аналогичных процессов.

Сейчас еще трудно решить, насколько широко можно истолковать исследованные явления. То же самое можно сказать и о равновесии давления в недрах звезд; давление электронной плазмы в магнитных полях величиной в 10^8 эрстед становится анизотропным, так как энергия должна излучаться перпендикулярно к магнитному полю. Открытым остается также вопрос о том, связана ли большая энергия турбулентного движения, необходимая для очень сильных магнитных полей, с пульсацией всей звезды (чередование сплюсненного и вытянутого эллипсоида вращения). Такая связь могла бы привести к определенному соотношению между наблюдаемыми магнитными явлениями и яркостью звезды. Прежде всего, еще не удалось произвести расчет модели такой звезды; во всяком случае на пульсацию звезды должна оказывать сильное влияние упругая анизотропия, обусловленная поясом магнитного поля.

Магнитное поведение Солнца вполне понятно. Пары солнечных пятен возникают в том случае, если части одного из кольцевых полей вырываются из недр благодаря большому количеству вещества, поднимающемуся в зоне конвекции, и магнитный поток прекращается уже за пределами Солнца. Нечто аналогичное происходит и с более слабыми магнитными полями в турбулентной конвекции, расположенными недалеко от поверхности. Магнитные поля, внезапно всплывающие на поверхность, настолько сильно «смяты» в этом турбулентном движении, что уже невозможно определить среднее направление поля. У пар солнечных пятен это выглядит совершенно иначе. Здесь расположение полюсов пары пятен вполне соответствует ожидаемому направлению намагничивания в поясе.

В заключение следует еще высказать предположение, что совершенно аналогичные динамомшины могут существовать и в межзвездном веществе, например, в ветви какой-либо галактики. Здесь вещество также совершает турбулентное движение в магнитном поле. Возникающие при этом индуцированные поля чрезвычайно слабы, но они имеют огромную протяженность. В статистическом взаимодействии большого количества таких частных областей эти поля могут иметь значение для космического излучения.



ЯКОВ БОРИСОВИЧ ЗЕЛЬДОВИЧ
(р. 1914) — физик, академик, лауреат Государственной премии.

После окончания средней школы в 1931 поступает лаборантом в Институт химической физики, где работает в лабораториях С. З. Рогинского и директора института Н. Н. Семенова, учится у теоретиков института, одновременно посещая лекции в Политехническом институте. В 1934 поступает в аспирантуру.

Первые этапы научной деятельности Я. Б. Зельдовича связаны с вопросами химической физики — адсорбции, катализа, горения, ударных волн. В этих областях экспериментальная работа сочетается у него с теоретической. Затем центр тяжести теоретических исследований Я. Б. Зельдовича перемещается в ядерную физику и физику элементарных частиц. Продолжая заниматься этими вопросами, он в последние годы принимает активное участие в разработке астрофизических и космологических проблем.

В 1946 избран членом-корреспондентом, в 1958 — действительным членом АН СССР.

ЯКОВ БОРИСОВИЧ ЗЕЛЬДОВИЧ

«ГОРЯЧАЯ» МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ТЕОРИЯ ФРИДМАНА

В 1965 г. два американских радиофизика А. А. Пензиас и Р. В. Вилсон сделали открытие, которое привлекло к себе внимание астрономов и физиков всего мира. Занимаясь разработкой системы связи при помощи спутников, они обнаружили на волне 7,3 см постоянный «космический» шум. Были учтены все источники, которые могли бы создавать этот фон, — радишумы Земли и ее атмосферы, радиоизлучение различных космических объектов, шумы самой антенны радиотелескопа и приемной аппаратуры. Чтобы убедиться в исправности приборов, был даже разобран и вновь собран радиотелескоп. Тем не менее избавиться от этого фона не удалось. Оказалось, ко всему прочему, что этот радишум был полностью изотропным, то есть не зависящим от направления. Его величина была постоянной в течение целого года — столько времени велась наблюдения.

Интенсивность обнаруженного радиоизлучения на этой длине волны оказалась в 10^2 — 10^5 раз больше той, которую можно ожидать от всех известных источников — звезд и галактик. То обстоятельство, что излучение не зависит от направления, то есть не связано с какими-либо источниками, заставляет предположить, что оно имеет внегалактическое происхождение.

Такое же непонятное излучение было открыто чуть позже и в об-

§28 ласти более коротких волн — 3 см и 0,263 см. Температура, соответствующая его интенсивности, оказалась равной 3°К.

Почему же это открытие, которое было довольно случайным *, приобрело такое важное значение? Дело в том, что оно, по-видимому, прольет свет (радиосвет — если можно так выразиться) на историю развития Вселенной.

В 1922 г. советский математик А. А. Фридман на основе теории тяготения Эйнштейна предсказал, что мир не может находиться в покое. Теория расширяющейся Вселенной Фридмана была подтверждена затем открытием так называемого красного смещения и считается сейчас общепринятой.

Но если Вселенная расширяется (а это, повторяем, доказано экспериментально), то было время, когда она была более «тесной» и плотной. Предположим, что был момент $t=0$, когда плотность была бесконечной, и будем отсчитывать время от этого момента, отстоящего от сегодняшнего дня приблизительно на 10^{10} лет в прошлое.

Какой же в этот момент была температура вещества в таком сверхплотном состоянии? Было ли вещество в этот момент «горячим» или «холодным»?

Еще в 1948 г. физик Г. Гамов, рассматривая вопрос происхождения элементов, выдвинул гипотезу о так называемой «горячей» модели расширяющейся Вселенной. По этой модели начальная температура Вселенной была невероятно большой. При такой температуре могла существовать лишь плазма из квантов света (фотонов) и других элементарных частиц, причем число квантов в каком-нибудь объеме гигантски (в 10^9 , то есть в тысячу миллионов раз) превосходило число атомов, остающихся в том объеме, который получится в ходе расширения к современному состоянию. Сама высокая плотность в начальном

* А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков за год до этого отмечали значение для космологии измерений в области от 20 до 0,1 см. Р. Г. Дике, П. Г. Ролл, П. Дж. Е. Пиблс и Д. Т. Вилкинсон в США приступили к измерениям на длине волны 3 см независимо и сознательно, для решения космологических вопросов. Они узнали о результатах А. А. Пензиаса и Р. В. Вилсона и оценили их важность еще до опубликования работы.

И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич в 1964 году подсчитали интенсивность излучения и распределение его по длинам волн от всех известных источников — звезд, галактик, радиогалактик и т. д. Они получили кривую, показанную на первом рисунке. Правый максимум характеризует излучение звезд, подъем слева — излучение радиогалактик. Между этими участками кривой имеется минимум. Авторы указали, что наблюдение интенсивности излучения в этой области около минимума имеет большое значение для решения космологических вопросов, особенно для выбора между «горячей» и «холодной» космологическими моделями. Для примера того, что может дать горячая модель, было приведено равновесное излучение при температуре $T = 1^\circ\text{К}$ (пунктир на рисунке). Открытие общего внегалактического радиоизлучения показало справедливость «горячей» модели.

Кривая на втором рисунке построена уже с учетом вновь открытого радиоизлучения, температура которого оказалась равной 3°К. Как видно из нее, интенсивность этого излучения намного превосходит интенсивность всех известных источников.

периоде связана с высокой температурой. В самом деле, давно известно, что при высокой температуре велика плотность энергии излучения. Согласно теории относительности энергия имеет массу, весит. При миллиарде градусов в 1 см^3 содержится 10 г излучения.

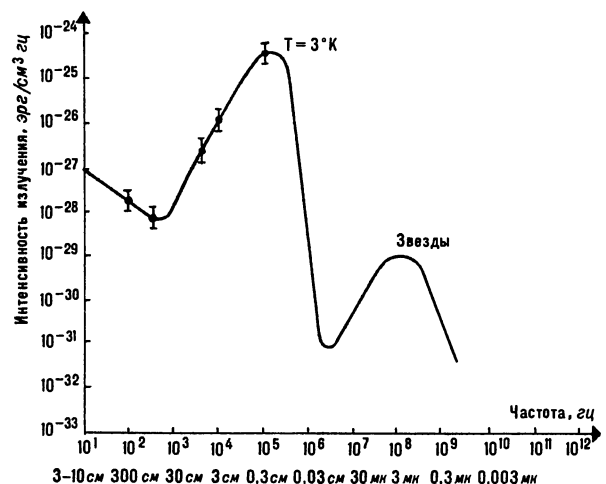
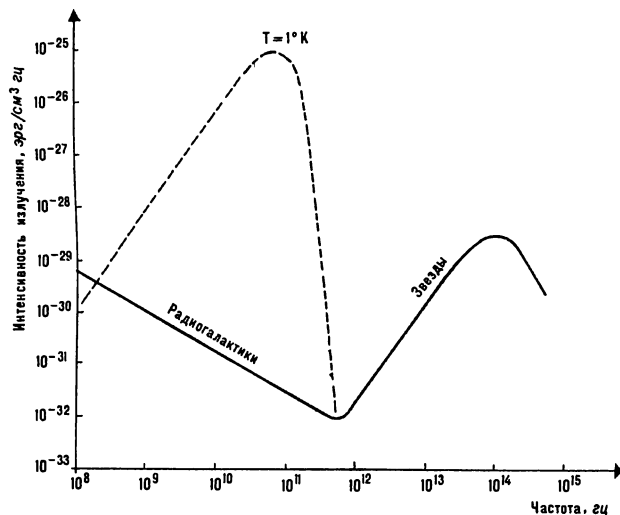
В ходе расширения число квантов сохраняется, но их энергия убывает, поскольку она обратно пропорциональна длине волны кванта, а длина волны увеличивается в той же пропорции, в которой при расширении растут все расстояния между частицами.

Следовательно, температура плазмы в процессе расширения также уменьшается — Вселенная «остывает».

Пользуясь уравнениями механики и законом охлаждения квантов, мы можем найти зависимость температуры от времени. В момент $t=1 \text{ сек}$ температура была около 10^{10} градусов. При такой громадной температуре моментально устанавливается термодинамическое равновесие. Кроме квантов в равновесии примерно в таком же количестве существовали пары электронов и позитронов, нейтрино и антинейтрино; гораздо меньше (в 10^9 раз) было нейтронов и протонов. Заметим, что даже такая громадная температура недостаточна для рождения пар нуклонов и антинуклонов. Столкновения протонов и нейтронов с электронами и позитронами приводили к взаимным превращениям протонов и нейтронов.

Второй этап (от 1 сек до 100 сек) изменяет картину. По мере дальнейшего расширения и уменьшения плотности аннигилируют и исчезают позитроны и электроны. Количество образующихся при этом новых квантов невелико. Точно так же сохраняется почти неизменным общее количество нейтрино и антинейтрино. Они «выживают» вследствие того, что вероятность их аннигиляции очень мала. Нейтрино и антинейтрино почти столько же, сколько квантов и средняя их энергия приблизительно такая же, как у квантов, то есть к сегодняшнему дню нейтрино и антинейтрино «остыли» до нескольких градусов.

В это же время важные превращения происходят с нейтронами и протонами. Часть нейтронов распадается, превращаясь в протоны; остальные нейтроны соединяются с протонами, образуя дейтерий (ядро тяжелого водорода), который после нескольких ядерных реакций превращается в гелий. Теория предсказывает, что вещество в ходе охлаж-



дения плазмы превращается в смесь 70% водорода и 30% гелия (по весу). Все более тяжелые элементы — углерод, азот, кислород, железо — должны были образоваться гораздо позже, в ходе ядерных реакций в недрах звезд. Астрономические исследования в целом, по видимому, неплохо согласуются с таким выводом; есть надежда, что отдельные исключения удастся объяснить особыми обстоятельствами.

После периода ядерных реакций ($1 \text{ сек} < t < 100 \text{ сек}$) второй характерной вехой является момент $t = 3 \cdot 10^6$ лет, соответствующий температуре 3000° — 4000° . Протекшие до этого момента три миллиона лет не вносят особых качественных изменений. Плотность в ходе расширения уменьшается, уменьшается, как мы уже говорили, и энергия квантов. Тем не менее, плотность излучения настолько велика, что превышает плотность обычного вещества. Давление излучения препятствует образованию звезд и галактик. Силы тяготения, которые собирают вещество в ту область, где плотность вещества уже превосходит среднюю («гравитационная неустойчивость»), не в состоянии преодолеть давление излучения, повышающееся при сжатии вещества. Вещество к тому же полностью ионизовано — при такой температуре и плотности отдельно существуют электроны и отдельно ионы (ядра), в данном случае — протоны и ядра гелия (альфа-частицы). Температура вещества и температура излучения одинаковы — вещество и излучение находятся пока еще по-прежнему в равновесии.

Только после $t = 3 \cdot 10^6$ лет происходит рекомбинация электронов и протонов в атомы водорода. Тепловое равновесие между веществом и излучением нарушается, и при температуре приблизительно в 3500° процессы «остывания» вещества и излучения, температуры которых были до этого момента одинаковы, идут по-разному. Вещество остывает гораздо быстрее (далее мы увидим, что оно снова будет нагрето), и между ним и излучением практически нет никакого взаимодействия. Вещества слишком мало, расширение продолжается, и кванты почти не взаимодействуют с веществом — оно «прозрачно» для излучения. Затем, предположительно, начинается образование звезд и галактик*.

* Эта гипотеза развивается в работе А. Г. Дорошкевича, И. Д. Новикова и автора этой статьи.

После теоретического открытия Фридмана американский астроном Э. Хаббл в 1929 году вывел из наблюдений количественный закон расширения Вселенной. Еще до него было установлено, что все линии в спектрах далеких галактик смещены в красную сторону. Этот факт объясняется при помощи известного эффекта Доплера — изменения длины волн света при движении источника света относительно наблюдателя, измеряющего длину волны. Поскольку все объекты имеют красное смещение, они, следовательно, удаляются, «разбегаются» от нас. Оказалось, что скорость убегания каждой галактики v пропорциональна ее расстоянию от наблюдателя a (закон Хаббла), то есть, чем дальше от нас находится объект, тем с большей скоростью он убегает. Коэффициент пропорциональности H между скоростью и расстоянием ($v = Ha$) был найден Хабблом следующим образом. Расстояние до ближайших галактик определялось путем сравнения видимой и истинной яркости входящих в них звезд, а по красному смещению в спектре этих галактик находилась скорость. Коэффициент H , называемый постоянной Хаббла, после ряда уточнений оказался равен $100 \text{ км/сек.мегапарсек} = 0,3 \cdot 10^{-17} \text{ сек}^{-1}$. Это значит, что объект, находящийся на расстоянии в 100 мегапарсек ($3 \cdot 10^{21} \text{ км} = 300 \text{ млн. световых лет}$), удаляется от нас со скоростью $10\,000 \text{ км/сек}$. Теперь достаточно определить красное смещение какой-либо галактики (то есть, по существу, ее скорость), чтобы найти расстояние до нее.

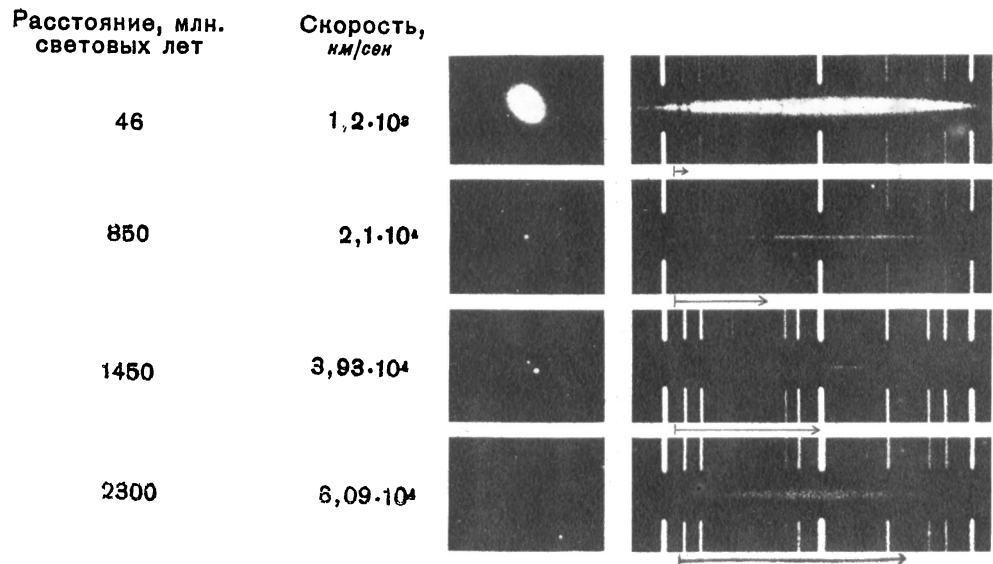
Слева даны фотографии самих галактик, справа — их спектрограммы. На каждой спектрограмме сверху и снизу впечатан «спектр сравнения», принадлежащий железу в лабораторных условиях; основание стрелки дает положение нормальной, лабораторной линии кальция. Полоса в середине представляет собой спектр объекта. Темное место на этой полосе над концом стрелки соответствует линии поглощения кальция. Как видно из таблицы, скорость удаления галактик пропорциональна их расстоянию (длина стрелок на фотографии увеличивается).

При этом намечается концепция, согласно которой первое поколение звезд составляет малую долю общей массы вещества. Может быть, здесь более уместен термин «празвезды», поскольку условия их образования радикально отличаются от условий, в которых в настоящее время образуются звезды; соответственно могут отличаться и их свойства.

Априорная концепция постоянства, неизменности устройства всего окружающего нас мира звезд и галактик не согласуется с современным естествознанием. Запас ядерной энергии звезд хотя и велик, но все же ограничен. Уже поэтому можно сказать, что современные нам звезды имеют возраст не более 10 миллиардов (10^{10}) лет. Верно то, что мы присутствуем при процессах рождения новых звезд из газовых облаков в настоящее время и в самом недалеком прошлом. В установлении этого факта ведущую роль играл В. А. Амбарцумян. Верно и то, что при взрывах звезд значительная часть их массы выбрасывается и превращается в газ. Но эти два процесса не могут сбалансировать друг друга. Нельзя себе представить цикл образования и взрыва звезд, длящийся неограниченно: ведь в ходе этого цикла как во время спокойной эволюции, так и при взрыве, расходуется ядерное горючее. Сейчас ни у кого нет сомнения, что именно энергия ядерных реакций питает звезды.

Космология доставляет нам другой довод против неизменности Вселенной: наблюдая красное смещение спектральных линий, мы делаем заключение о том, что далекие галактики в настоящее время удаляются от нас, а значит, раньше были ближе к нам, общая плотность всех видов вещества (в том числе квантов света, нейтрино и т. п.) была больше. Логические выводы из этого аргумента (вместе с учетом данных радионаблюдений) и привели к гипотезе, изложенной выше, о сравнительно недавнем образовании сначала «празвезд», а затем галактик.

Другой тип радионаблюдений дает замечательное подтверждение идеи физической эволюции Вселенной. Речь идет о наблюдении слабых отдельных (дискретных) радиоисточников. Чувствительность радиотелескопов оказалась значительно превышающей чувствительность оптических телескопов. В радиоволнах наблюдаются источники, кото-



332 рые не удается различить с помощью оптического телескопа. Это не упрек оптикам — результат зависит и от соотношения между радиоизлучением и оптическим излучением галактик, и от условий прохождения радиоволн и обычного света, и от фона ночного неба, и, наконец, просто от того, что один квант видимого света содержит энергию в миллионы раз больше, чем квант радиоволны.

Итак, исследуются слабые, оптически неразличимые радиоисточники. По косвенным признакам можно заключить, что они кажутся нам слабыми лишь потому, что они далеки. По мере увеличения чувствительности аппаратуры мы сможем регистрировать источники на более далеком расстоянии, и число их, следовательно, должно увеличиваться. Можно указать тот математический закон, по которому этот рост происходит.

Наблюдения, проведенные в нескольких странах в последние годы, показывают, что картина сложнее. При не слишком высокой чувствительности число источников растет быстрее, чем это следовало бы из увеличения объема, в который мы можем «заглянуть» при этом увеличении чувствительности. Однако за определенной границей рост числа источников почти прекращается. Вследствие конечной скорости распространения света, более далекие источники должны были раньше послать нам свое излучение для того, чтобы оно могло быть принято нами в настоящее время одновременно с излучением более близких источников. Результаты наблюдений, о которых шла речь, приводят к следующему выводу: в прошлом, через миллиард лет после стадии большой плотности (то есть 9 миллиардов лет тому назад), радиоисточников было значительно — в тысячу раз — больше, чем в настоящее время; при этом мы сравниваем число источников в объеме, содержащем равное количество вещества. За истекшие 9 миллиардов лет угасание радиоисточников не компенсировалось рождением новых.

Но если обратиться к еще более раннему моменту — полмиллиарда лет после $t=0$, — то там вовсе не было радиоисточников! По-видимому, первые радиоисточники возникли между $0,5 \cdot 10^9$ и 10^9 лет после $t=0$, возникли дружно и обильно, более обильно, чем они возникали потом.

Замечательно, что радиоастрономия позволила нам заглянуть в то

Рисунок иллюстрирует образование водорода и гелия на ранней стадии расширения Вселенной от сверхплотного состояния.

До момента времени, равного приблизительно 0,0001 сек от начала расширения, между протонами и нейтронами существует термодинамическое равновесие. При тех высоких температуре и давлении, которые имеются в этот момент, происходят взаимные превращения протонов и нейтронов, и их концентрации равны 50% нейтронов и 50% протонов. Затем концентрация протонов немного растет, а нейтронов падает. Это происходит из-за того, что массы протонов и нейтронов различны — нейтрон тяжелее протона, и, следовательно, в горячей плазме в равновесии протонов будет больше, а нейтронов — меньше. При дальнейшем расширении (и связанным с ним уменьшением температуры) реакции взаимного превращения протонов и нейтронов идут более медленно, медленнее, чем происходит расширение. Так как именно эти реакции на данной стадии приводили к изменению концентраций протонов и нейтронов, то теперь их концентрация перестает изменяться. Число протонов и нейтронов как бы «замораживается», происходит так называемая их «закалка».

После этого (в период от 10 до 100 сек после начала расширения) начинает идти реакция захвата нейтрона протоном с образованием дейтерия и реакции дейтерия, заканчивающиеся образованием гелия. Количество гелия растет до тех пор, пока не будут захвачены все нейтроны, а затем становится постоянным (выходит на прямую на рисунке).

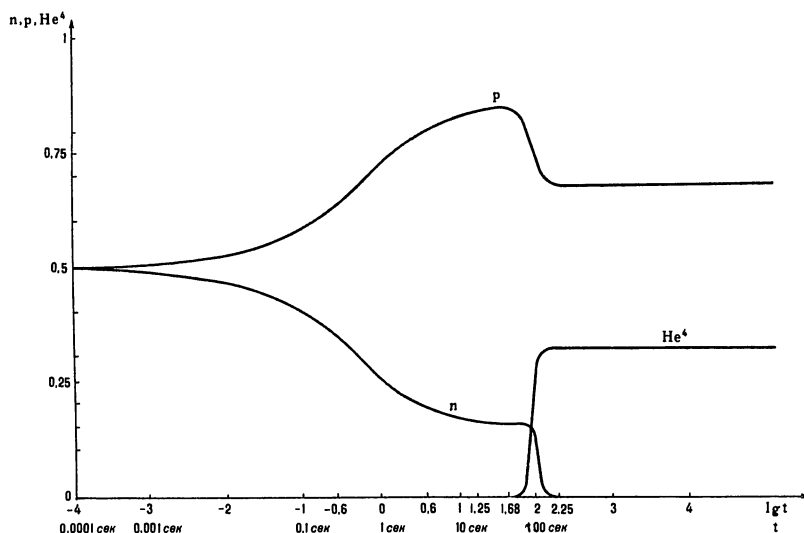
Рисунок показывает зависимость от времени концентраций нейтронов, протонов и гелия.

далекое прошлое, когда только формировалась привычная, похожая на современную, структура Вселенной.

Несколько принципиально различных способов подхода к проблеме периода возникновения галактик и скоплений галактик дают, пусть очень грубо, сходный результат. Самый простой, но не менее убедительный способ основан на сравнении среднего размера скоплений галактик и среднего расстояния между скоплениями. Зная эти величины и скорость расширения, легко найти момент, когда скопления галактик соприкасались между собой, не были обособлены друг от друга. Этот момент, естественно, близок к моменту образования галактик. Близость различных оценок между собой создает уверенность в правильности основной концепции: звезды и галактики не являются бесконечно древними образованиями; они родились в обозримом прошлом, родились из других форм материи — предположительно из почти однородной плазмы, пронизанной излучением.

Вернемся к гипотезе об эволюции. Итак, предполагается, что «правзвезды» могут быстро выделить энергию, которая нагревает остальную — большую часть вещества (чтобы еще раз подчеркнуть начавшееся расхождение в остывании вещества и излучения и отсутствие их взаимодействия, укажем, например, что к моменту образования правзвезд вещество остыло до $0,4^\circ\text{K}$, а излучение — до 40°K). Значительная часть этого вещества, возможно, остается в виде горячей ионизованной плазмы и не конденсируется в галактики и затем в звезды. Таким образом, концепция горячей модели Вселенной увязывается с независимо возникшей гипотезой, разработанной советскими физиками В. Л. Гинзбургом и Л. М. Озерным о существовании (в настоящее время!) горячего ионизованного межгалактического газа. Возможно, что плотность этого газа в настоящее время $\rho = 10^{-29} \text{ г/см}^3$ — в десятки раз больше плотности вещества, содержащегося в звездах, усредненной по всему пространству.

Общая схема этапов эволюции показана в таблице. Сопоставление различных величин в одной таблице удобно и наглядно; однако неизбежно при этом создается ложное впечатление категоричности и полной уверенности автора во всех цифрах — ведь в таблице нельзя привести все оговорки и сомнения. Пусть эти строки выполняют роль



334 вакцины сомнения: многое из того, что значится в таблице, особенно в части схемы рождения галактик, представляет собой один из возможных гипотетических вариантов, а не единственный и доказанный вариант. О современной плотности вещества см. ниже.

Время	Общая плотность	Плотность барионов	Состав	Температура излучения	Температура вещества	Состояние, процессы
0	∞	∞	—	∞	∞	—
10^{-6} сек	$5 \cdot 10^{17}$	$3 \cdot 10^8$	Много барионов и антибарионов	10^{13}	10^{13}	Однородная горячая равновесная плазма
1 сек	$5 \cdot 10^5$	0,3	84% протонов, 16% нейтронов, много позитронов и электронов, квантов и нейтрино	10^{10}	10^{10}	Состояние то же, в интервале 1 сек—100 сек аннигилируют позитроны, проходят ядерные реакции
100 сек	50	$3 \cdot 10^{-4}$	70% протонов, 30% ядер гелия, электроны, много квантов и нейтрино	10^9	10^9	
$6 \cdot 10^{12}$ сек = $= 2 \cdot 10^6$ лет	$2 \cdot 10^{-20}$	$2 \cdot 10^{-20}$	Нейтральный гелий и водород, кванты и нейтрино	3600°	3600°	Прекращается взаимодействие газа с квантами. В дальнейшем нарастает неоднородность
$(3-7) \cdot 10^8$ лет	10^{-26} — $-2 \cdot 10^{-27}$	10^{-26} — $-2 \cdot 10^{-27}$	Образуется до 0,001% C, N, O	$40^\circ-20^\circ$	$0,5^\circ-1^\circ \rightarrow$ $\rightarrow 100000^\circ$	Происходит образование и быстрая (взрывная?) эволюция протозвезд, нагревающих главную массу газа
$5 \cdot 10^8-10^9$ лет	$5 \cdot 10^{-27}$ — -10^{-27}	$5 \cdot 10^{-27}$ — -10^{-27}	То же	$20^\circ-10^\circ$	100 000 $^\circ$	Из горячего газа образуются скопления галактик, галактики и звезды современного типа, а также квазары
10^{10} лет	10^{-29}	10^{-29}	То же	3°	100 000 $^\circ$?	Настоящее время

Примечание: Состав и температура вещества относятся к межгалактическому газу, не подвергавшемуся ядерным реакциям в обычных звездах.

Вопрос о плотности межгалактического газа принципиально важен: от него зависит будущее Вселенной. Если плотность газа достаточно велика, то силы тяготения смогут остановить наблюдаемое в настоя-

щее время расширение, и через еще один или два десятка миллиардов лет начнется сжатие. Астрономы этого далекого будущего будут наблюдать не «красное», а «синее» смещение в спектрах. Вспомнят ли они о своих предках, сумеем ли мы по эстафете передать свое знание и свои сомнения так далеко в будущее?

Плотность одних звезд и галактик недостаточно велика для остановки расширения. Если межгалактического газа мало, Вселенная обречена на неограниченно продолжающееся расширение, удаление друг от друга крупных самостоятельных единиц*. Критическая плотность газа — рубеж между будущим сжатием и неограниченным расширением — лежит как раз около 10^{-29} г/см³, то есть около десяти атомов или ионов в одном кубическом метре пространства.

В настоящее время во всех странах происходят лихорадочные поиски методов исследования газа, чтобы сейчас, а не через десятки миллиардов лет предугадать, предвидеть будущее.

Необычайно яркие и далекие объекты — квазары — дают способ определения нейтрального водорода по поглощению им света в слое, расположенном между квазаром и наблюдателем. Оказалось, что эта плотность по крайней мере в миллион раз меньше критической. Нейтральный водород ищут и по поглощению радиоволн, и здесь получают малую плотность.

Значит ли это, что газа мало? Или что мало только нейтрального газа, так как газ горячий и почти полностью ионизован, в согласии с концепцией, упомянутой выше?

Горячий ионизованный газ должен сам излучать энергию. В общем энергетическом балансе эта энергия невелика, значительно меньше не только излучения, доставшегося нам от далеких дозвездных времен, но и излучения звезд.

Однако в отдельных спектральных участках излучение газа перебивает другие источники.

В 1966 г. на советской автоматической межпланетной станции, запущенной к Венере, В. Г. Курт установил счетчики ультрафиолетовых квантов. Расчеты Р. А. Сюняева, основанные на результатах измерений В. Г. Курта, показали, что данные наблюдения существенно ограничивают возможную плотность газа.

Прямой, однозначный ответ в настоящее время еще нельзя дать потому, что излучение зависит не только от плотности, но и от температуры. Нет сомнения, что авторы нащупали и практически опробовали чрезвычайно перспективный метод исследования.

В недалеком будущем мы будем знать не только плотность, но и температуру, и состав межгалактического газа. Подчеркнем, что эта температура должна быть высокой (10^4 — 10^6), газ не находится в тепловом равновесии с тем радиоизлучением, соответствующим 3° абсолютной температуры, о котором говорилось в начале статьи.

Это возможно благодаря малой плотности и медленной теплоотдаче газа; газ нагревается взрывами галактик и космическими лучами.

Вернемся к горячей модели в узком смысле. Не зависящее от направления (изотропное) радиоизлучение в области сантиметровых и миллиметровых волн есть следствие горячей модели. Радиоизлучение является прямым наследником того мощного излучения в сжатой горячей плазме, плотность которого на ранней стадии во много раз превосходила плотность вещества. При этом совершенно несущественно, имеем ли мы дело с теми же самыми индивидуальными квантами: в состоянии полного теплового равновесия происходит поглощение

* Это не исключает того, что такие системы, как галактика или тем более наша солнечная система, отнюдь не расширяются — их локальная (местная) плотность вполне достаточна для удержания тел, находящихся в этих системах.

336 одних квантов, испускание других, рассеяние третьих, но все эти процессы уравновешены так, что не меняют ни полной энергии среды, ни энергии квантов. Так обстоит дело при большой плотности.

При малой плотности поглощение и испускание квантов становится несущественным, рассеяние их не играет роли, можно следить за судьбой отдельного кванта. Во всяком случае, наблюдаемое сейчас радиоизлучение, о котором шла речь в начале статьи, — это или те же кванты, или потомки тех квантов, которые, как предполагается, имели энергию порядка миллиона электрон-вольт — как гамма-лучи радиоизотопов, при $t=1$ сек и уменьшили свою энергию в силу красного смещения в ходе расширения. Сейчас в ходу термин «реликтовое излучение». Важно, что ни звезды, ни радиогалактики, ни горячий межгалактический газ не могут дать ничего, приближающегося по свойствам к реликтовому излучению: энергия последнего слишком велика и спектр его не похож ни на спектр звезд, ни на спектр радиоисточников. Этим и доказывается космологическое, реликтовое происхождение рассматриваемого радиоизлучения.

До сих пор мы ничего не говорили о периоде, предшествующем моменту $t = 1$ сек. Этому периоду соответствовала еще большая плотность (больше 10^6 г/см³) и температура (больше 10^{10} градусов). Следует подчеркнуть, что выводы о ядерных реакциях и о том, что происходило при $t = 1$ сек и позже, практически не зависят от предположений о более ранней стадии, о том, достигалась ли когда-нибудь плотность больше 10^6 г/см³ и температура выше 10^{10} градусов. Уже при указанных условиях все процессы идут быстро; какой бы ни был задан начальный состав, в момент $t=1$ сек произойдет почти мгновенное установление равновесия, система «забудет» начальный состав, и дальнейшее развитие событий не зависит от предположений о том, что было при $t=1$ сек. Напомним, что по существу теория горячей Вселенной представляет собой экстраполяцию в прошлое состояния окружающей нас Вселенной, свойства которой изучаются в настоящее время. Как и всякая экстраполяция, она тем надежнее, чем ближе к нам, то есть чем менее удалено в прошлое рассматриваемое состояние.

Из теории следует, что был период, когда температура была больше 10^{13} градусов. При такой температуре существовало так много нуклонов и антинуклонов, что сегодняшние нуклоны (то есть те частицы, из которых в настоящее время образовались все видимые объекты, состоящие из вещества, а не из антивещества) представляют собой результат малого избытка нуклонов над антинуклонами на той ранней стадии.

Если существуют еще более тяжелые частицы — кварки, то и они должны были находиться в заметном количестве в равновесии, и можно рассчитать, что к сегодняшнему моменту могло уцелеть до 10^{-9} — 10^{-12} кварков на атом водорода. Для сравнения заметим, что содержание золота порядка 10^{-10} и радия — 10^{-18} (также на один атом водорода).

Могут ли остаться к сегодняшнему дню какие-то «горячие» частицы, например, нейтрино больших энергий, от того периода, когда температуры были велики?

Ответ зависит от геометрии расширения. В классической теории Фридмана расширение происходит одинаково во всех направлениях.

Куда бы первоначально ни летело нейтрино, оно подвергается «красному смещению», его энергия, измеренная в том месте, куда оно прилетело, меньше, чем энергия в месте вылета в предыдущий момент. Это происходит уже в силу того, что нейтрино, как и всякая другая частица, как и квант света, догоняет убегающее от него (в ходе расширения) вещество. Потеря энергии происходит независимо от того,

что после определенного момента нейтрино практически никак физически не взаимодействует с другими частицами.

В этом случае теория приводит к очень определенному выводу (расчет американца П. Дж. Е. Пиблса, 1965 г.) — сегодня температура нейтрино должна быть равна 2°K , даже ниже температуры излучения. Обнаружение таких нейтрино в ближайшие годы находится за пределами экспериментальных возможностей.

Любопытно, однако, что есть возможность другого ответа. В принципе существуют решения, удовлетворяющие всем уравнениям общей теории относительности, при которых на начальных стадиях расширение шло «вкривь и вкось», по одним направлениям происходило расширение, по другим даже сжатие. С течением времени эти решения вливаются в русло решения Фридмана, расширение становится изотропным, то есть одинаковым во всех направлениях.

По этой причине те наблюдения, которые доказывают изотропию расширения наблюдаемых объектов, не исключают анизотропии на ранних стадиях. Такая анизотропия привела бы к тому, что нейтрино, движущиеся в определенных направлениях, имели бы энергию гораздо больше средней*

Трудно сказать априори, насколько реальна такая возможность. Лучше сформулировать результат так: нейтрино являются тем зондом, который в принципе позволяет исследовать самые ранние этапы эволюции, скрытые от оптического и радиовзора человека.

«Горячая модель» ставит задачи огромной важности и создает для теоретиков трудности. Прежде всего напомним, что до настоящего времени остается нерешенным самый жгучий вопрос: надо ли себе представлять эволюцию Вселенной 1) как однократное расширение из особого состояния или 2) как однократное сжатие от $\rho = 0$ через $\rho = \infty$ при $t = 0$, и последующее расширение, продолжающееся до настоящего времени или 3) как бесконечную последовательность циклов сжатия и расширения. Было бы догматизмом считать, что один из трех вариантов, перечисленных выше, однозначно связан с религиозными представлениями или определенной философской системой. Раздел между идеализмом и материализмом лежит в признании объективного существования исследуемого внешнего мира, в отказе от попыток представить объективные законы как связи между ощущениями мыслящей личности.

Вопрос о выборе одного из трех перечисленных вариантов (или какого-то другого, еще не сформулированного), коренным образом связан с конкретной физической теорией и наблюдательными данными. Различные варианты ответа все материалистичны, выбор между ними происходит на основе признания объективного существования окружающего нас мира, физических законов, управляющих его эволюцией, и степени познания этих законов и тех физических величин, от которых зависит ответ.

Можно высказать теоретические доводы против идеи бесконечного повторения циклов расширения и сжатия. Кроме того, повторение циклов требует, чтобы плотность в настоящее время была больше определенной критической величины, около 10^{-29} г/см^3 .

Решающее слово принадлежит наблюдательной астрономии: именно измерение общей средней плотности вещества (включая и самые трудно обнаружимые формы — от нейтрино и гравитационных волн, нейтрального и ионизованного газа до коллапсировавших звезд и галактик) даст ответ на вопрос о свойствах и судьбе Вселенной. Как уже

* Это замечание принадлежит А. Г. Дорошкевичу, И. Д. Новикову и автору статьи.

338 сказано, если плотность больше, чем 10^{-29} г/см³, то расширение сменится сжатием, но тогда и в прошлом могли быть такие смены.

Если плотность меньше 10^{-29} г/см³, то остается выбор лишь между 1) однократным расширением и 2) однократным сжатием, которое сменилось расширением.

Сама величина критической плотности известна довольно точно. Основной вклад в среднюю плотность, вероятно, вносит межгалактическая плазма, и поэтому ее изучение является важнейшей задачей. Подробное исследование ряда трудных участков спектра, в первую очередь ультрафиолетового и рентгеновского излучения, намечает реальные пути продвижения в этом вопросе. Это исследование обязательно требует вывода измерительной аппаратуры за пределы земной атмосферы.

Перечислим другие задачи и вопросы.

а) Количество квантов на один атом в горячей модели (так называемая удельная энтропия вещества), характеризуемое числом 10^9 квантов на один атом, рассматривалось выше как изначально заданная характеристика этой модели, как одно из тех начальных условий, задание которых необходимо для решения уравнений. Можно поставить вопрос о том, почему это число именно такое, а не больше или не меньше? Только поняв его происхождение, можно будет удовлетворительно ответить на вопрос о том, как в начальный момент получается почти зарядово-симметричное состояние с гигантским числом антинуклонов и нуклонов и в то же время с определенным небольшим перевесом нуклонов.

б) Отметим конкретные вопросы, относящиеся к состоянию большой плотности: как обстоит дело с вихревыми движениями и магнитными полями в этом состоянии? Какова степень однородности и флуктуации в этом состоянии?

в) Теория образования и эволюции «обычных» объектов: звезд, галактик, скоплений, квазаров также должна развиваться с учетом реликтового излучения.

Вернемся от гипотез к фактической, наблюдательной стороне дела.

Нет ли несоответствия между несколькими наблюдениями на нескольких длинах волн и грандиозностью выводов? Каковы те след-

На рисунках по горизонтальной оси отложено время t , а по другой — вертикальной — расстояние между двумя далекими галактиками a . Различные возможные варианты зависимости $a(t)$ показаны на отдельных рисунках. Сегодняшний момент отмечен на них пунктиром.

Первый рисунок — это однократное расширение из особого состояния сверхбольшой плотности материи. Расширение продолжается бесконечно. Такая ситуация имеет место, если средняя плотность материи во Вселенной сегодня не больше, чем $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³.

Второй рисунок: изменение a со временем для случая, когда плотность материи сегодня больше, чем $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³. Расширение сменяется сжатием.

Другой вариант изменения a при средней плотности сегодня меньше $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³ показан на третьем рисунке. Однократное сжатие сменяется однократным же расширением. Такой вариант требует перехода через особое состояние, соответствующее $a = 0$, то есть бесконечно большой плотности материи.

Наконец, для случая, когда плотность больше $2 \cdot 10^{-29}$ г/см³, модель с аналогичной особенностью дает еще один вариант, показанный на последнем, четвертом рисунке — так называемая «пульсирующая Вселенная». Расчеты говорят о том, что амплитуда таких циклов должна возрастать со временем.

ствия, которые непосредственно могут быть сделаны из опытных данных? Эти два вопроса не случайно поставлены рядом. Понятно, что огромный резонанс и значение опытов, о которых идет речь, зависят от сопоставления их со всей системой взглядов эволюционной космологии, с теорией А. А. Фридмана, с современными сведениями о взаимодействии вещества и излучения и о ядерных реакциях.

На этом стоит остановиться, потому что совсем недавно высказывалась такая точка зрения: теория Фридмана, то есть идея общей космологической эволюции является приближением, которое на определенном этапе было полезно и привело к открытию красного смещения. Однако вот уже 30—40 лет эта теория будто бы не дает новых результатов, она не плодотворна, дальнейшее развитие должно пойти по линии замены ее другими представлениями. Развитие, которое получила космология в последние годы и даже, точнее, в последние год-два, не подтвердило такой прогноз.

Новые факты находят понимание и увязываются (реликтовое излучение и химический состав Вселенной) в рамках применения теории Фридмана ко все более далекому прошлому, эта теория оправдывается для состояний, все более близких к сингулярному (особому).

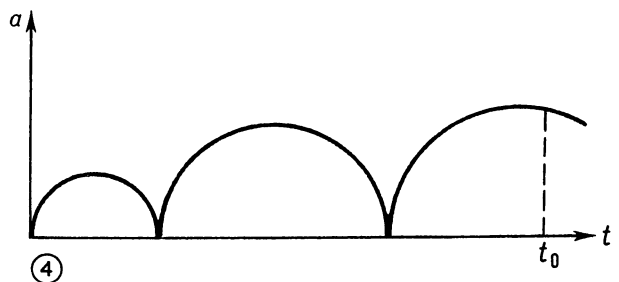
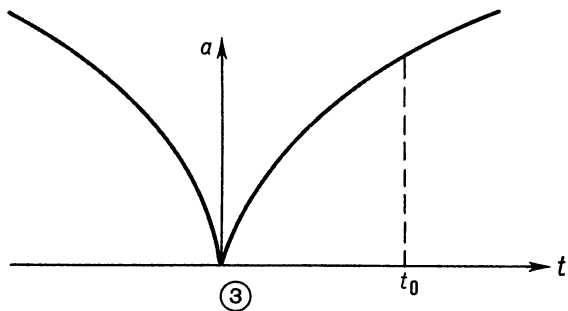
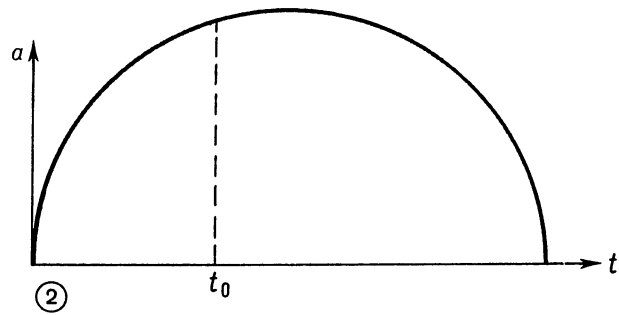
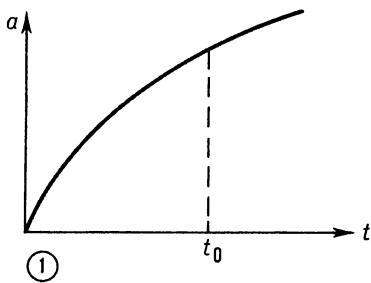
Теория Фридмана является плодотворной, она дает руководящие идеи экспериментаторам — без нее вряд ли было бы придано фундаментальное значение наблюдению слабого радифона.

Обращаясь к непосредственным следствиям наблюдений, не связанным с теорией, следует подчеркнуть изотропию излучения в пределах изученной части спектра.

Изотропия излучения, безотносительно к определенной теории и к предположениям о далеком прошлом, свидетельствует об одинаковости условий в различных направлениях от нас.

Слабое взаимодействие рассматриваемого излучения с пылью, нейтральными атомами и плазмой позволяет сделать заключения, относящиеся к гораздо большему расстоянию, чем это можно сделать по изучению далеких дискретных объектов.

Измеряемые сегодня кванты испытали рассеяние (в среднем) на таком расстоянии, которое соответствует моменту t около $3 \cdot 10^8$ лет. Значит, по крайней мере, начиная с этого периода, расширение про-



340 исходит изотропно. Как уже отмечалось, заглянуть еще глубже можно лишь с помощью нейтрино.

Второе следствие заключается в том, что Земля (Солнце, наша Галактика) не имеет большой скорости относительно поля излучения: скорость 10 000 км/сек дала бы неравномерность излучения по направлению в 10% на длине волны 7,3 или 3 см. По-видимому, такая анизотропия была бы замечена.* Свойства реликтового излучения позволяют глубже заглянуть во Вселенную, проверить и прямо подтвердить основы современных космологических взглядов — изотропию и однородность практически всей доступной наблюдению части Вселенной.

В заключение хочется остановиться на роли и положении космологии — науки о Вселенной, даже отвлекаясь от конкретной модели, от злости дня.

Но прежде чем это сделать, приведу начало знаменитой книги А. А. Фридмана «Мир как пространство и время». Этот небольшой отрывок вместе с эпиграфом, который выбрал Фридман, как нельзя лучше иллюстрирует то, что будет сказано ниже.

«Однажды, когда ночь покрыла небеса своею епанчою, знаменитый французский философ Декарт, у ступенек домашней лестницы своей сидевший и на мрачный горизонт с превеликим вниманием смотрящий, — некий прохожий подступил к нему с вопросом: «Скажи, мудрец, сколько звезд на сем небе?» — «Мерзавец, — отвечивал сей, — никто необъятного объять не может».

Сии с превеликим огнем произнесенные слова возымели на прохожего желаемое действие.

(Гисторические материалы Федота Кузьмича Пруткова (деда)

«В только что приведенном разговоре Декарта с прохожим прохожий «вразумился» и успокоился. Но на самом деле в человеческой истории стремление «счесть звезды», иначе говоря, построить картину мира, никогда не давало людям покоя, и, как бы ничтожна ни была сумма людских знаний, всегда находились среди мыслящего человечества и любопытные прохожие и более, нежели Декарт, обходительные мудрецы, пытающиеся на основании постоянно ничтожных научных данных воссоздать картину мира.

В XX в. человек попытался снова, на основании тех сведений о мире, которые естествознание ко времени нашей эпохи накопило, создать общую картину мира, правда, мира чрезвычайно схематизированного и упрощенного, напоминающего настоящий мир лишь постольку, поскольку тусклое отражение в зеркале схематического рисунка Кельнского собора может напомнить нам сам собор...»

Такой была ситуация в 1926 г. Каково положение космологии среди других наук и какова ситуация в космологии в настоящее время, спустя сорок лет?

Безусловно, космология является наукой, которая самым тесным образом связана с общим мировоззрением человека.

Огромное значение имеет самый факт естественнонаучного рассмотрения проблемы Вселенной. К этой проблеме мы подходим с позиции законов физики, найденных в земных лабораториях и кабинетах теоретиков, и убеждаемся в применимости этих законов ко всей Вселенной, убеждаемся в отсутствии противоречий между известными нам законами природы и наблюдениями. Космология как никакая дру-

* В самое последнее время специальными измерениями показано, что излучение в различных направлениях различается меньше, чем на 0,1%, откуда следует, что указанная скорость меньше 300 км/сек.

гая наука укрепляет убеждение в силе человеческого разума, в объективности человеческого познания.

Можно сравнить ее роль с открытием атомной энергии и с практическим освоением космоса, которые дали доказательства практической силы человеческого разума и техники.

В одном ряду с этими достижениями астрономия и, более узко, космология вносит свой вклад в формирование научного, материалистического мировоззрения.

Наивно было бы сводить дело к тому, что в телескоп нигде не наблюдают бога, а Гагарин полетел и лично убедился в том, что бога нет: не вспоминает ли при этом читатель, как вел антирелигиозную пропаганду Остап Бендер?

Но в связи космологии и мировоззрения есть и другая сторона. Мировоззрение влияет на развитие космологии. В силу самой сложности вопроса, развитие этой науки в значительной мере идет так, что сперва делаются определенные априорные предположения, из них выводят с помощью математики и теоретической физики все следствия, а затем эти следствия сравнивают с наблюдениями. Начальный этап этой работы — формулировка предположений — тесно связан с мировоззрением.

Вместе с тем последний этап — сравнение с наблюдениями — корректирует ту субъективность, которая может заключаться в первом этапе.

Вся история космологии тесно связана с двумя априорными предположениями:

1) Пространственная однородность Вселенной, одинаковость ситуации в различных ее частях, отрицание «островной гипотезы» мира, окруженного пустотой, отрицание идеи о каком-то особом, выделенном, центральном положении нашей Земли, или Солнца, или Галактики.

2) Временная однородность, то есть неизменность Вселенной во времени, отрицание идеи эволюции Вселенной в целом. Казалось бы, эти два предположения близки по содержанию, некоторые авторы даже объединяли оба предположения, называя такое их объединение «идеальным, совершенным космологическим принципом».

Наблюдения показали, что первый принцип пространственной однородности подтверждается всеми имеющимися наблюдениями; до настоящего времени нет никаких противоречащих ему фактов.

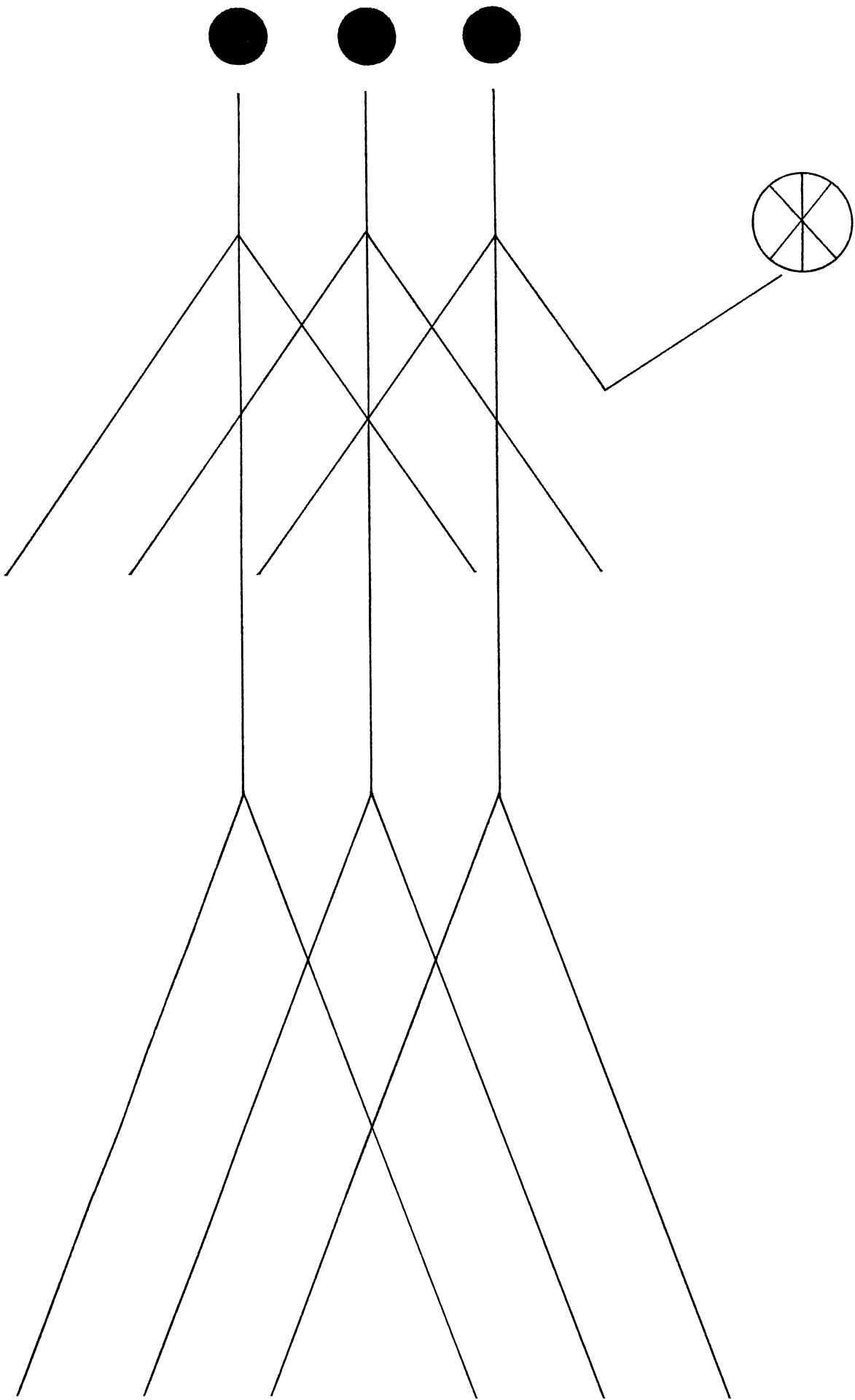
Второй принцип столь же решительно опровергается наблюдениями! Эволюция Вселенной несомненна, хотя и не все этапы ее известны. Надеюсь, что все предыдущее содержание статьи доказывает этот тезис.

Современный этап космологии характеризуется именно тем, что изучение природы дает ответ на наши самые смелые вопросы; необычайно расширился круг исследований; наряду с чисто геометрическими и механическими вопросами (как идет расширение) исследуются и ядерные реакции, и нейтрино, и спектры электромагнитного излучения. Эта широта подхода является источником огромного напряженного интереса и залогом больших открытий.

СИЛА И МОЩЬ НАУКИ БЕСПРЕДЕЛЬНЫ,
ТАК ЖЕ БЕСПРЕДЕЛЬНЫ
И ПРАКТИЧЕСКИЕ ЕЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
НА БЛАГО ЧЕЛОВЕЧЕСТВА.

А. Н. Крылов

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС





ЛЕОНИД ВИТАЛЬЕВИЧ КАНТОРОВИЧ (р. 1912) — математик, академик, заместитель директора Института математики АН СССР.

Родился в Ленинграде. В 1926 поступил на математическое отделение физико-математического факультета Ленинградского университета, которое закончил в 1930.

С 1930 работал в Ленинградском институте промышленного строительства в должности ассистента, с 1931 — доцента, с 1933 — профессора. Одновременно работал заведующим математическим отделом Института математики и механики Ленинградского университета. В 1935 получил степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации.

Первые научные работы (1927—1930) относятся к теории функций вещественной переменной и теории множеств. Первым и основным руководителем Л. В. Канторовича был заслуженный деятель науки, профессор Г. И. Фихтенгольц. В дальнейшем значительное влияние, личное и своими работами, оказали также академики В. И. Смирнов, С. Н. Бернштейн, А. Н. Колмогоров.

Работы 1931—1935 посвящены главным образом вопросам приближенного решения уравнений в частных производных, конформного отображения, интегральных уравнений.

Работы 1935—1940 относятся главным образом к функциональному анализу, среди них работа «Функ-

циональный анализ на основе теории полупорядоченных пространств», получившая первую премию на всесоюзном конкурсе работ молодых ученых (1938).

С 1939 начал работу в новом направлении — применение математических методов в технико-экономических и планово-экономических вопросах, что связано с новыми методами решения некоторых типов экстремальных проблем. В 1959 вышла книга «Экономический расчет наилучшего использования ресурсов», суммирующая результаты исследований Л. В. Канторовича в этой области за 18 лет.

В 1944 Л. В. Канторович начал цикл работ по применению функционального анализа в приближенных методах. Эти работы были удостоены I Университетской премии (1948) и Государственной премии (1949). С 1946 Л. В. Канторович работает в области машинной математики.

В 1958 Л. В. Канторович избран членом-корреспондентом АН СССР по Сибирскому отделению. В 1964 — действительным членом АН СССР. Л. В. Канторович является профессором Новосибирского государственного университета. В 1965 за работы в области математической экономики Л. В. Канторовичу присуждена Ленинская премия.

АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ ГОРСТКО (р. 1934) — математик, научный сотрудник Института математики Сибирского отделения АН СССР.

Родился в Харькове. В 1951 поступил на физико-математический факультет Харьковского государственного университета. После окончания университета в 1956 стал работать ассистентом в Радиотехнической академии, одновременно продолжая обучение в заочной аспирантуре под руководством профессора Г. И. Дринфельда. С 1960 начал первые работы по динамическому программированию. С 1962 работает в Институте математики СО АН СССР. В 1966 закончил кандидатскую диссертацию, посвященную исследованию на основе методов динамического программирования некоторых экстремальных задач размещения и управления производством. Участвовал в ряде советских и зарубежных конференций по применению математики в экономике. Всего им написано 13 научных работ.

ЛЕОНИД ВИТАЛЬЕВИЧ КАНТОРОВИЧ,
АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ ГОРСТКО

МАТЕМАТИКА В ЭКОНОМИКЕ

Наряду с традиционным применением математики в физике и естествознании в последние десятилетия чрезвычайно бурно развивается новая область ее использования — в общественных науках и, прежде всего, в экономическом анализе.

Пути применения математики здесь сходны с обычными путями при изучении естественнонаучных проблем. В их основе лежит построение математической модели (математического описания) изучаемого явления. На базе этой, более или менее абстрактной модели и проводится исследование интересующего нас круга вопросов. Переходя от сравнительно простых к весьма сложным, более точно описывающим реальную действительность моделям, можно все глубже и глубже постигать природу, внутренние механизмы изучаемого явления.

Новая область применения, естественно,

потребовала создания специальных математических методов.

Если проблемы естествознания, физики и техники послужили причиной развития классического математического анализа, то экономика создала новый комплекс математических дисциплин. Этот комплекс дисциплин может быть объединен общим названием — математическая экономика. В чем же специфика математической экономики? С полным правом ее можно сравнить с такими науками, как математическая физика и теоретическая механика. Как и там, предметом исследования являются математические модели, отражающие реальные ситуации. Разница же состоит в том, что эти модели порождены и связаны с определенными экономическими проблемами, описывают экономику предприятия, совхоза, народного хозяйства или экономические процессы в них.

Характерным для производственных задач является множественность, вариантность возможных решений: данную или эквивалентную в использовании продукцию можно получить различными способами, по-разному можно выбрать сырье, технологию, применяемое оборудование, организацию процесса. От принятой системы решений самым существенным образом зависит качество полученного плана — при меньших затратах может быть достигнут больший эффект и наоборот.

На первый взгляд может показаться, что при наличии нескольких возможных решений нужно просто рассмотреть все возможности и выбрать наилучшую. Но это только лишь на первый взгляд. Так как каждый план получается в результате сочетания элементарных производственных решений, то число таких комбинаций многократно умножается и оказывается настолько велико, что даже в сравнительно простых задачах перебор все возможных вариантов неосуществим и при использовании современных электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Вопросы нахождения наилучшего, оптимального плана играют особую роль в социалистическом обществе — обществе, наиболее полно удовлетворяющем потребности всех своих членов. Именно в нем, благодаря плановости хозяйства, общественной собственности на средства производства, может быть достигнуто наиболее полное и эффективное использование имеющихся и выделенных для производства ресурсов, обеспечивающее максимальный выпуск нужной продукции. Не удивительно поэтому, что именно в Советском Союзе возникла впервые настоятельная необходимость в создании математических методов, приспособленных специально для решения экономических задач, что именно у нас в конце 30-х годов было создано линейное программирование — математический аппарат, получивший наибольшую популярность в экономике — и начались первые работы по его практическому использованию.

Итак, применение математики в экономике, как, впрочем, и в любой другой области, оказывается возможным на основе создания математических моделей определенного круга явлений, к изучению которых прилагаются уже математические средства. Однако в связи с тем, что экономические явления нередко больше по своим масштабам (числу параметров, их взаимосвязям) и сложнее по структуре, чем естественнонаучные проблемы, моделирование их требует значительно больших усилий. Неизбежным поэтому оказывается последовательное улучшение моде-

лей, переход в результате анализа от более простых к более сложным. Важно подчеркнуть при этом, что математика ни в коей мере не вытесняет науку, для изучения которой она применяется. В ответ на высказывавшиеся некоторыми экономистами опасения по этому поводу в своем выступлении на Всесоюзной конференции 1960 г., где впервые встретились математики и экономисты, известный советский математик А. А. Марков метко ответил: «Я думаю, что опасность того, что математика как-то вытеснит экономику, не существует. Ведь математика не вытеснила механику, физику, хотя и применялась в них. Вытеснения не произошло, материя не исчезла в этих науках. Я уверен, что и при применении математических исследований в экономике материя не исчезнет, а, наоборот, ее станет больше, особенно в промтоварных магазинах».

При исследовании моделей современные методы математического оптимального программирования дают возможность эффективно строить и с помощью ЭВМ получать оптимальное решение даже при наличии сотен факторов (переменных), ограничений, различных целевых функций. Это позволяет адекватно отражать в модели многие стороны действительного процесса, получать ценные количественные и качественные выводы.

Остановимся теперь подробнее на одном из наиболее разработанных и широко применяемых на практике разделов математического программирования — линейном программировании.

История его начинается с 1938 г., когда одним из авторов этой статьи в порядке научной консультации было предпринято изучение чисто практической задачи — выбора наилучшей производственной программы загрузки лущильных станков для фанерного треста. Оказалось, что эта задача носит своеобразный характер и не поддается решению известными средствами классического математического анализа. Стало ясно и то, что эта задача не случайная, изолированная, а является типичным представителем целого нового класса задач, к которым приводят вопросы нахождения наилучшего производственного плана. Поэтому-то решение этой задачи представилось столь интересным, и найденный новый метод ее эффективного решения сразу нашел разнообразные применения.

Дальнейшее изучение этого круга задач и методов их решения привело к созданию новой теории, бурно развивающейся у нас в стране и за рубежом. Особенно интенсивно развиваются теоретические аспекты и прак-

тические приложения математических методов в экономике США. Немалая заслуга в этом всемирно известного математика Джона фон Неймана, известных эконометриков Т. Купманса, Д. Гейла, Дж. Данцига и В. Леонтьева, работающих по математической экономике и получивших много новых и важных результатов в этой области. В настоящее время библиография работ по линейному программированию насчитывает многие тысячи названий.

Основной идеей линейно-программной модели является рассмотрение производственного плана в расчлененной форме, составленным из элементарных производственных способов.

Каждый способ (производственный процесс) описывается вектором, компоненты которого означают (в зависимости от знака) нормы выхода или затрат определенного вида продукции, труда, оборудования и т. п. Совокупность всех способов записывается в виде таблицы чисел (матрицы), содержащей основную исходную информацию об исследуемой модели.

В линейном программировании принимается, в соответствии с его названием, гипотеза линейности: предполагается, что каждый производственный процесс может быть применен с любой кратностью (интенсивностью), что при этом выход продукции и затраты увеличиваются пропорционально, а также, что результаты различных процессов суммируются. Каждый план представляется тогда в виде набора некоторого числа основных способов, примененных с той или иной интенсивностью. Эти интенсивности (переменные) должны быть определены с учетом необходимых ограничений. Например, чтобы расходование труда, сырья, оборудования не превосходило наличных или предоставленных ресурсов, либо чтобы были обеспечены намеченные объемы выпуска продукции. При этом ставится задача оптимизации плана, то есть, чтобы план был в известном смысле наилучшим — его результаты при определенных условиях достигались бы с наименьшими затратами, или при данных затратах и ресурсах получался бы максимальный выпуск продукции нужного состава. Таким образом, в задачу входит еще целевая функция, максимум или минимум которой реализуется как раз при оптимальном плане.

После такого весьма общего описания поясним на конкретном примере задачи плоского раскроя путь построения линейно-программной модели и возможные подходы к решению задачи раскроя.

Задача раскроя. Из листов материала размером $2,5 м \times 1,2 м = 3,0 м^2$ нужно выкроить следующий набор заготовок, израсходовав при этом возможно меньшее количество материала.

Тип заготовки	Количество штук	Размеры заготовки
А	4000	$1,1 \times 0,6$
В	6000	$0,5 \times 0,4$
С	2000	$1,6 \times 1,1$
Д	2000	$1,1 \times 0,5$

На рис. 1 изображены исходный лист материала, выкраиваемые из него заготовки, а также некоторые возможные способы раскроя (карты раскроя). Числами v_i обозначены потери материала при каждом раскрое.

Легко видеть, что каждый лист материала можно раскраивать различными, более или менее удачными способами, получая, соответственно, больше или меньше различных заготовок.

Несомненно, что без всякой математики, пользуясь лишь шаблонами, вырезанными по форме заготовок, здравым смыслом и терпением каждый человек мог бы получить те же способы раскроя. Вопрос совсем не в том. А вот какие способы применить и для какого количества листов их использовать — это вопрос, при решении которого без математики не обойтись. Конечно, есть снова возможность использовать полный перебор всех мыслимых способов (так сказать, применить грубую силу), но на этом пути придется встретиться с астрономическими числами проб, с которыми не совладают и современные ЭВМ.

Как всегда, использование математики влечет за собой появление формул. Итак, обозначим через x_i количество листов материала, раскраиваемого по i -му способу. Пусть числа a_i, b_i, c_i и d_i обозначают соответственно количество заготовок типа А, В, С, Д, получаемых при использовании i -ой карты раскроя. Например, для первой карты $a_1 = 1, b_1 = 0, c_1 = 1, d_1 = 0$, а вся матрица способов имеет вид

Таблица 1

Заготовки	Номера способов																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
А	1	0	0	4	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2
В	0	2	5	0	0	4	0	8	5	0	2	0	3	6	9	12	15	8	11	2
С	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Д	0	1	0	0	1	0	2	0	1	2	3	5	4	3	2	1	0	1	0	2

Используя введенные математические обозначения, можно дать теперь такую математическую формулировку интересующей нас задачи: найти минимум линейной функции, выражающей число израсходованных листов материала

$$L(x_1, x_2, \dots, x_{20}) = x_1 + x_2 + \dots + x_{20}$$

при условии, что переменные x_i удовлетворяют следующим ограничениям:

$$\begin{aligned} \text{I. } & a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{20}x_{20} \geq 4000 \\ & b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_{20}x_{20} \geq 6000 \\ & c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_{20}x_{20} \geq 2000 \\ & d_1x_1 + d_2x_2 + \dots + d_{20}x_{20} \geq 2000 \end{aligned}$$

(все необходимые заготовки сделаны в нужном числе);

$$\text{II. } x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_{20} \geq 0$$

(никаким образом нельзя раскрыть отрицательное число листов материала).

Таким образом мы пришли к задаче линейного программирования: найти минимум линейной формы при линейных ограничениях.

Для того чтобы сделать ясным способ решения этой задачи, мы вначале подробно разъясним его для случая, когда выкраиваются заготовки только двух типов А и В.

В этом случае можно использовать наглядную геометрическую иллюстрацию. Решение полной задачи будет приведено позднее.

Итак, если выкраиваются только заготовки А и В, матрица способов имеет вид

$$\begin{matrix} M_1 & M_2 & M_3 & M_4 & M_5 \\ \begin{pmatrix} 4 & 3 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 4 & 8 & 15 & 11 \end{pmatrix}, \end{matrix} \quad (2)$$

то есть сохраняются 4-й, 6-й, 9-й, 17-й и 19-й способы, а задача сводится к следующей: найти $\min \{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5\}$ при условиях

$$1. \quad 4x_1 + 3x_2 + 2x_3 + x_5 \geq 4000$$

$$4x_2 + 8x_3 + 15x_4 + 11x_5 \geq 6000$$

$$2. \quad x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_3 \geq 0, x_4 \geq 0, x_5 \geq 0.$$

Сделаем следующее вспомогательное построение.

Начертим прямоугольную систему координат XOY и каждому возможному раскрою поставим в соответствие точку, у которой координата x равна числу заготовок типа А, получаемых при этом раскroе, а координата y — числу получаемых заготовок типа В.

Обозначим эти точки буквой М с индексом, равным номеру раскроя. Например, первому раскрою соответствует точка M_1 (см. рис. 2).

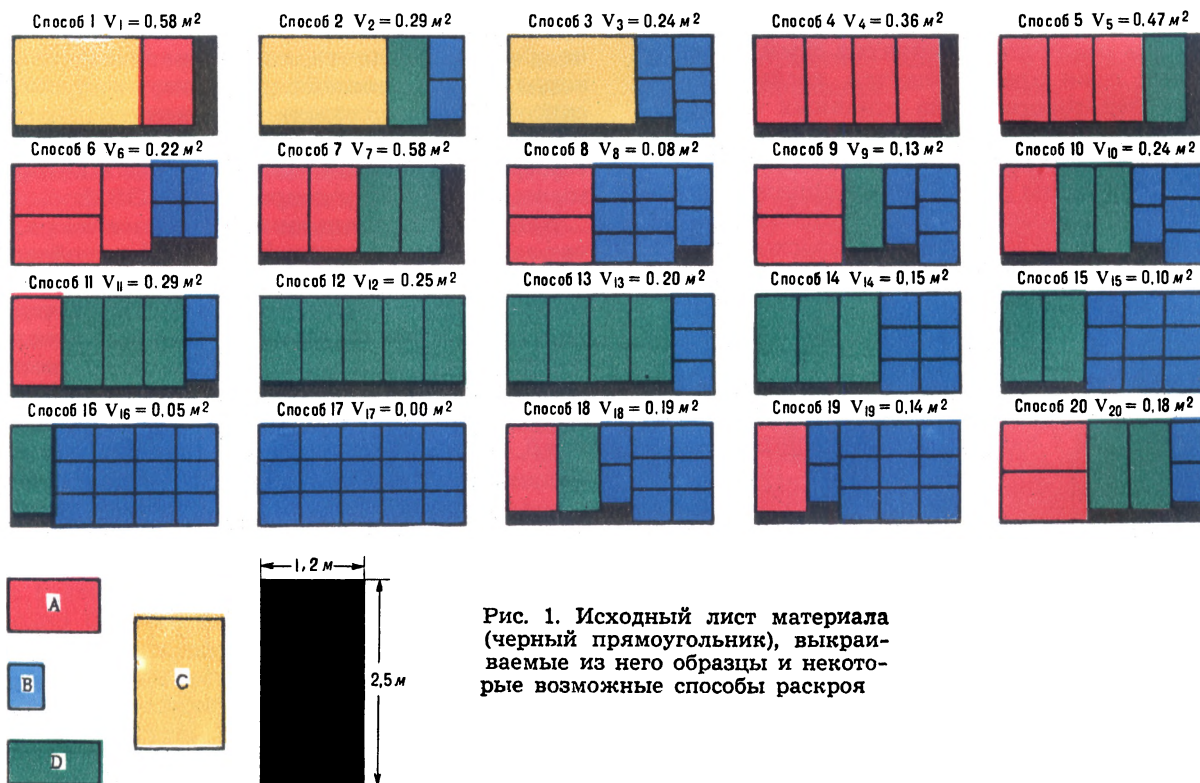


Рис. 1. Исходный лист материала (черный прямоугольник), выкраиваемые из него образцы и некоторые возможные способы раскроя

Легко видеть, что точки на отрезке M_2M_3 указывают своими координатами количество заготовок типа А и типа В, получаемых в среднем из одного листа материала в различных планах раскроя, представляющих комбинацию раскроев M_2 и M_3 . Можно доказать, что множество всевозможных планов раскроя, представимых в виде комбинаций раскроев M_1, M_2, M_3, M_4 и M_5 , изображается точками выпуклого многоугольника $OM_1M_2M_3M_4$. Все эти осуществимые планы называются допустимыми, а многоугольник $OM_1M_2M_3M_4$ называется многоугольником допустимых планов. Из всех допустимых планов нас интересуют лишь те, для которых выполнено условие комплектности, то есть отношение числа заготовок типа А к числу заготовок типа В соответствует заданному и равняется $2/3$ (4000:6000). Ясно, что геометрически эти планы изображаются точками, лежащими на луче ON . Такие планы называются ассортиментными.

Наиболее экономным, оптимальным планом раскроя будет тот, которому соответствует точка, принадлежащая одновременно многоугольнику и лучу и имеющая наибольшие координаты, то есть соответствующая

плану, дающему наибольший выход заготовок на один лист. Такой является точка P_1 — точка пересечения луча с границей многоугольника $OM_1M_2M_3M_4$. Так как точка P_1 принадлежит отрезку M_2M_3 , можно сделать заключение, что оптимальный план представляется комбинацией раскроев M_2 и M_3 . Обозначим через z ту часть материала, которая кроится по раскрою M_2 ; остальная часть $1-z$ кроится по M_3 . Из условия комплектности (см. табл. 2) следует, что

$$\frac{3z + 2(1-z)}{4z + 8(1-z)} = \frac{2}{3},$$

то есть $z = \frac{10}{11}$. Этот же результат можно было получить чисто геометрически, заметив (см. рис. 2), что

$$\frac{M_3P_1}{M_3M_2} = \frac{10}{11}.$$

Искомое минимальное число листов материала находится из условия выполнения неравенства 1:

$$\frac{10}{11}L \cdot 3 + \frac{1}{11}L \cdot 2 \geq 4000$$

$$\frac{10}{11}L \cdot 4 + \frac{1}{11}L \cdot 8 \geq 6000.$$

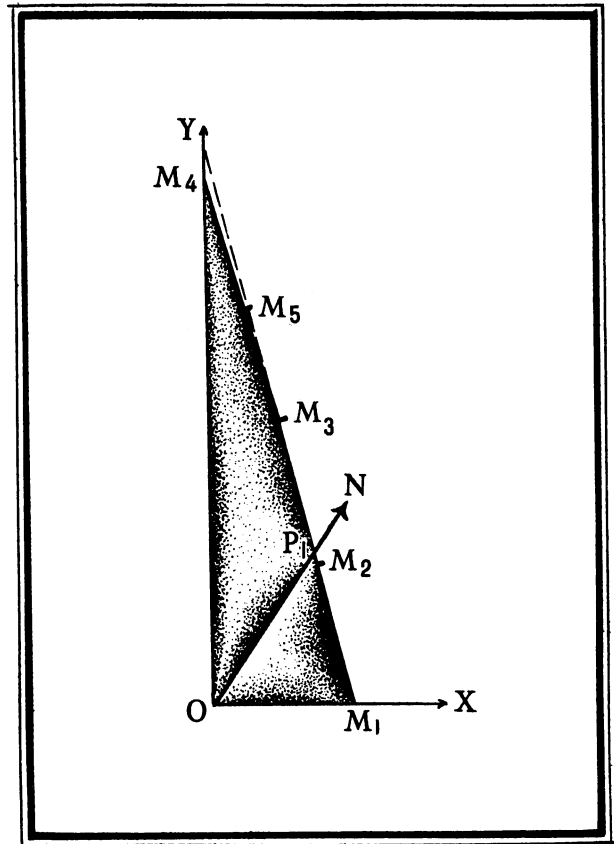


Рис. 2. Геометрическая иллюстрация решения задачи раскроя заготовок двух типов

352 Итак, минимальное необходимое число листов материала L равно $\frac{4000 \times 11}{32} = 1375$. Оптимальный план раскроя состоит в том, что 1250 листов кроются по раскрою M_2 ($x_2=1250$), а 125 листов — по раскрою M_3 ($x_3=125$).

Если бы количество типов заготовок было больше двух (например, 4, как в исходной задаче), то такой графический способ решения оказался бы слишком сложным, практически трудно реализуемым, так как для изображения множества допустимых планов потребовалось бы построить многогранник в четырехмерном пространстве. Для решения задачи в этих случаях на помощь приходят аналитические методы и, в частности, эффективный метод оценок, особых показателей, характеризующих оптимальный план.

Что же такое оценки? Это некоторые расчетные цены для единицы каждого вида продукции и затрачиваемых производственных факторов (например, в данной задаче 1-й заготовки, 1 м^2 исходного материала и т. п.), связанные с оптимальным планом, объективно обусловленные им. Оценки позволяют производить сопоставления разнокачественных затрат и результатов по одному показателю — влиянию на целевую функцию.

Указанные величины — оценки — играют очень большую роль. Прежде всего, с их помощью удастся сформулировать критерий оптимальности решения задачи линейного программирования.

Иными словами, оказывается возможным для любого допустимого плана сказать, оптимален ли он без сравнения со всеми остальными возможными планами.

Сто лет назад

США

В г. Сан-Луи окончена постройкой самая большая гостиница в мире. Восьмизэтажный дом имеет 528 комнат, 32 мили электрической проволоки, 12 миль паровых и водопроводных труб, два паровых подъемника для поднятия вещей и дров. На постройку этого громадного здания пошло 8 миллионов кирпичей.

«Биржевые ведомости»,
5 января 1866 г.



Не вдаваясь в математические детали, можно сказать, что экономический смысл критерия оптимальности состоит в следующем: для оптимального плана всегда имеются такие оценки (или цены), что скалькулированная по ним результативная эффективность способа равна 0 для используемых способов и ≤ 0 для неиспользуемых. Иначе говоря, во всех используемых способах соблюдается условие рентабельности (результаты оправдывают затраты), а во всех отброшенных способах оценки затрат не меньше оценки произведенной продукции, то есть их применение нерентабельно, точнее не более рентабельно, чем применяемых способов.

Вернемся к нашей задаче и поясним значение оценок на ней. Покажем, как с помощью описанного критерия убедиться, что найденный план (1250 листов кроются по способу M_2 и 125 — по способу M_3) действительно оптимален. Введем расчетные цены, оценки для 1 м^2 раскраиваемого материала и для каждой из заготовок, обозначив их, соответственно, через u , v , w . Если удастся найти эти величины так, чтобы используемые способы оказались рентабельными, то план оптимален. Условия рентабельности запишутся так:

$$\begin{aligned} -3u + 3v + 4w &= 0 \\ -3u + 2v + 8w &= 0. \end{aligned}$$

(Поясним, например, первое из них. Оно означает, что затраты одного листа материала площадью 3 м^2 каждый по цене u за 1 м^2 должны компенсироваться полученными результатами при раскросе по способу M_2 тремя заготовками типа А по цене v и четырьмя заготовками типа В по цене w ; способ же применяется к 1250 листам.)

Так как два уравнения содержат три неизвестных, то значение одного из них можно выбрать произвольно (важно соотношение оценок, а не их абсолютное значение!) Пусть $u=16$. Тогда можно подсчитать, что $v=12$, а $w=3$. Сумма оценок заготовок, получаемых из одного листа материала, в каждом из двух применяемых раскросов одинакова и равна 48.

В то же время, если мы возьмем неиспользуемые способы (раскрои) (см. табл. 2), то для них оценка продукции \leq оценки затрат:

$$\begin{aligned} 4 \times 12 + 0 \times 3 &= 48 = 48 \\ 0 \times 12 + 15 \times 3 &= 45 < 48 \\ 1 \times 12 + 11 \times 3 &= 45 < 48 \end{aligned}$$

Таким образом, данный план допустим и имеются согласованные с ним оценки. Это значит, согласно высказанному общему критерию оптимальности плана, что более экономного плана быть не может.

Отметим, что оценки имеют и простой геометрический смысл, который позволяет дополнительно разъяснить наш критерий. Уравнение прямой M_2M_3 на рис. 2 может быть записано следующим образом:

$$12x + 3y = 48.$$

Отсюда ясно, что коэффициенты уравнения совпадают с оценками, а свободный член равен сумме оценок заготовок, получаемых из одного листа. Для остальных способов раскроя, так как изображающие их точки лежат левее прямой M_2M_3 , эта сумма всегда будет меньше или равна 48.

Приведенный критерий дает, таким образом, возможность проверки плана «на оптимальность» без сопоставления его с другими. Достаточно построить для него оценки и по ним сравнить продукцию и затраты в используемых способах. Если план не оптимален, то будет установлено, за счет каких изменений он может быть улучшен. Систематизированное проведение такого рода проверок и улучшений лежит в основе наиболее эффективных алгоритмов (приемов) построения оптимального плана. При небольшом числе переменных эти алгоритмы могут быть реализованы вручную, в более сложных случаях алгоритмы реализуются на ЭВМ. При этом, поскольку методы линейного программирования имеют алгоритмический характер, — характер точных предписаний, они непосредственно подготовлены для записи с помощью машинных команд (машинной программы), что делает их особенно удобными для расчета на машинах. Это существенно облегчает практическое приложение данных методов.

Вернемся к решению поставленной задачи о раскрое в полном объеме и обсудим возможные подходы к ее решению. Как уже указывалось, геометрический способ решения в этом случае связан с чрезмерно большими трудностями. Наиболее простой и весьма не точный способ, который все еще применяется в производстве, состоит в выборе «на глаз» способов раскроя, кажущихся целесообразными. Число листов материала определяется тогда возможностью получить необходимое число заготовок каждого типа. Например, возможный план раскроя состоит из способов 1, 4, 12, 17. По ним раскраиваются, соответственно, 2000, 5000, 400 и 400 исходных листов материала.

Гораздо более точен аналитический метод, который приводит к другому решению. Так же как и в упрощенной задаче, с помощью критерия оптимальности можно убедиться, что оптимален следующий план: по 2-й карте раскроя кроится 1500 листов, по

3-й — 500, по 4-й — 875 и по 20-й — 250 листов, всего 3125 листов. Оценки находятся из условий рентабельности, которые записываются аналогично условиям рентабельности в упрощенной задаче:

$$3u_1 = u_4 + 2u_3 + u_5$$

$$3u_1 = 5u_3 + u_4$$

$$3u_1 = 4u_2$$

$$3u_1 = 2u_2 + 2u_3 + 2u_5.$$

Полагая одну из оценок u_1 — цену 1 м² материала — равной 1, из системы уравнений, выражающих эти условия, находим и остальные оценки: $u_2 = 0,750$; $u_3 = 0,187$; $u_4 = 2,062$; $u_5 = 0,562$. Потери при этом плане раскроя составляют 457,7 м², то есть примерно 9,8%. (Сравните: план, найденный «на глаз», казался хорошим, требовал 3300 листов и давал потери в 14,5%).

Заметим попутно, что найденные нами оценки приближенно равны площадям заготовок, но не совпадают с ними, даже не пропорциональны им. Они характеризуют расход материала, с которым связано изготовление каждой заготовки в данных конкретных условиях, и нормы затрат на заготовку в этой обстановке. Поэтому они представляют, так сказать, «внутренние» цены этих заготовок в условиях данного производства. При небольших вариациях в плане, то есть в случае несколько другого состава продукции или ресурсов, замена одной заготовки другой совершается именно в соответствии с найденными оценками, определяющими их относительную ценность. В процессе планирования как бы происходит своеобразный обмен без торговли. Например, заготовки А и В могут обмениваться в отношении 1 : 4.

Решая задачу о раскрое, мы с помощью



критерия оптимальности лишь убеждались в том, что некоторый план оптимален. Этот же критерий лежит в основе одного из методов линейного программирования — метода последовательного улучшения плана, дающего возможность эффективно находить оптимальный план. По сути метод состоит в том, что, руководствуясь оценками, в план включаются рентабельные и исключаются нерентабельные способы, а также определяются их интенсивности. При этом происходит переход обязательно от «худшего» плана к «лучшему», конечно, если это возможно. В противном случае решение прекращается. Если оценки показывают, что найденный план не может быть улучшен, то он и является оптимальным. Та же идея последовательного улучшения плана лежит в основе разработанного в 1948 г. американским математиком Дж. Данцигом вычислительного метода линейного программирования, получившего название симплекс-метода, который весьма широко применяется в практике.

Описанный выше аналитический способ решения представляет, конечно, не только теоретический интерес, но и имеет большое практическое значение. Внедрение рационального раскроя материалов, рассчитанного методами математического программирования, заметно повышает коэффициент использования материалов, упрощает снабжение. Например, вагоноремонтный завод им. Егорова в Ленинграде, где такой раскрой был введен 15 лет тому назад, до сих пор остается лучшим по использованию металла в Ленинградском экономическом районе. Отметим,

что работа, проведенная на этом заводе, представляет, по-видимому, один из первых в мире практических опытов применения методов линейного программирования.

В последнее время в Институте математики СО АН СССР сделан дальнейший шаг в развитии методов рационального раскроя. На основе математических методов (линейного и динамического программирования) и ЭВМ автоматизирован не только процесс комбинирования раскроев, но и нахождения самих схем раскроя. Это должно облегчить возможность широкого внедрения их в производство.

В предыдущем изложении мы неоднократно подчеркивали роль оценок для решения задач линейного программирования. Однако дело не исчерпывается тем, что с помощью оценок формулируется критерий оптимальности. Сам факт наличия оценок, связанных с оптимальным планом в планово-экономической модели любого масштаба, позволяет обосновать важный вывод о возможности добиться соответствия интересов отдельных участков и хозяйства в целом с помощью чисто экономических средств — системой стимулирования и правильных уровней цен. Именно с помощью оценок можно добиться согласования конкретных действий на местах с общим народнохозяйственным планом. Поясним эту мысль на примере. Цех заинтересован в экономии металла. Если нормы затрат материала на заготовки будут установлены в соответствии с рассчитанными объективно обусловленными оценками, то заготовительные участки смогут выдавать заготовки в нужной пропорции, соблюдая нормы расхода. Если же нормы будут установлены иначе, то некоторые заготовки будут делать выгоднее и, получая на них видимую экономию металла, их станут делать в излишнем количестве, а другие нужные заготовки будут недодавать.

Таких примеров можно привести множество, притом для самых различных уровней экономической системы.

Укажем еще несколько математических моделей, описывающих конкретные экономические ситуации в рамках линейного программирования. Прежде всего упомянем задачу о распределении производственной программы («задача фанерного треста»), которая в свое время послужила первым толчком к развитию линейного программирования.

Пусть имеется m производственных участков, на которых производится n продуктов, выпускаемых в определенном ассортиментном наборе.

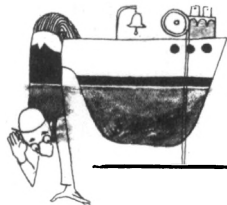
Можно считать, что все они требуются в равном количестве, случай любого ассорти-

Сто лет назад

ЛИОН

Инженер Годуен изобрел инструмент для производства верных промеров на больших глубинах. Недостаток доселе употребляемых аппаратов заключается в невозможности определить точную минуту, в которую свинец коснется дна. В аппарате Годуена две изолированные проволоки соединяются одним концом с опускаемым в воду свинцом, другим — с полюсами гальванической батареи. При прикосновении свинца ко дну проволоки приходят в соприкосновение и приводят в движение колокольчик.

«5 и р же в ы е в е д о м о с т и»,
26 февраля 1866 г.



ментного набора сводится к этому при надлежащем выборе масштабов.

Пусть i -й производственный участок, будучи поставлен на производство j -го продукта, выпускает в единицу времени количество его, равное a_{ij} . Обозначим через h_{ij} долю рабочего времени i -го участка, затрачиваемую на выпуск j -го продукта. Тогда задача о выборе производственной программы, позволяющей выпускать максимальное число ассортиментных наборов, сводится к следующей: при условиях

1. $h_{ij} \geq 0$ (рабочее время не может быть отрицательным),

2. $\sum_{j=1}^n h_{ij} \leq 1$ (продолжительность рабочего дня фиксирована),

3. $\sum_{i=1}^m a_{i1} h_{i1} = \sum_{i=1}^m a_{i2} h_{i2} = \dots = \sum_{i=1}^m a_{in} h_{in} = \mu$ (все

продукты выпускаются в равных количествах), найти максимум μ — числа выпускаемых наборов продукции.

Так же как в задаче о раскрое, если ввести объективно обусловленные оценки продукции и времени занятости участков, то оптимальный план здесь содержит лишь наиболее рентабельные способы производства, то есть каждый участок используется для тех видов продукции, оценка часовой продукции которых на нем будет наивысшей. Для того чтобы предприятия были заинтересованы в выпуске именно заданного ассортимента, необходимо оценивать выпускаемые продукты (точнее выработку их) именно пропорционально их оценкам в оптимальном плане, а не как-нибудь иначе. Экономические рычаги, построенные по этим принципам, позволяют совместить интересы каждого отдельного предприятия с интересами общества в целом.

В качестве примера практического применения этой модели можно упомянуть проведенный в Институте математики СО АН СССР совместно с металлургами расчет рациональной загрузки прокатных станков СССР. Оказалось, что на имеющемся оборудовании за счет правильного перераспределения заказов по данной группе проката можно получить его на 5—6% больше, чем это делалось до сих пор, при этом объем перевозок также не увеличился. Эта работа находится на стадии внедрения.

Та же математическая модель с успехом используется, в частности, в работах нашего математико-экономического отдела для решения задач размещения сельскохозяйственного производства — наиболее рационального распределения различных посевных площадей

между сельскохозяйственными культурами. Эта задача может ставиться как для отдельного хозяйства, так и для целой области или республики. В последнем случае в результате решения получается не только целесообразный план размещения, но и данные для такого установления дифференциации цен и платежей, чтобы в каждом районе наиболее рациональные для посева культуры оказывались и наиболее выгодными.

Очень часто при решении экономических и плановых задач удается пользоваться моделью транспортной задачи. Суть этой задачи такова. Имеется несколько пунктов с заданными объемами производства некоторого продукта и несколько пунктов потребления этого продукта также с заданными объемами потребления. Известны затраты на перевозку продукта из пунктов производства в пункты потребления. Требуется указать, сколько, откуда и куда нужно перевезти продукта, чтобы суммарные затраты на перевозки были минимальны.

На основе той же идеи обусловленных оценок даны эффективные методы решения, в частности весьма распространен предложенный нами еще в 1940 г. метод потенциала.

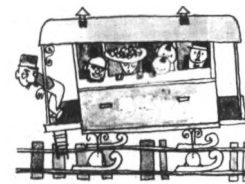
Известно уже очень много примеров практического использования этой модели. А вот характерный пример, подтверждающий возможность гармонического сочетания личных и общественных интересов. В одном из автохозяйств проводился эксперимент по введению наилучшей маршрутизации автотранспорта. При этом шоферы, ездившие по оптимальным маршрутам, найденным с помощью

Сто лет назад

АНГЛИЯ

Здесь производятся опыты над новым способом железнодорожного сообщения, при котором вагоны не имеют колес, а снабжены во всю свою длину коньками, которые скользят по маленьким желобам, наполненным водой, благодаря чему значительно уменьшается трение, а следовательно, и сопротивление движению. Таким образом, при применении гораздо меньшей паровой силы можно будет перевозить весьма значительные тяжести.

«Иржевые ведомости»,
19 июля 1866 г.



математики (методом потенциалов), должны были иметь на своих машинах флажки. Через несколько дней после начала эксперимента шоферы наглухо припаяли флажки к машинам, так как они хотели и дальше ездить по «математическим» нарядам: это оказалось наиболее выгодно для каждого из них.

В транспортной задаче, относящейся к территории страны, оценки приобретают особенно прозрачный экономический смысл. Здесь они выступают как локальные (поясные) цены, создающие заинтересованность в правильном рациональном снабжении. Рассмотрим, например, транспортную задачу в конкретных условиях, приведенных на рис. 5. Пункты производства на нем обозначены прямоугольниками, пункты потребления — кружками, а промежуточные пункты — треугольниками. Числа в скобках со знаком плюс указывают объемы производства, а со знаком минус — потребления; числа, стоящие возле участков пути, выражают транспортные затраты по перевозке единицы продукта между соответствующими пунктами. В результате решения, которое мы не будем приводить здесь, можно найти рациональные грузопотоки, а также найти систему оценок — потен-

циалов, выражающих цену единицы продукта в различных пунктах, включая обусловленную планом (рациональную) транспортную наценку.

На рис. 5 числа, стоящие у вертикальных отрезков, равны потенциалам, а стрелки на контуре указывают направление рациональных перевозок.

Из этой схемы наглядно видна замечательная согласованность между оптимальным планом и ценами, установленными в соответствии с объективно обусловленными оценками (в данном случае потенциалами). Для рациональных путей перевозок (указанных в плане стрелками) разность цен в точности совпадает с затратами на перевозку, то есть такие рациональные перевозки оправданы — выгодны (например, для пунктов 2 и 6: $1090 - 1050 = 40$ — затраты по перевозке). Напротив, те перевозки, которые нерациональны в данных условиях и не рекомендованы в плане, оказываются невыгодными — прирост в цене меньше транспортных затрат (например, перевозка из пункта 1 в пункт 8 явно невыгодна, так как транспортные затраты равны 500, а разность цен: $1420 - 1170 = 250 < 500$). Таким образом, математическая модель по-

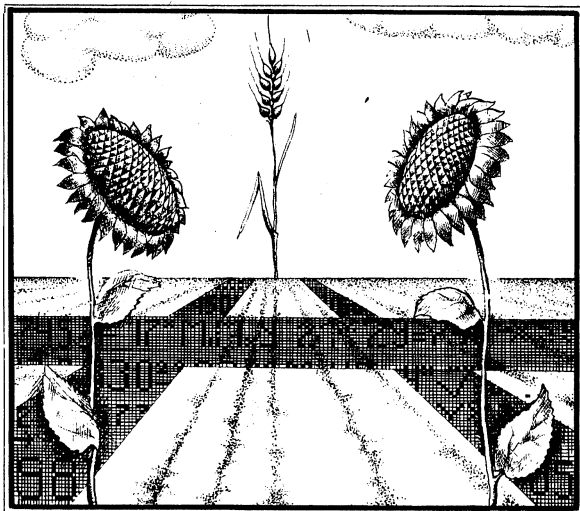


Рис. 3. Математическая модель с успехом используется в задачах наиболее рационального распределения различных посевных площадей между сельскохозяйственными культурами

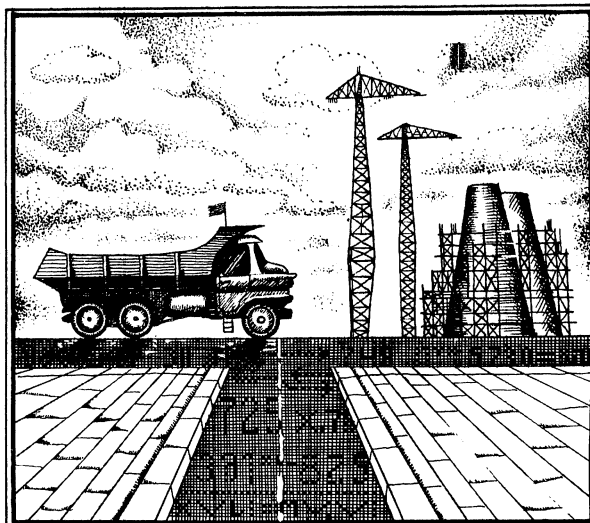


Рис. 4. Применение математики дает возможность вводить наилучшую маршрутизацию автотранспорта

звонит найти не только сам оптимальный план производства и транспортировки, но и способы построения экономических показателей (цен, платежей, нормативов прибыли), которые делают выгодным систематическое применение этих оптимальных решений в хозяйственной деятельности.

На первый взгляд может показаться, что транспортная модель линейного программирования описывает сравнительно узкий круг вопросов, относящихся, как показывает само название, к рациональным перевозкам. Однако это не так.

Эта математическая формулировка охватывает многие задачи, относящиеся к наилучшему размещению производства: на основе ее были рассчитаны планы развития на пятилетку многих производственных отраслей, в частности, топливно-энергетический баланс. Такие расчеты разрабатываются в институтах математики, экономики и энергетическом СО АН, а также в ЦЭМИ; к той же формулировке приводится и ряд других вопросов. Впрочем, это не удивительно. Давно известно, что одна и та же математическая модель может иметь прообразом совершенно различные реальные ситуации. Для лишнего под-

тверждения этих слов мы приведем пример чисто развлекательной задачи, рассматривавшейся американским математиком Халмошем и так же укладывающейся в рамки транспортной.

Пусть имеется группа, состоящая из десяти холостяков и десяти потенциальных невест. После короткого периода ухаживания они решают сочетаться браком. Известна ожидаемая «мера счастья» от союза любого холостяка с любой невестой. Задача состоит в таком распределении холостяков между невестами, чтобы общая «мера счастья» для всей группы была максимальной.

Оказывается, что математическая формулировка этой задачи приводится к частному случаю транспортной задачи, носящему название задачи о назначениях, а указанная ее спецификация так и известна в литературе как «Marriage Problem» (брачная проблема).

В модель транспортной задачи «укладываются», как говорят математики, и многие задачи бурно развивающегося сейчас у нас и за рубежом сетевого планирования. Несколько слов о нем. Сетевое планирование возникло из-за необходимости решать планово-экономические и организационные задачи в дина-

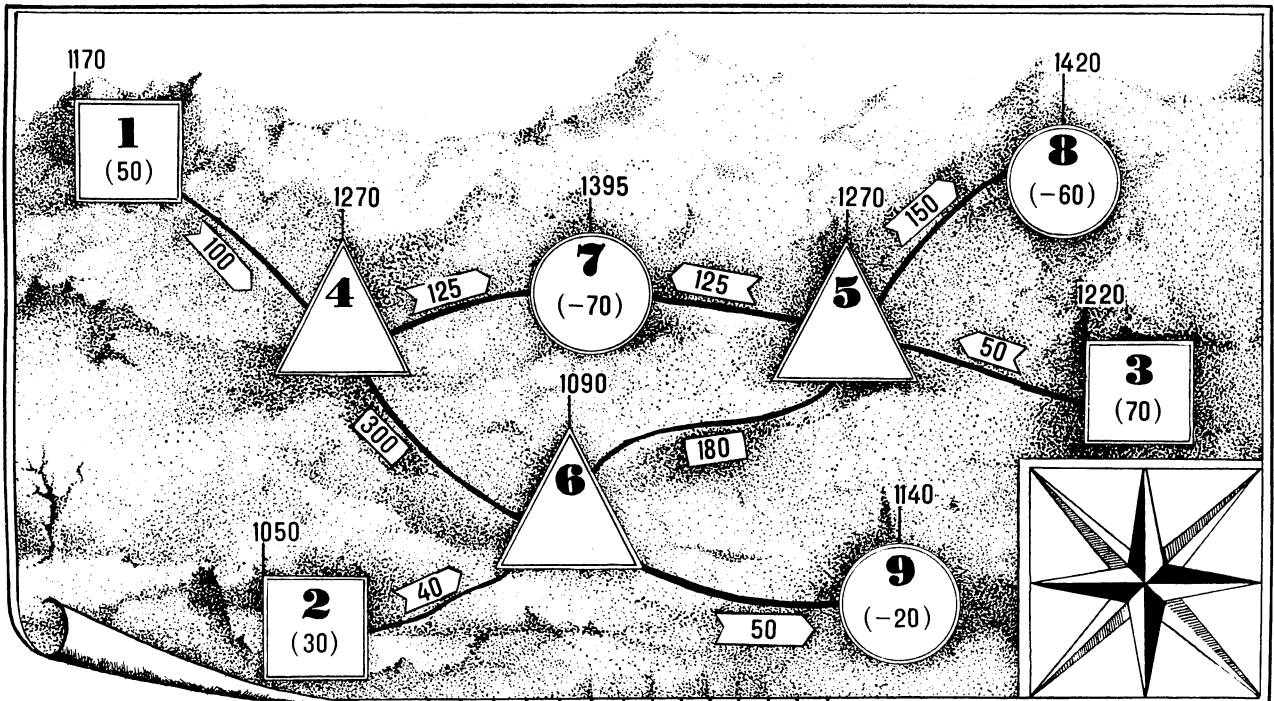


Рис. 5. Графическое изображение транспортной задачи

мике. Типичный пример его применения — строительство какого-нибудь сложного агрегата, производственного комплекса. Представляется ли возможным сократить сроки строительства или снизить его стоимость, учитывая необходимую последовательность работ и их продолжительность? Где в данный момент «узкое место» и какие резервы туда нужно направить? На эти и многие другие вопросы успешно дают ответы методы сетевого планирования. А математическая основа у них по сути та же — транспортная задача линейного программирования. Только целевая функция выражает теперь не затраты по перевозкам, а затраты времени.

Однако задачи сетевого планирования представляют лишь один тип, где находит отражение динамика экономических процессов. В Институте математики СО АН уже ряд лет ведется систематическое исследование оптимальных динамических моделей линейного программирования, моделей сбалансированных на каждый год планируемого периода, ставящих целью не только оптимальное функционирование экономики, а и оптимальное ее развитие. В настоящее время их изучение проводится и в других научных учреждениях. Эти модели особенно важны для планируемой экономики социалистического государства, так как на их базе может осуществляться научно обоснованное и наиболее эффективное перспективное планирование развития отдельных отраслей и народного хозяйства в целом. Характерной особенностью динамических моделей является необходимость различать одну и ту же продукцию, но в разные периоды. Например, нефть, добытую в 1960 г., и нефть, добытую в 1970 г., следует рассматривать как разные виды продукции.

И в этом случае могут успешно применяться методы линейного программирования, однако, в соответствии со сказанным, увеличиваются размерность задачи (число переменных) и объем матрицы, содержащей исходную экономическую информацию. Здесь полезно отметить, что при решении больших задач оптимального планирования, относящихся к большому хозяйственному комплексу, а тем более к народному хозяйству в целом, исходная информация подготавливается не одним лицом и даже не одной организацией. Большое достоинство линейно-программной модели в том, что отдельные части матрицы, содержащие информацию, относящуюся к различным отраслям и специальным технологиям, могут подготавливаться различными компетентными учреждениями. Объ-

единение же частей матрицы происходит в процессе решения, когда с помощью ЭВМ отыскивается оптимальный перспективный план. Характерным примером динамической задачи, важность которой трудно переоценить, является анализ эффективности капиталовложений, вопрос измерения разновременных затрат и их результатов в народном хозяйстве. Работу в этой области начал в конце 30-х годов и продолжает поныне выдающийся советский экономист В. В. Новожилов, применивший в своих исследованиях аппарат линейного программирования сразу после его создания.

По мере развития линейного программирования выявлялись экономические проблемы, «не укладывавшиеся» в его жесткие рамки. Эти проблемы стимулировали развитие новых направлений. Так возникли стохастическое программирование (учитывающее, что параметры исследуемой задачи, особенно относящиеся к будущему, — неопределенны, случайны), целочисленное программирование (некоторые объекты неделимы — решение обязательно должно выражаться целыми числами), нелинейное программирование, учитывающее нелинейный характер некоторых зависимостей. Все вместе эти направления (включая и динамическое программирование), каждое из которых уже весьма развито, составляют в целом математическое, или оптимальное программирование.

Расширяется круг экономических проблем, к решению которых применяются математические методы. Выше мы говорили преимущественно о моделях оптимизации производства. Так же успешно с помощью математических методов изучаются вопросы рационального распределения с учетом потребностей, спроса, эффективного влияния на структуру спроса с помощью экономических рычагов.

Применение современного математического аппарата к решению подобных народнохозяйственных проблем оказывается часто весьма эффективным. Так, например, математически рассчитанный в Ленинградском отделении математического института им. Стеклова совместно с лабораторией Сибирского отделения тариф на таксомоторы, установленный с 1 января 1961 г., дал за прошедшие годы выигрыш населению около 500 миллионов рублей и выигрыш государству от снижения себестоимости — 200—300 миллионов рублей. Этот результат достигнут за счет снижения потерь на простой и холостые пробеги, благодаря улучшению структуры спроса.

Интересно отметить, что не только матема-

тические методы все больше и больше проникают в экономику, но и наоборот. Нередко экономические идеи и процессы подсказывают пути решения задач математического программирования. Например, процессы конкуренции в капиталистической экономике «подсказали» возможность создания одного из методов поиска оптимального плана — метода корректировки оценок. Если вникнуть в процесс, который происходит в электронной машине при реализации этого метода, то он состоит в сопоставлении, соревновании различных способов организации производства и технологии. Более прогрессивные и приспособленные к данным условиям вытесняют отсталые и менее эффективные. В процессе расчета открываются, закрываются и заменяются другими предприятия, повышаются цены (оценки) на дефицитные продукты и снижаются на избыточные. Все это внешне напоминает конкурентную борьбу предпринимателей в капиталистическом обществе. Вся разница в том, что там в самом деле одни предприниматели процветают, другие разоряются, предприятия фактически закрываются, трудящиеся становятся безработными. Здесь же вся эта «конкурентная борьба» разыгрывается в течение нескольких минут или часов во время счета на электронной машине. Фактически же реализуется в жизни только тот конечный, оптимальный для народного хозяйства план, который получается в результате этого расчета.

Приведенный пример указывает на возможность использования навешенных экономическими соображениями методов в решении математических задач экономического происхождения. Однако нередко эти же методы успешно использовались в решении математических задач, возникших в связи с внутренними проблемами самой математики, а также связанных с другими областями применения математики (строительная механика, автоматика и управление техническими объектами и т. д.).

Все это наглядно иллюстрирует взаимосвязь математики, экономики и других наук, обмен идеями, взаимно обогащающими различные науки.

Заканчивая этот краткий очерк, хотелось бы сказать о современном состоянии, возможностях и перспективах фактического использования математических методов в экономической практике, особенно в проблемах народнохозяйственного планирования.

В настоящее время математико-экономические методы и ЭВМ все больше берутся на вооружение нашим народным хозяйством.

В ряде министерств, комитетов, крупных хозяйственных объединений и предприятиях созданы отделы и группы по применению этих новых методов. Во многих научно-исследовательских, технологических и проектных организациях, в вычислительных центрах и вузах также имеются значительные группы ученых и практиков — экономистов, математиков, инженеров, ведущих теоретическую и экспериментальную работу по развитию и внедрению этих методов. Имеется и несколько институтов, целиком сосредоточенных на этой проблематике. Число научных технических работников в этой области измеряется тысячами. В ряде университетов, экономических, инженерно-экономических и технических вузов созданы факультеты, выпускающие экономистов с повышенной математической подготовкой. Начата подготовка и математиков, ориентированных на экономические применения. Развернута значительная работа по повышению квалификации и наличных кадров, освоению ими новых математико-экономических методов и электронной вычислительной техники.

Наличие кадров, распространение и совершенствование средств вычислительной техники создало возможности для большого расширения фронта работ. По некоторым направлениям применение оптимальных расчетов носит уже довольно массовый и систематический характер и используется многими организациями, например, маршрутизация автомобильных перевозок, обработка банковской информации, сетевое планирование. Сделано большое число перспективных расчетов по размещению и развитию отраслей, в частности, по топливно-энергетическому балансу. Эти расчеты, несомненно, должны получить весьма широкий размах при планировании следующей пятилетки.

По многим другим перспективным областям применение этих методов, их разработка и внедрение носят еще экспериментальный, единичный характер и не получили широкого развития. Несомненно, использование и отдача математических методов лишь в малой мере реализует их возможности.

Осуществляемая хозяйственная реформа должна способствовать более интенсивному применению математических методов и ЭВМ в народном хозяйстве.

Использование математических методов при расчете нормативов, необходимых для реализации проводимого совершенствования планирования и управления, а именно уровней цен, платы за фонды, рент, нормативов

прибыли и так далее, а также в прогнозировании изменений потребностей и спроса может сделать эти показатели достаточно точными и обоснованными и тем самым способствовать полной реализации преимуществ новой системы. Метод оптимизации важен и для формирования самой структуры экономических показателей.

С другой стороны, новая система хозяйственного руководства создает более благоприятные условия для внедрения математической оптимизации. Хозяйственные организации становятся более заинтересованными в сокращении затрат, повышении фондоотдачи и тем самым в реализации оптимальных решений. Повышение роли экономических показателей, устранение излишних ограничений, совершенствование ценообразования, приводящее к лучшему согласованию интересов предприятия и народного хозяйства в целом, исключают те случаи, когда осуществление решения, оптимального с точки зрения народного хозяйства, оказывалось бы невыгодным с точки зрения интересов предприятия, что в прошлом нередко тормозило применение математических методов.

Наиболее важным и перспективным и в то же время наименее разработанным является применение методов математической оптимизации в народнохозяйственном планировании.

Социалистическая экономика, которая базируется на единой общественной собственности, по самой своей природе наиболее приспособлена для реализации оптимальных плановых решений. Только в условиях социалистической экономики принципиально возможно осуществление оптимального планирования на высшем уровне — для национальной экономики в целом. В принципе в народнохозяйственном планировании могут использоваться те же оптимальные модели, рассчитываемые методами математического программирования, о которых шла речь выше, но, естественно, их применение значительно усложняется. Число видов продукции столь велико, что производственные способы нельзя формировать по отдельным видам продукции. Должно быть произведено объединение (агрегирование) по группам продукции, например, на базе балансов межотраслевых связей. Это самостоятельная большая проблема.

Вряд ли осуществимо и целесообразно пытаться охватить все народное хозяйство одной моделью. Более реально ее получить на базе объединения целого комплекса от-

раслевых и территориальных моделей. Конструирование иерархии таких моделей и анализ их взаимосвязи представляют другую большую проблему, требующую изучения.

Следует сказать, что система оптимального планирования отнюдь не предполагает полной централизации экономических решений. Напротив, благодаря тому, что вместе с оптимальным народнохозяйственным планом строится согласованная с ним система цен и других общественных оценок (нормативы фондоотдачи, рента на землю и местоорождения полезных ископаемых, норматив эффективности капиталовложений и др.), появляется возможность на местах принимать решения, максимально согласованные с народнохозяйственными интересами. Это способствует широкому использованию инициативы производственных коллективов, возможности мобилизации ресурсов и вскрытия резервов на местах, позволяет расширить права отдельных хозяйственных участков, позволяет построить такую систему оценки и стимулирования работы отдельных участков, при которой выгодное для общества в целом становится выгодным и для каждого предприятия. Иначе говоря, подобная система создает теоретическую базу для решения проблемы сочетания централизованного управления экономикой с широкими правами и инициативой на местах на основе экономических средств управления.

В то же время вопрос об эффективных формах осуществления такого сочетания, наилучшего разделения сферы экономических решений между централизованным планированием и оперативными решениями на местах требует еще глубокой разработки.

Таким образом, хотя имеются все объективные условия, в том числе и научная база, для перехода на систему оптимального планирования во всех звеньях хозяйства, для ее реализации нужна большая подготовительная работа.

Необходимы существенное обогащение и перестройка всей экономической и статистической информации, разработка ее структуры, создание соответствующих технических средств — вычислительных центров и т. д. Перед экономической наукой, статистикой, математикой ставятся новые большие задачи по научной разработке необходимых экономических показателей, системы планирования и функционирования экономики, методики реализации принципов планирования, его организации на различных ступенях и уровнях хозяйства, увязке планов в их от-

раслевам и территориальном разрезах. Требуется разработка объективных методов учета потребностей, создание оптимальной системы оплаты труда и материального стимулирования и т. д.

Изучение всех этих моделей, методов их расчета и анализа требует серьезных математических исследований, предъявляет новые требования к машинной математике и вычислительной технике.

Исследования в этом направлении начаты и ведутся в ряде исследовательских институтов: Институтах математики и экономики СО АН СССР, ЦЭМИ, Институте кибернетики АН УССР и других. В развитии этих работ большую роль играют работы тех экономистов и статистиков старшего поколения, которые с энтузиазмом начали работу в этой области, отстаивали и пропагандировали новые методы: ныне покойный академик В. С. Немчинов, проф. В. В. Новожилов, А. Л. Вайнштейн, А. Л. Лурье, Н. П. Федоренко и другие, а также более молодое поколение ученых-экономистов и математиков, талант которых развернулся именно в этой новой области: Д. Б. Юдин, Г. Ш. Рубинштейн, И. В. Романовский, В. Ф. Пугачев, Ю. А. Олейник-Овод, В. Л. Макаров, В. С. Михалевич, А. И. Каценеленбойген, Э. Б. Ершов, Е. Г. Гольштейн, В. А. Волконский, В. А. Булавский, В. Д. Белкин, А. Г. Аганбегян. Однако размах и интенсивность ведущихся исследований еще далеко не соответствуют значению данной сложной проблемы и ее объему.

Хотя широкое систематическое осуществление принципов математического оптимального планирования — дело будущего, его методы и положения могут найти значительное использование уже в настоящее время.

На базе математических моделей экономики существенно уточняются наши представления об основных экономических понятиях и количественных закономерностях социа-

листического народного хозяйства, что дает возможность получить ряд важных конкретных выводов и правильно подойти к формированию необходимых экономических показателей, рассчитывая и оценивая их пока, может быть, весьма приближенно, в силу неполноценности имеющейся информации.

Многим представляется, что положения концепции оптимального планирования имеют пока чисто теоретическое значение. На самом деле они существенны для конкретного решения очередных практических проблем нашего хозяйства. Например, они позволяют помочь в решении таких вопросов, как принципы дифференциации платы за фонды, построение рентных платежей, особенности конструирования цен в отдельных отраслях народного хозяйства (на транспорте, в строительстве и т. д.).

Нельзя не отметить также, что выводы теории оптимального планирования нашли известное отражение в принципах ценообразования, примененных в проводимой реформе оптовых цен на промышленные товары.

Распространение оптимальных принципов и подходов имеет не только практическое, но и идеологическое значение, помогает глубже и конкретнее понять отличительные черты, возможности и преимущества социалистического хозяйства. В этой связи следует обратить внимание на предложения ряда экономистов-теоретиков об использовании математических моделей в построении курса политической экономии.

Систематический и повсеместный переход к оптимальному планированию на основе применения математических методов и моделей, более глубокое и конкретное познание экономических законов социалистической экономики, позволят реализовать еще более высокие темпы развития материального производства, осуществить дальнейший рост благосостояния всего советского народа.



СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ВОНСОВСКИЙ (р. 1910) — физик-теоретик, академик. Родился в Ташкенте. В 1932 окончил физический факультет Ленинградского университета. После окончания был направлен на работу в Свердловск инженером-исследователем в отдел теоретической физики Уральского физико-технического института (теперь Институт физики металлов АН СССР), в котором работает и в настоящее время. В Свердловске с 1932 началась и педагогическая деятельность С. В. Вонсовского — вначале в Уральском политехническом институте, а затем в Уральском университете на кафедре теоретической физики. В 1953 был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1966 — академиком. Научную деятельность С. В. Вонсовский начал с 1932 под руководством известного советского физика-теоретика С. П. Шубина. Первые их совместные работы были посвящены многоэлектронной теории металлов и полупроводников — полярная и полярно-экситонная модели кристаллов. Значение этих работ состоит, во-первых, в том, что они дали многоэлектронное обоснование и понимание смысла одноэлектронной зонной теории металлов и полупроводников. Во-вторых, в этих работах получил широкое развитие метод элементарных возбуждений или квазича-

стиц, являющийся в настоящее время одним из основных методов физики твердого тела. Наконец, полярная модель позволила в единой схеме описывать магнитные и электрические свойства ферро- и антиферромагнитных металлов. В дальнейшем наибольшую известность в СССР и за рубежом приобрели работы С. В. Вонсовского и его школы по развитию предложенной им теории металлов переходных групп, учитывающей взаимосвязь магнитных, электрических и других свойств этой важнейшей группы веществ ($s-d$ или $s-f$ -обменная модель переходных металлов). В настоящее время на базе этой теории и различных ее ответвлений основывается большинство работ в области теории переходных металлов и сплавов, в особенности редкоземельных металлов — материалов с новыми неисчерпаемыми возможностями для практики. Другое большое направление исследований С. В. Вонсовского и его сотрудников касается статистико-термодинамической теории ферро- и антиферромагнетизма. В последнее время в работах С. В. Вонсовского уделяется внимание вопросам сосуществования сверхпроводимости и ферромагнетизма или парамагнетизма, а также вопросам учета мультиплетной структуры магнитных атомов в кристаллах. С. В. Вонсовский автор и соавтор трех монографий: «Ферромагнетизм» (совместно с Я. С. Шуром), «Современное учение о магнетизме» и «Ферромагнитный резонанс» (коллектив авторов).

СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ ВОНСОВСКИЙ

МАГНЕТИЗМ И МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Магнитные свойства присущи всему, что нас окружает, начиная от элементарных частиц материи и кончая безграничными просторами космоса. Такая универсальность магнитных свойств материи позволяет использовать их как всеобъемлющий и тонкий источник информации о телах всех масштабов. С другой стороны, универсальность магнетизма открыла широкие возможности для его применений в технике.

У человека, знакомого с магнетизмом только по школьному курсу, при слове «магнетизм» в памяти возникнут картинки подковообразных магнитов, компасных стрелок, фигуры из железных опилок у полюсов магнитов и т. п. Эти воспоминания и в малой степени не исчерпывают содержания магнетизма. Чтобы нагляднее понять огромное значение магнетизма в жизни человека, представим себе на мгновение, что материя вдруг

потеряла магнитные свойства. Это сразу вызовет катастрофические последствия. Полностью парализуется мировая энергетика, поскольку выйдут из строя все электрические генераторы и моторы. Замолчат телефоны, радиоприемники, перестанут действовать телевизоры и магнитофоны. Остановятся электропоезда, трамваи и троллейбусы, автомашины, тепловозы и теплоходы. Современная цивилизация замрет, и человечество окажется отброшенным на сотни лет назад. Из этой, к счастью, нереальной картины легко понять, что магнетизм — это один из краеугольных камней современной техники.

В этой статье мы хотим дать читателю, не обладающему специальными знаниями, по возможности наглядное представление о природе магнетизма, его значении в жизни человека и последних достижениях науки в этой области.

Что же такое магнетизм? В самом общем виде его можно определить как особое взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами. Связь между пространственно разделенными объектами не может передаваться через пустоту. Поэтому передача магнитного взаимодействия осуществляется материальным носителем — магнитным полем. Оно, как и некоторые другие физические величины (скорость, ускорение, сила), определяется не только величиной, но и направлением своего действия, то есть является вектором, изображаемым на чертеже стрелкой. Обычно вектор напряженности магнитного поля обозначают буквой \vec{H} , а вектор магнитной индукции через \vec{B} .

Открытие магнетизма произошло много веков тому назад. Письменные упоминания о нем имеют давность свыше двух тысяч лет (Китай, Греция). Прежде всего обнаружили, что некоторые минералы, содержащие железо, обладают свойством притягивать или отталкивать друг друга и притягивать к себе другие вещества, например, железо. Эти свойства были названы магнетизмом, а сами такие минералы — постоянными магнитами.

Около 150 лет тому назад датский физик Эрстед обнаружил, что любой электрический ток в проводниках создает в окружающем пространстве такое же магнитное поле, как и постоянные магниты. Французский физик Ампер в 1821 г. высказал гипотезу, что единственными источниками магнитного поля являются токи. В обычном теле микроскопические молекулярные токи, текущие в пределах атома, распределены хаотически (рис. 1). В постоянных магнитах молекулярные токи ориентированы упорядоченно, и их магнитные поля складываются (рис. 2). В «немагнитных» телах их магнитные действия «в среднем» компенсируются. Представления Ампера составили основу современной теории магнетизма. Доказательство гипотезы Ампера было дано после открытия электронно-ядерной структуры атома (Резерфорд, Бор 1911—1913 гг.), когда стало ясно, что атом — это замкнутый «молекулярный ток»: вокруг атомного ядра, состоящего из нейтронов и протонов, вращаются более легкие, отрицательно заряженные электроны (отношение массы протона или нейтрона к массе электрона равно 1836,5). Движение электронов вокруг ядра атома по своим магнитным свойствам эквивалентно замкнутому (круговому) току обычного проводника (рис. 3).

По аналогии с притяжением и отталкиванием элементарных электрических зарядов можно было думать, что существуют поло-

жительные и отрицательные магнитные заряды. Однако между электричеством и магнетизмом полной аналогии не оказалось. Уже давно известно, что делением магнита невозможно получить кусочек с одним магнитным полюсом; самая малая частица магнита всегда имеет два полюса (рис. 4). Поэтому предположили, что магнит — это совокупность элементарных магнитных двойных полюсов диполей, которые лишь формально можно представить в виде двух, неразрывных «фиктивных» магнитных зарядов «+» и «-», или северного N и южного S полюсов (эти названия произошли от того, что стрелка компаса своими полюсами указывает север и юг). В электрическом диполе вводят вспомогательную векторную величину \vec{p} — момент диполя, равный произведению заряда на их взаимное расстояние $a: p = ea$. Магнитный момент \vec{M} (рис. 5) — это не вспомогательная, а основная характеристика. Его величина определяется умножением силы тока i , протекающего по контуру, на охватываемую им площадь Σ ; $M = i\Sigma$. Направление вектора \vec{M} определяется правилом буравчика.

В качестве естественного «атома», или «кванта» магнетизма вещества, выбран наименьший магнитный момент, создаваемый движением электрона на ближайшей к ядру орбите атома водорода, названный по имени знаменитого датского физика Н. Бора — магнетон Бора. Магнетон Бора очень мал по сравнению с моментами постоянных магнитов и макроскопических токов.

Электрон — источник магнитного поля не только при движении по орбите атома, но и сам по себе, поскольку ему можно приписать вращение вокруг своей оси. Это явление называют спином (от английского слова spin — волчок) электрона, с ним связан спиновый магнитный момент, равный магнетону Бора (см. рис. 3). Магнетизм атома — это сумма орбитального и спинового моментов электронов. Различают два типа электронных оболочек: магнитноактивные — с отличным от нуля магнитным моментом и магнитно-нейтральные с нулевым моментом.

Атомные ядра и составляющие их протоны и нейтроны также источники орбитального и спинового ядерного магнетизма, квантом которого является ядерный магнетон $\mu_{\text{яд}} = \mu_{\text{Б}} / 1836,5$ (магнетоны обратно пропорциональны массе соответствующих частиц).

Таким образом, все микрочастицы вещества — электроны, протоны и нейтроны, их комбинации — атомные ядра и электронные оболочки и комбинации этих комбинаций, то



Рис. 1.

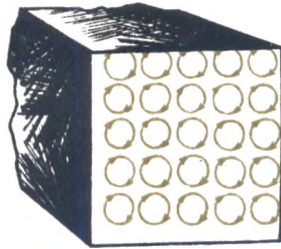


Рис. 2.

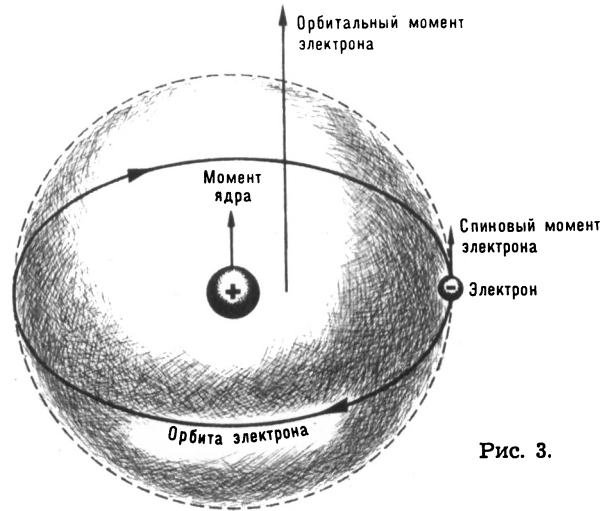


Рис. 3.

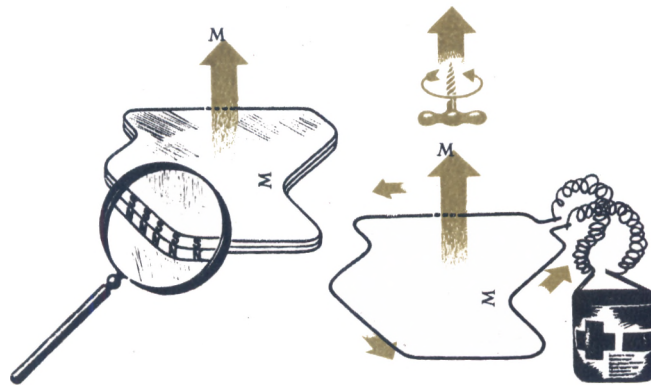


Рис. 5.

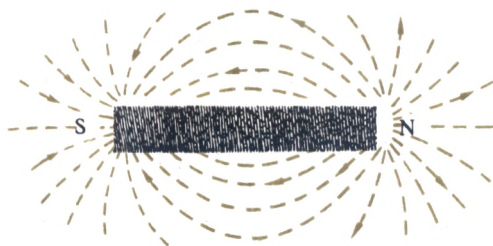


Рис. 1. Схема микроскопических (молекулярных) замкнутых токов в теле (гипотеза Ампера)

Рис. 2. Упорядоченное распределение молекулярных токов в постоянных магнитах

Рис. 3. Спиновый и орбитальный магнитные моменты электрона в атоме и момент атомного ядра

Рис. 4. Магнитный диполь

Рис. 5. Эквивалентность кругового тока и магнитного листа (теорема эквивалентности Ампера)



Рис. 4.

есть атомы, молекулы и сами макротела, суть источники магнетизма. Отсюда и следует утверждение об универсальности магнетизма: магнитные свойства присущи всем веществам, то есть все они являются магнетиками.

С помощью известных законов Кулона можно сравнить магнитную и электрическую энергию взаимодействия двух частиц с зарядом e и магнетомом Бора μ_B , находящихся на расстоянии атомного порядка (10^{-8} см).

Оказывается, что магнитные взаимодействия в десятки тысяч раз слабее электрических. Не всегда для получения большего эффекта нужна большая энергия. Сравним, например, энергию, затрачиваемую пальцем при нажатии на курок ружья, с огромной энергией вылетающей из ружья пули. Слабые магнитные взаимодействия и могут играть роль «курка». Например, в явлениях диффузии атомов в кристаллах, в химических реакциях, в биологических процессах и т. п. Надо думать, что такая «направляющая» роль магнитных сил при их воздействии на вещество будет приобретать все большее значение в науке и технике.

СТРОЕНИЕ АТОМА И МАГНЕТИЗМ

Напомним, как объясняется магнетизм атомов. Для этого необходимо знать, как застраиваются оболочки атомов при переходе от элемента к элементу с увеличивающимися порядковыми номерами в таблице Менделеева (порядковый номер равен числу электронов в атомной оболочке).

При построении электронной оболочки атома по правилам квантовой механики действует строгий «жилищный закон» — принцип запрета Паули, согласно которому на каждую «орбиту» атома можно поместить не больше двух электронов с антипараллельными спинами. Состояние электрона в атоме характеризуется четырьмя квантовыми числами: главным $n = 1, 2, 3, \dots$, орбитальным l (при данном n число l может принимать n значений: $l = 0, 1, 2, \dots, (n-1)$), магнитным m (при данном l число m может принимать $(2l+1)$ значений: $m = -l, -(l-1), \dots, -1, 0, +1, \dots, +l$) и, наконец, спиновым квантовым числом σ (при данных n, l и m оно принимает 2 значения: $\pm 1/2$). Таким образом, при данных значениях чисел n и l имеется $2(2l+1)$ мест для электронов (с разными m и σ); это отдельный слой электронной оболочки.

Наглядно оболочку атома можно уподобить многоэтажному зданию (рис. 6), разби-

тому на блоки этажей, отвечающих одному значению главного квантового числа n . Каждый этаж в блоке имеет $2(2l+1)$ комнат* и соответствует определенной форме орбиты (с данным n), то есть одному из возможных значений квантового числа $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$, обозначаемому соответственно буквами: s, p, d, f, g, \dots . Каждая пара комнат, симметрично расположенных относительно средней линии здания, соответствует одной из $2l+1$ возможных ориентаций орбит в пространстве (одному значению числа m). При постепенном заселении «небоскреба» в каждом этаже сначала занимают «комнаты» с каким-то одним направлением спина (+ или -) и одним направлением орбитального момента. Это правило открыл в 1927 г. немецкий физик Хунд. Из него следует, что в процессе заполнения электронной оболочки в ней могут возникать большие магнитные моменты.

При заполнении электронных оболочек наблюдается «нарушение» правильной последовательности заселения этажей. В каждом блоке небоскреба с данным числом n последовательно заполняются лишь два первых этажа: s и p . Заселение же этажей с индексами d, f всегда происходит с задержкой. Оказывается, например, энергетически выгоднее заселить прежде $4s$ -этаж, чем $3d$. Их заселение начинается не с 19-го элемента калия, а только с 21-го элемента скандия. Эти запоздалые заселения d и f этажей приводят к появлению в таблице Менделеева (рис. 7) групп переходных элементов с достраивающимися внутренними слоями электронной оболочки. Всего имеется пять групп переходных элементов: железа — $3d$, палладия — $4d$, платины — $5d$ (по 8 элементов в каждой группе), редких земель — $4f$ (14 элементов) и актиноидов — $5f$ и $6d$ (4 элемента). Все неустойчивые трансурановые элементы от нептуния ($Np = 93$) до лауренсия ($Lw = 103$) также относятся к переходным элементам.

Благодаря наличию внутренней недостроенной d - или f -оболочки все атомы переходных элементов сильно магнитны. Когда атомы соединяются в молекулы или кристаллы, то верхние этажи заполненной части электронного небоскреба сильно перестраиваются и их «магнитность» разрушается. Нижние этажи перестраиваются гораздо

* В комнату можно поместить по одному электрону с + или - спином. Каждый этаж делится на две равные половины: одна для + спинов, а другая для - спинов.

		Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		0				
периоды	ряды														
I	1	1 Н ВОДОРОД						(H)			2 He ГЕЛИЙ				
II	2	3 Li ЛИТИЙ	4 Be БЕРИЛЛИЙ	5 B БОР	6 C УГЛЕРОД	7 N АЗОТ	8 O КИСЛОРОД	9 F ФТОР			10 Ne НЕОН				
III	3	11 Na НАТРИЙ	12 Mg МАГНИЙ	13 Al АЛЮМИНИЙ	14 Si КРЕМНИЙ	15 P ФОСФОР	16 S СЕРА	17 Cl ХЛОР			18 Ar АРГОН				
IV	4	19 K КАЛИЙ	20 Ca КАЛЬЦИЙ	Sc 21 СКАНДИЙ	Ti 22 ТИТАН	V 23 ВАНАДИЙ	Cr 24 ХРОМ	Mn 25 МАРГАНЕЦ	Fe 26 ЖЕЛЕЗО	Co 27 КОБАЛЬТ	Ni 28 НИКЕЛЬ				
	5	29 Cu МЕДЬ	30 Zn ЦИНК	31 Ga ГАЛЛИЙ	32 Ge ГЕРМАНИЙ	33 As МЫШЬЯК	34 Se СЕЛЕН	35 Br БРОМ				36 Kr КРИПТОН			
V	6	37 Rb РУБИДИЙ	38 Sr СТРОНЦИЙ	Y 39 ИТТРИЙ	Zr 40 ЦИРКОНИЙ	Nb 41 НИОБИЙ	Mo 42 МОЛИБДЕН	Tc 43 ТЕХНЕЦИЙ	Ru 44 РУТЕНИЙ	Rh 45 РОДИЙ	Pd 46 ПАЛЛАДИЙ				
	7	47 Ag СЕРЕБРО	48 Cd КАДМИЙ	49 In ИНДИЙ	50 Sn ОЛОВО	51 Sb СУРЬМА	52 Te ТЕЛЛУР	53 I ИОД				54 Xe КСЕНОН			
VI	8	55 Cs ЦЕЗИЙ	56 Ba БАРИЙ	La* 57 ЛАНТАН	Hf 72 ГАФНИЙ	Ta 73 ТАНТАЛ	W 74 ВОЛЬФРАМ	Re 75 РЕНИЙ	Os 76 ОСМИЙ	Ir 77 ИРИДИЙ	Pt 78 ПЛАТИНА				
	9	79 Au ЗОЛОТО	80 Hg РУТУТЬ	81 Tl ТАЛЛИЙ	82 Pb СВИНЕЦ	83 Bi ВИСМУТ	84 Po ПОЛОНИЙ	85 At АСТАТ				86 Rn РАДОН			
VII	10	87 Fr ФРАНЦИЙ	88 Ra РАДИЙ	Ac** 89 АКТИНИЙ	(Th)	(Pa)	(U)								
*		ЛАНТАНОИДЫ													
		Ce 58 ЦЕРИЙ	Pr 59 ПРАЗЕДИЙ	Nd 60 НЕОДИМ	Pm 61 ПРОМЕТИЙ	Sm 62 САМАРИЙ	Eu 63 ЕВРОПИЙ	Gd 64 ГАДОЛИНИЙ	Tb 65 ТЕРБИЙ	Dy 66 ДИСПРОЗИЙ	Ho 67 ГОЛЬМИЙ	Er 68 ЭРБИЙ	Tm 69 ТУЛИЙ	Yb 70 ИТТЕРБИЙ	Lu 71 ЛЮТИЦИЙ
**		АКТИНОИДЫ													
		Th 90 ТОРИЙ	Pa 91 ПРОТАКТИНИЙ	U 92 УРАН	Np 93 НЕПУТУНИЙ	Pu 94 ПУЛТОНИЙ	Am 95 АМЕРИЦИЙ	Cm 96 КЮРИЙ	Bk 97 БЕРКЛИЙ	Cf 98 КАЛИФОРНИЙ	Es 99 ЭЙНШТЕЙНИЙ	Fm 100 ФЕРМИЙ	Md 101 МЕНДЕЛЕВИЙ	No 102 НОБЕЛИЙ	Lw 103 ЛОУРЕНСИЙ

Рис. 7

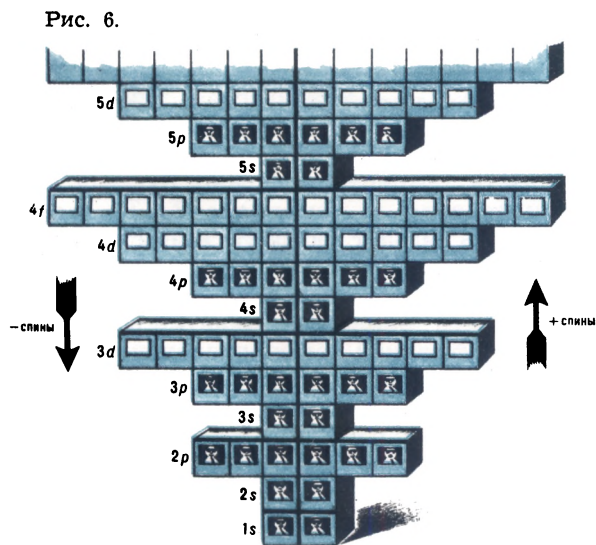


Рис. 6.

Рис. 6. Заполнение электронных оболочек атома

Рис. 7. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева

368 слабее и часто практически полностью сохраняют свою «атомную индивидуальность». Поэтому имеется реальная возможность сохранить и в кристаллическом состоянии магнетизм атомов именно у переходных элементов. Более того, при благоприятных условиях в их кристаллах магнитные моменты отдельных атомов не только сохраняются, но и упорядоченно располагаются по узлам кристаллической решетки. Именно это и имеет место в постоянных магнитах.

КЛАССИФИКАЦИЯ МАГНЕТИКОВ

Прежде чем рассмотреть вопрос о классификации магнетиков, выясним основные эффекты, оказываемые внешним магнитным полем на атомные магнетики. Известны два таких эффекта: **поляризационный** и **ориентационный**.

Поляризационный эффект есть прямое следствие закона электромагнитной индукции Фарадея: при включении внешнего магнитного поля в замкнутом контуре проводника возникает ток. Согласно правилу Ленца, индукционный ток создает магнитное поле, направленное против вызвавшего индукционный ток внешнего поля (рис. 8). Поэтому магнитный поляризационный эффект всегда имеет отрицательный знак, и его называют **диамагнитным**. Диамагнетизм присущ всем телам. Все тела можно было бы назвать диамагнетиками, если бы во многих случаях этот эффект не перекрывался более сильным — положительным ориентационным эффектом. Диамагнетиками называют лишь тела, в которых преобладает диамагнитный эффект. Этот эффект очень слаб.

Рассмотрим второй эффект — ориентационный, или парамагнитный. Внешнее поле стремится повернуть все атомные, магнитные моменты вдоль своего направления (рис. 9). Возникающая парамагнитная намагниченность направлена вдоль внешнего поля. По величине парамагнетизм, как правило, тоже очень слаб, хотя чаще все же сильнее диамагнетизма. Парамагнитный эффект не столь универсален, как диамагнетизм. Необходимым условием его возникновения является наличие отличных от нуля магнитных моментов у атомов.

Проведем теперь классификацию магнетиков исходя из природы атомных носителей магнетизма и характера действия на них внешнего магнитного поля. Следует различать электронный и очень слабый ядерный, а также орбитальный и спиновый магнетизм. Во всех этих случаях нужно иметь в виду

два вида действия внешнего магнитного поля — диа- и парамагнетизм (рис. 10). В каждом веществе присутствуют все эти «магнетизмы», только одни играют основную, а другие подчиненную роль.

Для классификации магнетиков следует еще учесть, как влияют на магнитные свойства вещества характер и величина внутренних взаимодействий между атомными носителями магнетизма. Этот учет очень важен, он уже принимался во внимание, когда диамагнетики рассматривали как тела, в которых происходит полная компенсация орбитальных и спиновых моментов, а парамагнетики как тела, в которых такой компенсации нет. Причиной наличия или отсутствия компенсации как раз и является характер и величина взаимодействий между электронами внутри атомов. Например, магнитные свойства молекул в газах целиком определяются взаимодействием между валентными электронами атомов, образующих эти молекулы. По магнитным свойствам молекул можно выяснить характер межатомных взаимодействий в них, то есть природу химических связей. Возможность получения магнетохимической информации начинает широко применяться в химии. Интересные методы в этой области предложены советским физиком Я. Г. Дорфманом.

Выясним соотношение между энергией внутренних взаимодействий атомных магнетиков $\epsilon_{вз}$ и средней энергией их теплового движения $\sim kT$. Если $\epsilon_{вз}$ будет больше или меньше kT , то различными будут и магнитные характеристики вещества. Пусть $\epsilon_{вз} = kT_{кр}$, где $T_{кр}$ — критическая температура, характерная для данного взаимодействия в веществе.

Область температур можно разделить на два интервала. В интервале $T < T_{кр}$ основную роль играет эффект взаимодействия, а при $T > T_{кр}$ — хаотическое тепловое движение. Очевидно, что при $T > T_{кр}$ все тела в отсутствие внешнего магнитного поля не имеют внутренней самопроизвольной упорядоченной атомной магнитной структуры. Она возникает под действием внешнего магнитного поля. В парамагнетиках с повышением температуры, как правило, намагниченность разрушается. В большинстве случаев парамагнитная намагниченность пропорциональна внешнему полю: $I = \chi H$, где χ — парамагнитная восприимчивость. В ряде веществ при не очень низких температурах она изменяется обратно пропорционально температуре (закон Кюри).

Диамагнитный момент также по величине



Рис. 8.

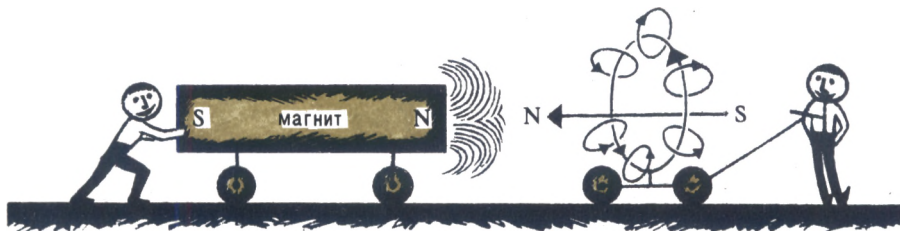


Рис. 8. Приближение магнита к диамагнетику вызывает в нем появление обратного магнитного момента. Приближение магнита к замкнутому контуру проводника вызывает в нем индукционный ток, создающий обратный магнитный момент

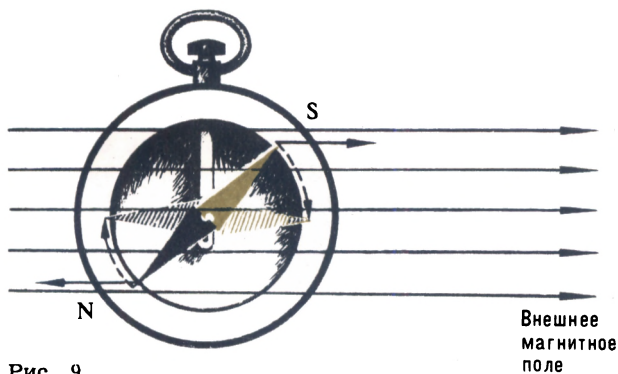


Рис. 9

Рис. 9. Объяснение явления ориентации атомных магнитных моментов парамагнетика во внешнем магнитном поле с помощью компаса. Магнитная стрелка стремится ориентироваться вдоль силовых линий магнитного поля

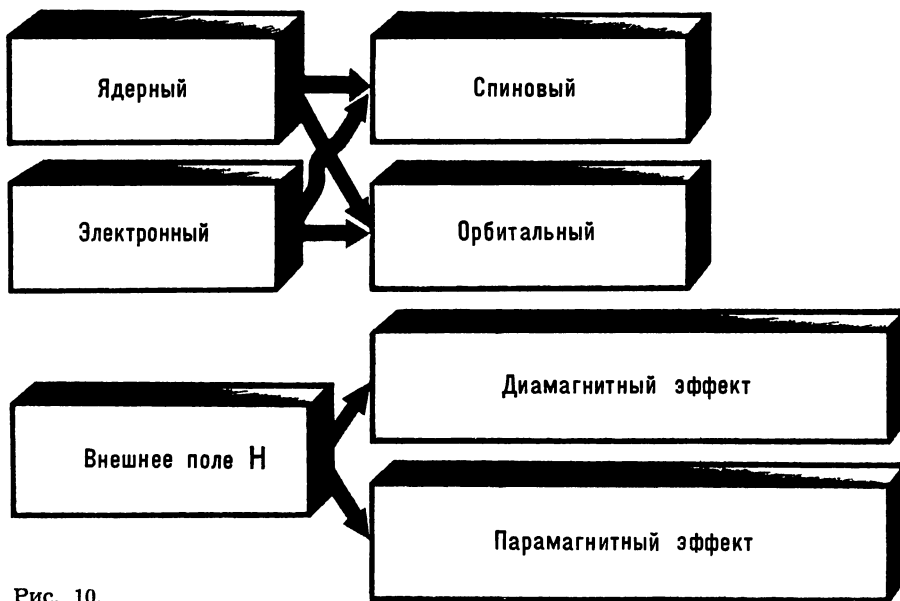


Рис. 10.

Рис. 10. Источники магнетизма атомов и действие внешнего магнитного поля

не пропорционален полю. Однако он практически не зависит от температуры, так как диамагнетизм — это результат воздействия магнитного поля на внутреннее движение электронов в атомах, которое при не очень высоких температурах не подвержено влиянию тепловых столкновений между атомами.

Специфическими магнитными свойствами обладают парамагнитные непереходные металлы, например щелочные. Их парамагнитная восприимчивость практически не зависит от температуры (не следует закону Кюри), что находится в резком противоречии с классической теорией парамагнетизма П. Ланжевена. В 1923 г. Я. Г. Дорфман высказал идею, что это обусловлено тем, что здесь носителями магнитного момента являются электроны проводимости. В 1927 г. швейцарский физик В. Паули теоретически объяснил этот эффект, показав, что электроны, подчиняясь не классической статистике Максвелла—Больцмана, а квантовой статистике Ферми—Дирака, очень слабо меняют свое распределение по скоростям, поэтому многие их свойства, в том числе и магнитные, практически не должны зависеть от температуры. Работа Паули, а также появившаяся вслед за ней (1930 г.) знаменитая теория диамагнетизма электронов проводимости советского ученого Л. Д. Ландау сыграли основополагающую роль в развитии современной квантовой теории твердого тела и, в первую очередь, металлов.

Очень интересными оказались эффекты в парамагнитных и диамагнитных металлах и неметаллах в переменных магнитных полях. Я. Г. Дорфман предсказал явление парамагнитного резонанса (1923 г.) и диамагнитного (циклотронного) резонанса (1951 г.). В настоящее время после замечательных работ советского ученого Е. К. Завойского, открывшего электронный парамагнитный резонанс, а также работ советских и зарубежных ученых по циклотронному резонансу, развилась новая отрасль физики — магнитная радиоспектроскопия. Она с успехом используется в физике, химии и в прикладной радиоэлектронике.

Большое значение для развития современной квантовой теории металлов сыграли теоретические и экспериментальные работы, начатые школой П. Л. Капицы, Л. Д. Ландау и харьковских физиков, руководимых И. М. Лифшицем, А. И. Ахиезером, Б. Г. Лазаревым. В них была развита общая теория, объяснившая экспериментально исследованную периодическую зависимость диамагнитной восприимчивости металлов от внешнего

поля (осцилляционные эффекты), а также особенности гальваномагнитных явлений (эффект Холла, магнетосопротивления и, в частности, открытый еще в 1929 г. П. Л. Капицей линейный закон возрастания электро-сопротивления металлов в сильных внешних магнитных полях, не находивший до появления этой теории своего объяснения).

ОБМЕННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ И МАГНИТНЫЕ УПОРЯДОЧЕННЫЕ СОСТОЯНИЯ

Как отмечалось выше, пара- и диамагнитный эффекты невелики. Однако еще на заре развития науки в некоторых веществах (в железе и его соединениях) были обнаружены сильные магнитные свойства. Объяснить их оказалось возможным лишь, когда появилась квантовая механика. Как показал опыт (П. Кюри), особые магнитные свойства сильномагнитных веществ в большинстве случаев сохраняются в довольно широком интервале температур. Верхняя граница этого интервала, так называемая точка Кюри, или Нееля, θ часто оказывается довольно высокой — 1000°K . Из равенства $\epsilon_{\text{вв}} \sim k\theta$ (где $\epsilon_{\text{вв}}$ — энергия, ответственная за сильные магнитные свойства) следует, что по порядку величины энергия $\epsilon_{\text{вв}}$ будет равна: $\epsilon_{\text{вв}} \sim 10^{-16} \cdot 10^{-3} \sim 10^{-13}$ эрг. Но в большинстве веществ магнитная энергия не превышает величины $\sim 10^{-16}$ эрг, то есть в 1000 раз меньшая величина. Это могло бы объяснить сильные магнитные свойства, если бы они существовали до очень низких температур $\sim 1^\circ\text{K}$, а не до тысячи градусов, как наблюдается на опыте. Единственный выход из этого затруднения — принять, что природа взаимодействия, обуславливающего сильные магнитные свойства, например в железе, не магнитная, а электрическая.

Этот парадокс классической физики был разрешен в квантовой механике в 1928 г. независимо советским физиком Я. И. Френкелем и немецким физиком В. Гейзенбергом. Для объяснения ферромагнетизма они использовали вывод квантовой механики о том, что в силу принципа Паули часть электрического взаимодействия (так называемое обменное взаимодействие) связана с величиной результирующего спинового момента системы электронов. Когда минимуму этой энергии соответствует параллельная ориентация спинов, мы имеем ферромагнетизм (рис. 11), а когда антипараллельная — антиферромагнетизм (рис. 12) (теоретически предсказанный независимо Л. Д. Ландау и Л. Неелем).

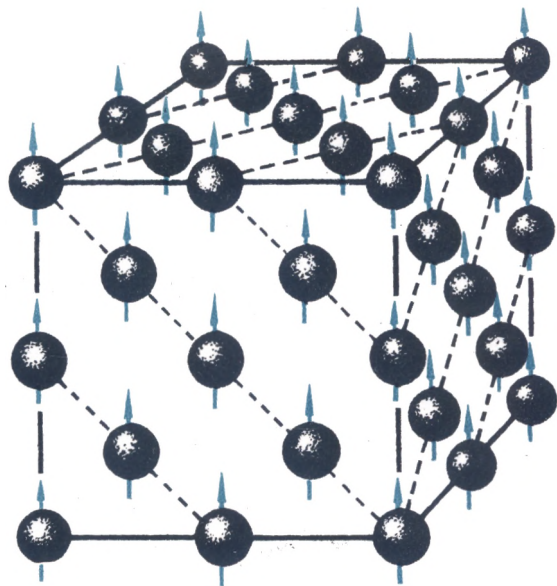


Рис. 11.

Рис. 11. Типичная картина ферромагнетика. Все атомные магнитные моменты направлены в одну сторону

Рис. 12. Типичная картина антиферромагнетика. Атомные магнитные моменты образуют две одинаковые подрешетки с равными, но противоположно направленными намагниченностями

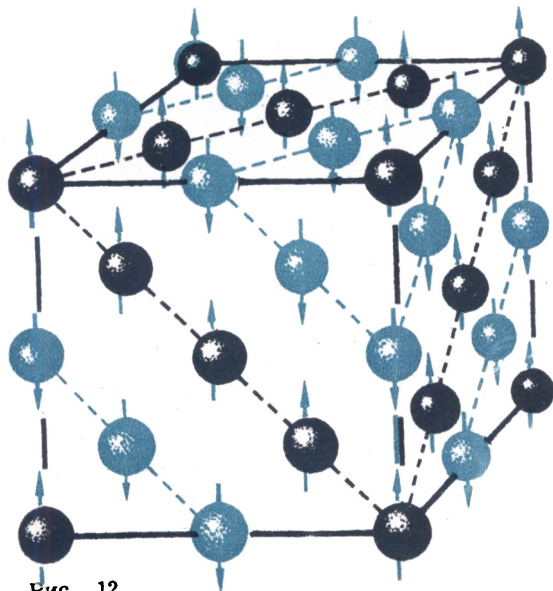


Рис. 12.

Таким образом, в твердых кристаллических телах имеется кристаллическая пространственная решетка магнитных моментов. В ферромагнетиках (рис. 11) эта «магнитная решетка» совпадает с кристаллохимической, а в случае антиферромагнетика (рис. 12) в кристалле существуют две (или более) взаимно проникающие магнитные «подрешетки», каждая в отдельности намагничена ферромагнитно, но в сумме их намагниченности компенсируются, поэтому антиферромагнетик не имеет результирующего самопроизвольного момента.

Могут быть еще случаи магнитно упорядоченных состояний, когда обменные силы благоприятствуют антиферромагнитному порядку, но величина магнитных моментов в узлах разных подрешеток различна (например, из-за различия атомов в разных подрешетках) или же моменты одинаковы, но число их в подрешетках разное. Тогда, несмотря на антиферромагнитный характер обменного взаимодействия, появляется отличная от нуля разность магнитных моментов подрешеток. Хотя такое магнитное состояние внешне не отлично от ферромагнитного, в силу внутреннего различия, его принято называть нескомпенсированным антиферромагнетизмом, или ферри магнетизмом (впервые такое состояние было обнаружено у окислов металлов, называемых ферритами).

За последние годы обнаружены ферро- и антиферромагнетики, у которых много магнитных подрешеток, магнитные моменты которых образуют не простую коллинеарную * магнитную структуру (рис. 13), а более сложное, например «треугольное», распределение магнитных моментов или винтовые структуры (рис. 14). Наиболее строго теория этих сложных структур разработана советским физиком И. Е. Дзялошинским.

Ферромагнетиками являются $3d$ -металлы (железо, кобальт, никель), а также редкоземельные металлы: гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий. Антиферромагнетизм обнаружен у двух элементов группы железа — хрома и марганца и у редкоземельных — неодима, самария, европия и др. Кроме чистых элементов, ферро- и антиферромагнетизм практически наблюдается в неограниченной совокупности металлических сплавов и неметаллических соединений.

* Коллинеарной называется такая структура, при которой векторы магнитных моментов в различных магнитных подрешетках направлены вдоль или против одной и той же оси кристалла.

Вещества с атомным магнитным порядком можно условно разбить на четыре класса: (1) f -металлы (редкоземельные) и их сплавы, (2) d -металлы и их сплавы, (3) сильно разбавленные растворы атомов d - и f -металлов в немагнитной металлической матрице, (4) неметаллические кристаллы.

Когда я делал первые шаги в науке, меня заинтересовала проблема переходных металлов. Этой проблемой занимался мой научный руководитель, талантливый советский физик С. П. Шубин.

В. Гейзенберг и Блох разрабатывали квантовую теорию ферромагнетизма (1928—1932 гг.) только для диэлектриков, не имеющих электронов проводимости. Ферромагнетизм же наблюдался главным образом в металлах и сплавах. В 1933 г. С. П. Шубин предложил полярную модель металлов и полупроводников, в которой можно было в единой схеме учесть магнитные и электрические свойства металлов. В разработке этой теории я принял активное участие. В 1935 г. нами были заложены основы одной из ветвей полярной модели в ее применении к переходным металлам, так называемой $s-d(f)$ -обменной модели. Согласно этой модели электронная система переходного металла трактовалась как совокупность двух автономных подсистем — электронов проводимости и электронов незаполненных d - или f -слоев, несущих магнитный момент. В послевоенные годы главное внимание в своей работе я уделял развитию и применениям $s-d(f)$ -обменной теории, в разработке которой сейчас активное участие принимают мои ученики, многие из которых теперь успешно ведут самостоятельную работу (Е. А. Туров, П. С. Зырянов, К. Б. Власов, М. С. Свирский, Ю. А. Изюмов, Ю. П. Ирхин и др.).

В рамках $s-d(f)$ -обменной теории можно учесть взаимосвязь магнитных, электрических и других свойств переходных металлов, их сплавов и соединений. В настоящее время на эту теорию и ее различные ответвления опирается большинство работ в мировой науке в области переходных металлов и сплавов, в разработке теории электрических, тепловых, оптических и других физических свойств ферро- и антиферромагнетиков; при объяснении природы сил, ответственных за установление магнитного порядка в металлах и сплавах (теория косвенного обменного взаимодействия); при расчетах распределения электронной и спиновой плотностей в них; при решении вопросов сосуществования ферромагнетизма и сверхпроводимости и т. п.

В случае редкоземельных f -металлов ак-

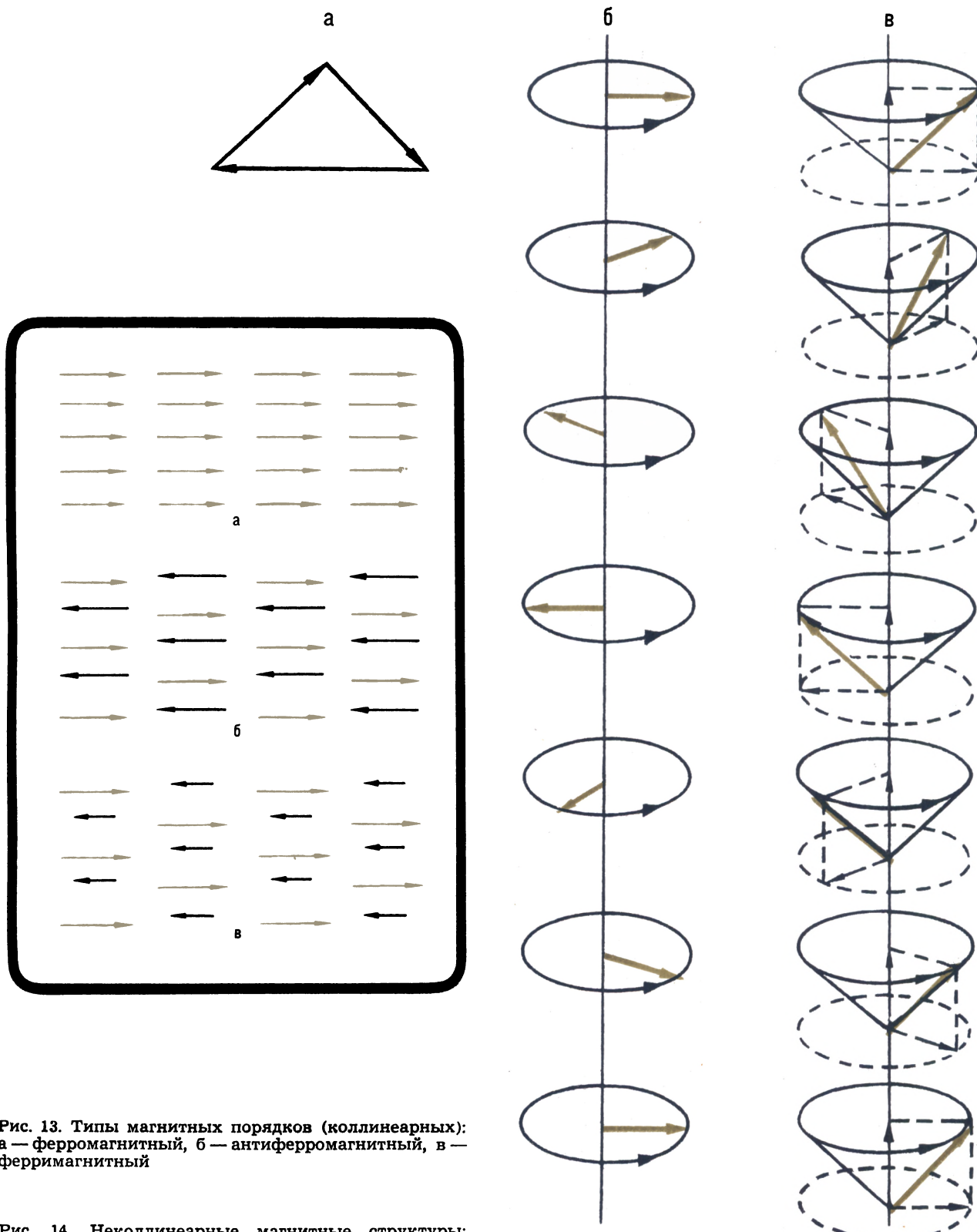


Рис. 13. Типы магнитных порядков (коллинеарных): а — ферромагнитный, б — антиферромагнитный, в — ферримагнитный

Рис. 14. Неколлинеарные магнитные структуры: а — треугольная, б — простая (антиферромагнитная) спираль, в — ферромагнитная спираль

тивную роль в установлении магнитного порядка играют электроны проводимости, образующие ферми-жидкость, омывающую решетку ионных остовов. Магнитноактивный $4f$ -слой в этих ионах имеет очень маленький радиус (по сравнению с межатомным расстоянием в кристалле). Соседние $4f$ -слои не перекрываются и поэтому не испытывают прямого взаимодействия. Передачиками взаимодействия в этом случае являются электроны проводимости, осуществляющие косвенный обмен между магнитными моментами (Зинер, Рудерман-Киттел, Йосида) $4f$ -слоев, локализованных в узлах решетки, приводя при температурах $T < \theta_{\text{фм}}$ к атомному магнитному порядку. На рис. 15 это изображено в виде находящихся под водой буйков со стрелками (внутри ферми-жидкости), прочно привязанных к якорям (что имитирует локализацию $4f$ -слоев). Параллельные волны, изображающие механизм косвенного обмена, выстраивают все стрелки параллельно друг другу. При $T > \theta_{\text{фм}}$ тепловое движение разрушает этот порядок (рис. 16).

Аналогичный механизм возникновения магнитного атомного порядка имеет место и в разбавленных растворах d - и f -металлов в диамагнитных кристаллах.

В случае d -металлов дело обстоит сложнее, поскольку недостроенные d -слои имеют не такие малые эффективные радиусы, как f -слои. Поэтому у соседних d -атомов в кристалле они заметно перекрываются. Последнее приводит к тому, что d -электроны вместе с валентными s -электронами образуют смесь двух ферми-жидкостей. На рис. 17 d -электроны показаны в виде упорядоченных рядов рыб (правильнее было бы как-то изобразить смесь двух ферми-жидкостей: легкой из s -электронов и тяжелой из d -электронов). Выше точки Кюри тепловое движение разрушает упорядоченный ряд рыб (рис. 18). В случае d -металлов порядок возникает из-за обменного взаимодействия электронов внутри смеси ферми-жидкостей.

В неметаллических кристаллах с атомным магнитным порядком мы имеем дело не с чистыми элементами, а с химическими соединениями, в которых атомы переходных элементов разделены магнитнонейтральными ионами кислорода, фтора, серы и т. п. Валентные электроны этих ионов образуют «мостики» направленных химических связей между соседними узлами решетки и являются локализованными переносчиками обменной связи между магнитными ионами. Таким образом, и здесь имеет место косвенный обмен через связанные электроны диа-

магнитной подсистемы кристалла. Это наглядно показано на рис. 19. В подобных неметаллических веществах обменная связь, как правило, антиферромагнитна, и результирующий момент появляется лишь при ферримагнетизме (ферриты).

Из краткого описания разных типов веществ с магнитным порядком видно, что в их химическом составе хотя бы один из компонентов должен быть из числа переходных элементов, дающих «строительный материал» для магнитных материалов.

В настоящее время мы располагаем средством опытного изучения атомных магнитных структур, окончательно подтвердившим представления о существовании магнитного порядка в кристаллах. Микрондами в этих опытах служат пучки нейтронов. Нейтрон не обладает электрическим зарядом, но, имея магнитный момент, может взаимодействовать с магнитными моментами d - и f -оболочек ионов в кристаллах. Получается дифракционная картина рассеянных в кристалле нейтронов, по которой можно судить об атомном магнитном порядке. Изучая другие особенности магнитного рассеяния нейтронов, можно определить величину магнитных моментов, плотность их пространственного распределения, а также температурную зависимость магнитного момента.

В последнее время появились другие тонкие ядерные методы исследования магнитных свойств в кристаллах. Например, с помощью эффекта Мёссбауэра (резонансного поглощения гамма-лучей, испускаемых радиоактивными — «мечеными» атомами кристалла) удалось измерить магнитное поле, действующее на ядро атома в магнитном кристалле. Оно оказалось неожиданно большим ($\sim 10^5$ – 10^6 э). Эти открытия дали ценную информацию о нюансах распределения электронного заряда и магнитного момента в узлах кристаллической решетки.

С повышением температуры от 0°K магнитный порядок постепенно начинает разрушаться хаотическим тепловым движением. При точке Кюри или Нееля разрушение порядка завершается и вещество превращается в парамагнетик.

ТЕОРИЯ КРИВЫХ НАМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ. СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ВАЖНЕЙШИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Важнейшими первичными магнитными характеристиками ферро- или ферримагнитных веществ являются: (1) величина результи-

Рис. 15. Наглядная картина ферромагнитного порядка в f -металлах с косвенным обменным взаимодействием f -оболочек через электроны проводимости (при температурах ниже точки Кюри)



Рис. 15.

Рис. 16. Наглядная картина ферромагнитного порядка в f -металлах с косвенным обменным взаимодействием f -оболочек через электроны проводимости (при температурах выше точки Кюри)



Рис. 16.

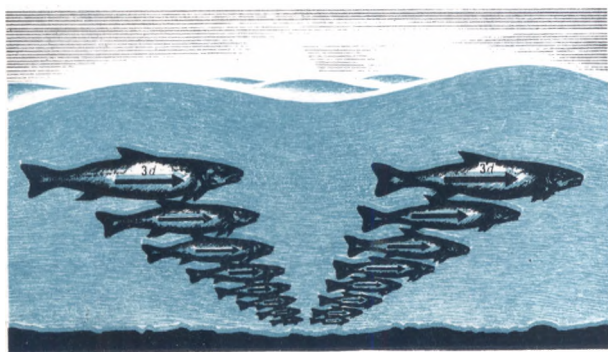


Рис. 17.

Рис. 17. Наглядная картина ферромагнитного порядка в d -металлах — смесь двух ферми-жидкостей из s - и d -электронов (при температурах ниже точки Кюри)

Рис. 18. Наглядная картина ферромагнитного порядка в d -металлах — смесь двух ферми-жидкостей из s - и d -электронов (при температурах выше точки Кюри)

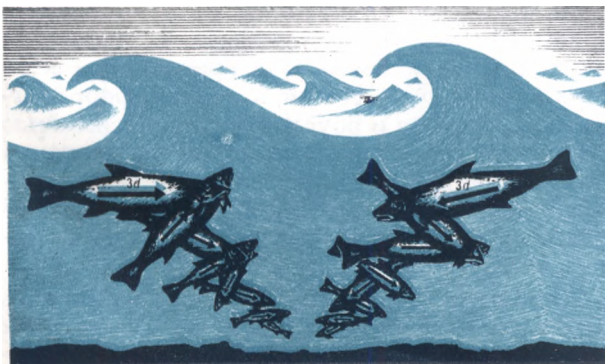


Рис. 18.

рующего магнитного момента — его самопроизвольная намагниченность \vec{I}_s , которая определяет магнитное насыщение вещества, и (2) величина точки Кюри или Нееля. Наибольшие намагниченности насыщения имеют редкоземельные металлы, но у них очень низки точки Кюри. Максимальная намагниченность в 1700 гс у железа. В кристаллах d -металлов моменты изолированных атомов обычно целиком не реализуются, поскольку часть или даже все электроны недостроенной d -оболочки принимают участие в металлической связи (вместе с бывшими валентными электронами), лишаясь при этом своей магнитной активности. Точки Кюри и Нееля у 3 d -металлов значительно выше, чем у РЗМ, например, в кобальте $\theta = 1130^\circ\text{C}$.

Создать ферромагнитные соединения с высокими значениями насыщения и точек Кюри — задача очень трудная. Пока удалось повысить намагниченность насыщения железа в его сплаве с кобальтом (перминдюр) всего лишь на 13%. По-видимому, магнитные материалы с повышенными насыщениями и точками Кюри следует искать в области сплавов d - и f -металлов. В этом направлении сейчас идут усиленные поиски.

Современные технические магнитные материалы изготавливаются из ферромагнитных металлов и сплавов или полупроводниковых ферромагнетиков — ферритов. Они должны обладать определенным комплексом магнитных, электрических, механических, тепловых, химических и других свойств, так как условия их эксплуатации сложны. Важнейшей технической характеристикой магнитного материала является кривая намагничивания и петля гистерезиса, то есть зависимость намагниченности от внешнего магнитного поля. Впервые детальное исследование такой кривой было проведено русским физиком А. Г. Столетовым. На рис. 20 изображена типичная кривая намагничивания и петля гистерезиса железо-кобальтового сплава (супермалоя), относящегося к классу мягких магнитных материалов.

Опыт показывает, что при охлаждении ферромагнетика в отсутствие внешнего магнитного поля он всегда остается в целом в размагниченом состоянии. Поэтому встает вопрос — почему ниже точки Кюри (Нееля) во всем объеме ферромагнитного тела не возникает самопроизвольный магнитный момент, как это, казалось бы, должно быть.

В 1907 г. французский физик П. Вейсс выдвинул гипотезу о том, что ферромагнитный образец конечных размеров в отсутствие внешнего поля разбивается на отдельные

самопроизвольно намагниченные области — домены, так что их суммарный магнитный момент по всему образцу равен нулю. Гипотеза доменов в 1935 г. была теоретически обоснована в широко известной работе Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица.

Физическая причина появления доменов при $H=0$ заключается в том, что намагниченное тело всегда создает магнитное поле. Внутри самого тела оно направлено против его намагниченности (рис. 21) и поэтому оказывает размагничивающее действие (размагничивающее поле H_\circ). С полем H_\circ связана большая положительная энергия.

Из общих термодинамических соображений в равновесных состояниях в ферромагнетике при $H=0$ должны произойти такие изменения, чтобы по возможности уменьшить размагничивающее поле и тем самым уменьшить энергию системы. Если разбить образец на домены (см. рис. 22), то увеличение их числа ослабляет собственное поле вне образца и уменьшает его энергию. Можно представить себе такое разделение образца на домены, когда магнитный поток целиком замкнется внутри образца и вне его поле исчезает.

Изучение механизма образования доменов показывает, что между ними возникают граничные слои, на их создание затрачивается энергия, но она, конечно, меньше объемной энергии исчезающего размагничивающего поля образца. Образование доменной структуры — это эффект саморазмагничивания ферромагнитных тел при $H=0$. Наличие в некоторых случаях и при $H=0$ «остаточной» намагниченности можно объяснить внутренними дефектами в структуре кристалла, затрудняющими процесс саморазмагничивания, то есть домены либо почти совсем не возникают, либо происходит неполная компенсация их магнитных моментов.

Направление спонтанной намагниченности в доменах, как и расположение их границ, не случайны. Они связаны с ориентацией кристаллографических осей в зернах ферромагнитного образца и обусловлены зависимостью магнитной энергии домена от направления намагниченности в кристалле, то есть явлением магнитной анизотропии, теория которой впервые была разработана советским физиком Н. С. Акуловым.

Доменную структуру можно наблюдать визуально. Наиболее прост метод магнитных порошковых осадков. В местах выхода граничных слоев на поверхность образца существует собственное магнитное поле рассеивания. Частицы магнитного порошка притяги-

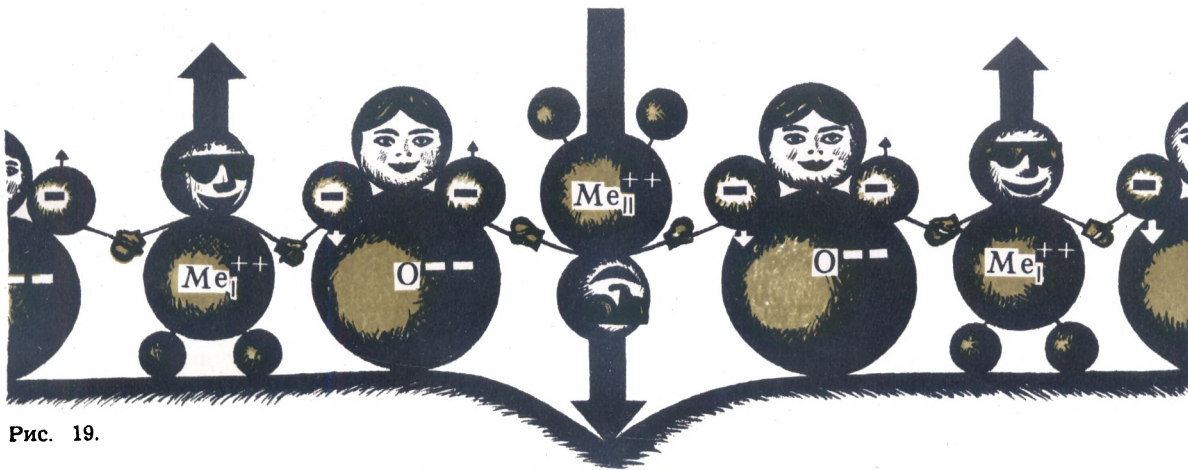


Рис. 19.

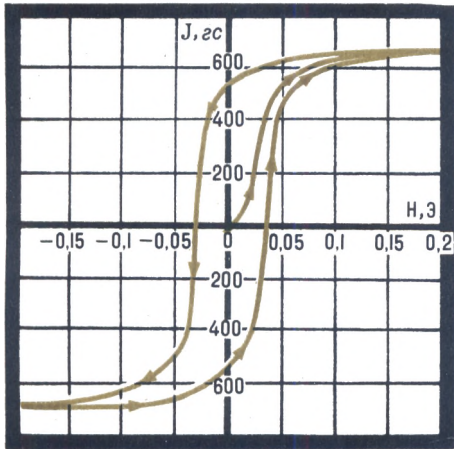


Рис. 20.

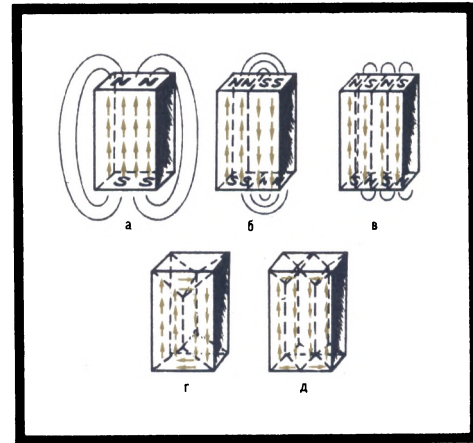


Рис. 22.

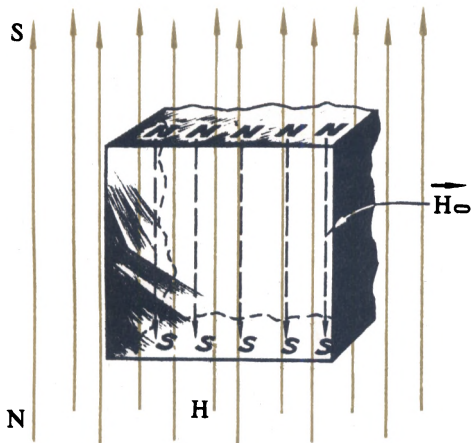


Рис. 21.

Рис. 19. Наглядная картина антиферромагнитного порядка в ферримагнетике (нескомпенсированный антиферромагнетизм); O — магнетнонейтральный анион металлоида, Me и Me' магнитоактивные катионы d- или f-металла

Рис. 20. Типичный вид зависимости намагниченности ферро- и ферримагнитного материала от внешнего магнитного поля — кривая намагниченности и петля гистерезиса (для сплава супермалой)

Рис. 21. Размагничивающий эффект поверхности намагниченного ферромагнитного образца. Поле, создаваемое полюсами образца внутри материала, направлено против внешнего поля H

Рис. 22. Простейшие типы разбиения ферромагнитного образца прямоугольной формы на домены: а — образец намагничен до насыщения, б, в — доменная структура без замыкающих областей, г, д — доменная структура с замыкающими областями

ваются к этим местам и обрисовывают выход домена на поверхность кристалла (полосы Битгера-Акулова, см. рис. 23). Можно также применять магнитооптический метод, использующий явление Керра или Фарадея, заключающееся во вращении плоскости поляризации света при его отражении от намагниченной среды или прохождении через нее. В последнее время используют и электронный микроскоп для наблюдения доменной структуры.

На рис. 24 показана типичная кривая намагничивания с размагниченным начальным состоянием. Здесь же показаны фотографии доменных структур, соответствующих различным участкам кривой. Поскольку направление поля в данном случае параллельно или антипараллельно намагниченности в доменах, весь процесс намагничивания идет только путем смещения границ доменов вплоть до полного уничтожения доменной структуры при насыщении. Если угол между полем и намагниченность доменов отличается от 0 или 180° , то после исчезновения доменной структуры начинается процесс вращения намагниченности в направлении поля.

Размеры доменов, их форма и энергия их границ сильно зависят от структурных неоднородностей, формы и размеров образцов и кристаллитов в них. Это определяет резкую структурную чувствительность магнитных свойств материалов. Вблизи дефекта намагниченность не может быть однородной, так как это ведет к возникновению магнитного поля рассеяния с большой энергией. Поэтому вблизи дефекта образуются местные доменные структуры, замыкающие магнитный поток. Благодаря образованию замыкающих областей дефекты оказывают задерживающее влияние на смещение границ доменов при намагничивании образца во внешнем поле. На рис. 25 показано, как дефект структуры «приклеивает» к себе границу. Для облегчения процессов смещения границ доменов материал должен быть очень чистый и однородный по структуре и составу.

Важно знать механизм перемагничивания ферромагнетиков, так как при практических их применениях они периодически намагничиваются в прямом и обратном направлениях. Это имеет место во всей переменноточной электротехнике — в трансформаторах, генераторах и моторах. Если после достижения магнитного насыщения снижать силу внешнего магнитного поля, то намагниченность, как правило, будет отставать от начальной кривой, описывая при полном цикле изменения поля петлю магнитного гистерезиса (рис. 20). При $H = 0$ имеем остаточную намагниченность (или остаточную индукцию).

Значение поля при $I=0$ или $B=0$ называется коэрцитивной силой, соответственно $I H_c$ и $B H_c$.

Для объяснения явления магнитного гистерезиса вводится представление о зародышах перемагничивания. На рис. 26 показан механизм возникновения и роста зародышей перемагничивания у края кристалла кобальта. С уменьшением поля от состояния насыщения образца ($H=2000$ э) вначале возникает «частотный» вторичных замыкающих мелких кинжалобразных доменов с обратной намагниченностью. При полях 500 э некоторые из этих областей начинают разрастаться, превращаясь в зародыши перемагничивания. При поле 100 э уже видна доменная структура.

Большой вклад в теорию и экспериментальное изучение явления магнитного гистерезиса внесли советские физики Н. С. Акулов, В. К. Аркадьев, К. П. Белов, Л. В. Киренский, Е. И. Кондорский, Я. С. Шур, Р. И. Янус и многие другие.

На магнитные свойства ферромагнитных образцов большое влияние оказывают их геометрические размеры, особенно, когда они становятся соизмеримыми с размерами домена, то есть когда магнитная структура из многодоменной превращается в однодоменную. Например, в случае чистого железа из-за изменения размеров образца от больших размеров до порошинок с диаметром в сотни Å коэрцитивная сила возрастает от сотых долей эрстеда до 1000 э, то есть на пять порядков. Проблеме однодоменности малых образцов посвящен ряд важных теоретических исследований советских физиков: Я. И. Френкеля и Я. Г. Дорфмана, Е. И. Кондорского, Я. С. Шура и других, а также зарубежных ученых Л. Нееля, Киттеля и других.

При оценке магнитных материалов следует исходить из двух основных требований. Необходимо иметь: (1) материалы, с помощью которых можно создавать максимальный магнитный поток при минимальном внешнем магнитном поле и при минимальных потерях энергии, то есть намагниченность в материале должна «легко следовать» за всеми изменениями внешнего поля; (2) материалы, которые сами являются создателями сильного и стабильного (по отношению к внешним полям, температуре и т. п.) магнитного потока. Такие материалы предвзрительно намагничиваются с помощью внешних источников

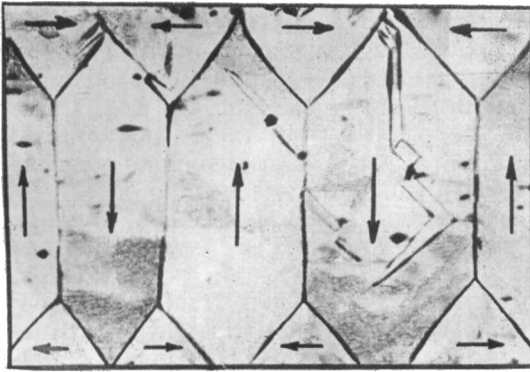


Рис. 23

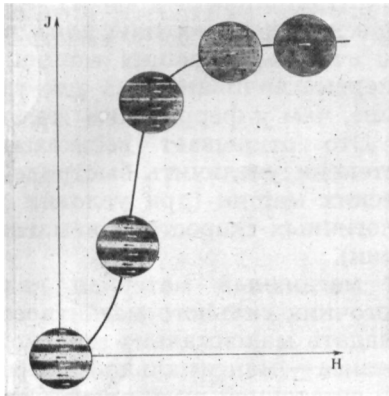


Рис. 24.

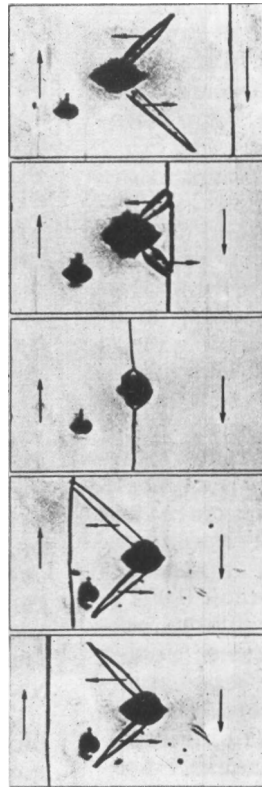


Рис. 25.

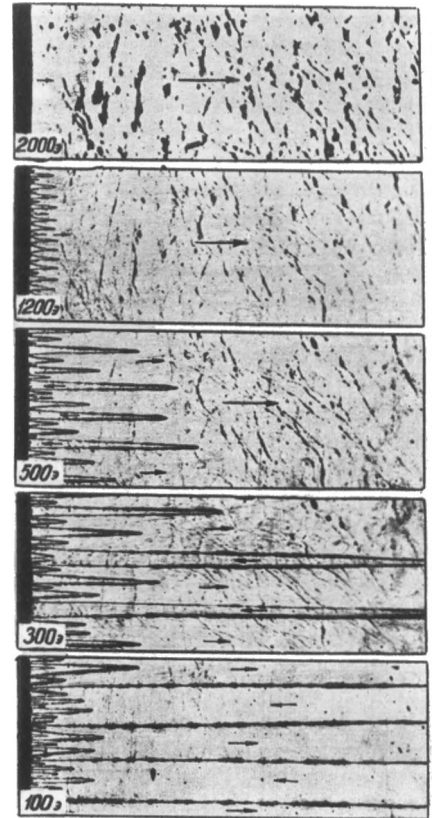


Рис. 26.

Рис. 23. Иллюстрация метода Биттера — Акулова — доменная структура монокристалла железо-кремнивого сплава (случай Ландау — Лифшица)

Рис. 24. Изменение доменной структуры в магнитном поле вдоль кривой намагничивания — от размагниченного состояния ($J = H = 0$) до насыщения вдоль кривой намагничивания

Рис. 25. Замыкающие вторичные (кинжаловидные) домены около дефекта структуры ферромагнитного кристалла и задержка смещения границы доменов дефектом

Рис. 26. Рост зародышей перемagnetизации у границы кристалла Co

Рис. 27. Наглядная картина миниатюрности радиоэлектронных схем с использованием магнитных материалов. На рисунке показан сердечник феррозонда в сравнении со спичечной головкой

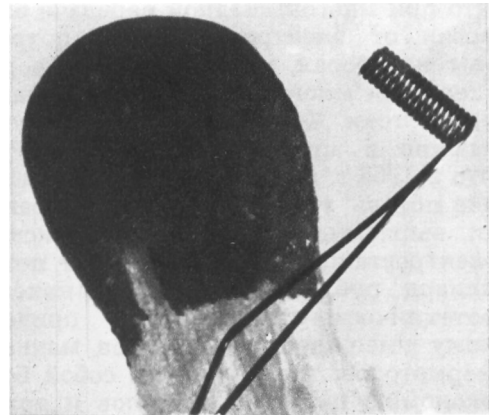


Рис. 27.

поля, а затем используются в состоянии остаточной намагниченности, то есть в качестве постоянных магнитов. Первые материалы принято называть мягкими магнитными материалами, а вторые — жесткими, или высококоэрцитивными.

Мягкий магнитный материал должен иметь большую проницаемость (крутой подъем кривой), насыщение, достигаемое в очень слабых полях, и очень узкую петлю гистерезиса с ничтожно малой коэрцитивной силой. Желательно также, чтобы эти материалы обладали высоким насыщением, высокой точкой Кюри (Нееля) и были плохими проводниками электрического тока, что обеспечивает малость потерь на токи Фуко при их перемагничивании. Примером предельно «мягкого» магнитного материала может служить супермалой: железо-никелевый сплав с добавками молибдена с начальной проницаемостью 10^5 гс/э, максимальной проницаемостью 10^6 гс/э и коэрцитивной силой 0,002 э.

Огромное значение мягких магнитных материалов в современной экономике может быть проиллюстрировано на примере трансформаторного и динамного листового железа (с примесью до 4% кремния). Количество и качество этих материалов определяют возможности энергооборудования страны, а следовательно, и ее экономическую мощь в целом. Годовое производство этих материалов во всем мире исчисляется многими миллионами тонн. Отсюда вытекает важность задачи создания электротехнических магнитных материалов самого высокого качества.

Чтобы подчеркнуть государственное значение проблемы усовершенствования мягких магнитных материалов, достаточно вспомнить, что при многокаскадной передаче электроэнергии от электростанции к потребителю, в генераторах, моторах и трансформаторах теряется много энергии на перемагничивание и токи Фуко в магнитных цепях этих машин и аппаратов. Достаточно указать, что в 1965 г. в масштабах СССР на возмещение потерь тратилась энергия, равная энергии, вырабатываемой двумя Волжскими гидроэлектростанциями. Это означает потери в миллиард рублей. Повышение качества электротехнического материала приводит к резкому уменьшению габаритов машин и трансформаторов, что влечет за собой большую экономию цветных металлов и других дефицитных материалов. Не случайно над этой проблемой интенсивно трудятся ученые и инженеры в сотнях лабораторий мира.

С каждым годом промышленность все

больше потребляет и другие мягкие магнитные материалы, в том числе и ферромагнитные полупроводники — ферриты, являющиеся незаменимыми материалами для СВЧ-техники. Ферриты играют также важнейшую роль как магнитные запоминающие устройства счетно-решающих машин.

Эти материалы появились лишь в конце второй мировой войны. В их разработке принимали участие голландский ученый Снук, французские физики Неель, Гийо. В СССР большую работу в этом направлении проделали Г. А. Смоленский, Н. Н. Шольц и другие. Последнее время уделяется большое внимание разработке тонких ферромагнитных пленок (толщиной ~ 1000 Å), которые сулят интересные перспективы для улучшения работы счетно-решающих машин. Скорость их перемагничивания на два-три порядка больше, чем у ферритовых магнитных элементов. Это открывает возможность в такой же степени увеличить быстродействие математических машин (при условии достижения аналогичных скоростей в немагнитных узлах машин).

Жесткий магнитный материал как стабильный источник сильного магнитного поля должен обладать максимально широкой петлей гистерезиса — максимальной коэрцитивной силой и остаточной индукцией. Основная форма применения этих материалов — постоянные магниты. Они широко используются в самых разнообразных областях техники и особенно приборостроения: в электроизмерительных приборах, репродукторах, звукозаписи, телефонах, электрических генераторах, магнитных линзах электронных микроскопов, катодных осциллографах, магнитных компасах и т. д. Магниты обычно служат для создания поля в воздушном зазоре между полюсами. Основные магнитные свойства, определяющие качество постоянного магнита, характеризуются размагничивающим участком петли гистерезиса от I_r (или B_r) до I_H (или B_H) (см. рис. 20).

В современной технике используются самые разнообразные магнитные материалы. Диапазон коэрцитивных сил распространяется от 10^{-3} э до 10^4 э, а максимальных проницаемостей от 1 до $5 \cdot 10^6$ гс/э. На рис. 27 показан сердечник феррозонда в сравнении со спичечной головкой. В создании магнитных материалов в СССР активное участие принимали Д. И. Габриэлян, А. С. Займовский, Б. Г. Лифшиц, В. С. Меськин, Я. С. Шур и многие другие.

Так как основная масса технических изделий ферромагнитна (железо, сталь), то откры-

вается широкая возможность для магнитного контроля их структуры (магнитный структурный анализ), прочности, а также для выявления дефектов (магнитная дефектоскопия). Основное преимущество магнитных методов контроля заключается в том, что они позволяют проводить испытание промышленных деталей без их разрушения. Это обеспечивает возможность сплошного контроля всей продукции на разных стадиях их производства и во время эксплуатации.

Эти методы поддаются автоматизации, и поэтому их применение особенно важно на современном этапе широкого развития автоматизации производственных процессов. В развитии магнитных методов контроля в СССР большую роль сыграли работы совет-

ских физиков Н. С. Акулова, Р. И. Януса, М. Н. Михеева и других. 381

Естественно, что в рамках одной статьи невозможно даже перечислить все многочисленные магнитные явления и их научные и технические применения. Интерес к магнетизму все время возрастает. Свидетельством этого служит все возрастающий поток научных статей, посвященных разработке различных аспектов магнетизма, а также рост числа научных конференций, совещаний и симпозиумов, посвященных различным проблемам магнетизма.

В заключение можно с полным основанием сказать, что физика магнитных явлений сулит нам в будущем много новых и неожиданных открытий.



ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ ПОПКОВ (р. 1908) — специалист в области электротехники высоких напряжений и электроэнергетики, академик, заведующий лабораторией высоких напряжений Научно-исследовательского энергетического института имени Г. М. Кржижановского в Москве. Председатель Научного совета по координации работ по использованию сильных электрических полей в промышленной технологии.

Родился в Москве в семье служащего. В 1931 окончил Московский энергетический институт, получив диплом инженера-электрика. Первое время работал по электрооборудованию на металлургическом заводе на Украине, затем в качестве научного сотрудника во Всесоюзном электротехническом институте в Москве. Первая научная работа была посвящена изучению протекания токов молнии в земле, занимался также исследованием грозовых аварий в энергосистемах и разработкой средств их предупреждения. Далее на долгое время внимание В. И. Попкова привлекло явление коронного разряда, на первой стадии — в связи с использованием его в промышленных устройствах — электрофильтрах. В военные годы работал энергетиком завода, в 1943 вернулся к научной работе, поступив в аспирантуру Академии наук СССР. В 1948 защитил диссертацию, посвященную изучению физического механизма и теории коронного разряда на линиях передачи энергии постоянным током, за которую была присуждена сразу степень доктора технических наук. В дальнейшем В. И. Попковым были развиты методы исследования

электрических полей с объемным зарядом, изучены особенности физического механизма и проявлений коронного разряда при переменном токе и в переходном процессе, предложены методы их расчета. Изучен ряд других форм разряда при весьма высоких напряжениях. В целом было заложено плодотворное направление исследований, особенностью которого явилось решение технических проблем на основе изучения тонкой структуры электрических полей, движения объемных зарядов и элементарных газоразрядных процессов (электрофизики процесса).

В 1953 В. И. Попков был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1966 — академиком.

В. И. Попков много внимания уделял также изучению общих проблем энергетики и в особенности проблеме передачи энергии. В 1965 премией АН СССР был удостоен цикл работ В. И. Попкова и его сотрудников по созданию оригинального метода измерений, позволившего впервые в мировой практике осуществить исследование потерь энергии на корону непосредственно на действующих электропередачах сверхвысокого напряжения.

В последние годы В. И. Попков уделяет большое внимание исследованию взаимодействия сильных электрических полей и диспергированных материалов как основы новых процессов электротехнологии.

ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ ПОПКОВ

ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Задачи повышения пропускной способности мощности электропередач возникают во многих странах, но они особенно актуальны в Советском Союзе в связи с высоким темпом роста выработки электроэнергии (утроение за каждые 10 лет) и с последовательно проводимым, начиная с первого плана электрификации — плана ГОЭЛРО (1920 г.), принципом максимальной централизации энергоснабжения вплоть до создания Единой энергетической системы всего Советского Союза.

В условиях Советского Союза, имеющего количественно неисчерпаемые, но географически невыгодно распределенные энергоресурсы, особо актуальна и другая проблема — увеличение дальности передачи энергии.

Вовлечение все более удаленных энергоресурсов, как и увеличение географических масштабов межсистемных связей, ставили и ставят перед советской энергетической наукой

задачи о дальности передачи, не имевшие и не имеющие аналогов в других странах. Разумеется, что повышение мощности и увеличение дальности должно всегда сочетаться с требованием экономичности передачи. Более того, стоимость транспорта энергии, определяемая затратами на сооружения и стоимостью потерь энергии в передачах, должна снижаться соответственно постоянному снижению стоимости ее выработки и в ряде случаев должна конкурировать со стоимостью транспорта топлива (колесного транспорта твердого топлива и трубопроводного — нефти и газа).

Здесь нужно пояснить, что является мерой дальности передачи.

Совершенно не одно и то же, будет ли 1000-километровая линия состоять из двух 500-километровых участков, соединяющих 3 энергосистемы (подобные проблемы решаются в ряде стран), или линия соединяет две

384 системы, удаленные на 1000 км, что характерно для проблемы, впервые решавшейся в нашей стране.

Различие в сложности научных, технических и технико-экономических проблем, возникающих в двух подобных ситуациях, напоминает различие проблем постройки длинного, но многопролетного моста с промежуточными опорами или однопролетного моста той же длины.

Особенно характерно это различие для наиболее распространенной пока техники передачи энергии переменным током, при которой, начиная с определенной длины, и именно при длине более 500—600 км, все более проявляется волновой характер распространения энергии электромагнитного поля вдоль проводов линии. При частоте 50 гц длина волны, распространяющейся по проводам открытой линии со скоростью света, равна 6000 км. Поэтому при коротких линиях с волновыми процессами можно не считаться. Но они становятся все более определяющими с приближением длины линии к 1500 км — длине $1/4$ волны, когда пропускная способность передачи стремится к нулю. При этом возникает ряд неприятных явлений: начинает сказываться неравномерность распределения напряжения по длине линии (узлы и пучности волны); помимо движения полезной (активной) энергии происходит циркуляция в линии соизмеримых количеств, так называемой реактивной энергии, то есть перетоки энергий электрического и магнитного полей передачи, приводящие к дополнительным джоулевым потерям энергии; усложняются условия синхронной работы в нормальном и аварийном режимах энергосистем, связанных длинной линией, так называемые проблемы статической и динамической устойчивости передачи; наконец, снижается пропускная способность передачи в связи с существованием некоего предела мощности, которую вообще можно передать переменным током, предела, зависящего от волнового сопротивления линии, ее «волновой длины» и высоты напряжения.

Одно время в литературе высказывалось даже твердое убеждение в невозможности преодоления расстояния более 500—600 км, используя технику переменного тока.

Развитие теории процессов, связанных с дальней передачей энергии, и многочисленные технические разработки привели к рациональной системе мер, позволяющей в той или иной степени преодолеть все эти неприятные явления. Они сводятся так или иначе к настройке, согласованию параметров кон-

цевых устройств передачи с параметрами линии, снижению ее волнового сопротивления, искусственному сокращению «волновой длины» (уход от опасного предела $1/4$ волны), использованию быстродействующего регулирования генераторов для повышения устойчивости их синхронной работы (работы в зоне искусственной устойчивости) и, главное, к применению все более высоких напряжений.

Все это приблизительно характеризует тот комплекс задач, которые приходилось решать и в научном, и в техническом плане, чтобы расширить возможности передачи энергии переменным током.

Советская энергетика имеет значительные успехи в этой области. С 1959 г. построены уникальные по своим параметрам передачи трехфазным током сверхвысокого напряжения 500 кВ, перекрывающие расстояния до 1000 км и с пропускной способностью до 1000 мвт на одну цепь.

Долгое время эти передачи являлись рекордными по высоте напряжения. Они и сейчас остаются непревзойденными в отношении дальности транспорта энергии и пропускной способности.

В настоящее время общая протяженность по трассе электропередач класса 500 кВ составляет уже более 8000 км. Они позволили создать Единую энергосистему всей европейской части Союза с общей мощностью объединяемых электростанций около 70 млн. кВт.

Но даже пропускная способность передач класса 500 кВ в ряде случаев оказывается недостаточной и уже пущена первая в Союзе передача с напряжением 750 кВ и сооружается ряд других.

Предвидение все нарастающих трудностей повышения дальности и мощности передач, свойственных системе переменного тока, вызвало к жизни еще в начале 50-х годов широкие исследования и технические разработки в области передач постоянным током высокого напряжения. Подобные передачи имеют по концам линии группы управляемых вентилей, преобразующих на одном конце трехфазный переменный ток высокого напряжения в ток постоянный (выпрямительный режим), а на другом конце линии, принимающем энергию, постоянный ток преобразуется в трехфазный переменный (инверторный режим). Таким образом, энергосистемы переменного тока оказываются связанными двухпроводными линиями, в которых протекает постоянный ток высокого напряжения.

Естественно, что в линии, обтекаемой постоянным током, не имеют места, по крайней мере в нормальном режиме, волновые про-

цессы. Соответственно нет тех ограничений для пропускной способности и дальности передачи, которые проявляются при переменном токе. Не возникают и проблемы устойчивости передачи. При отсутствии перетоков реактивной энергии более выгодно используются провода линии, а быстродействующее управление режимом передачи путем воздействия на управляющие сетки вентилей ограничивает неприятные переходные процессы.

Все это делает в определенных условиях постоянный ток конкурентоспособным в сравнении с трехфазным, в особенности, когда экономия в стоимости линии и потерях в ней энергии компенсирует затраты на устройства преобразования тока и потери энергии в вентиллях.

При сухопутных передачах граница равной экономичности, как показывают исследования, лежит около 1000-километровой длины транзитной линии. В отличие от разработок в ряде стран коротких передач постоянного тока подводными кабелями, советские исследователи шли иными путями. Потребовался широкий комплекс научных, технических и экономических проблем создания весьма мощных электропередач с воздушными линиями, перекрывающими большие расстояния, в аспектах как транспорта энергии, так и роли подобных передач как межсистемных связей с учетом их влияния на проблемы устойчивости объединяемых систем переменного тока.

Практически первая передача небольшой мощности (30 Мвт) и умеренного напряжения (± 100 кВ) была сооружена еще в 1950 г. С 1962 г. работает 500-километровая передача промышленного типа мощностью 750 Мвт при напряжении ± 400 кВ относительно земли или 800 кВ между проводами, связывающая южную энергосистему (Донбасс) с волжскими станциями (Волгоград) в рамках ЕЭС европейской части страны.

Сейчас советская наука и техника в области передачи энергии стоят на пороге новых принципиальных решений, далеко превосходящих по своей сложности те задачи, которые решались ими до сих пор.

Речь идет прежде всего о транссибирских передачах, которые свяжут с европейской частью страны развивающуюся энергетику Центральной Сибири с ее богатейшими энергоресурсами. Это будут передачи новых классов, перекрывающие расстояния в 2,5 тыс. км до Урала и 4,5 тыс. км до европейской части, с мощностью 5, 10 и даже 20 тыс. Мвт на одну цепь линии.

Здесь потребуются гораздо большие напря-

жения до 1000—1250 кВ при переменном токе или еще более мощные передачи постоянным током с напряжением 1500 кВ (± 750 кВ) и даже 2500 кВ (± 1250 кВ).

ВЫСОКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Если из всего обилия научно-технических задач можно выделить главнейшую проблему в области передачи электроэнергии, то это, бесспорно, будет проблема повышения напряжения.

С начала нашего века прогресс в области электроэнергетики сопровождался и обеспечивался применением все более высоких напряжений. Наблюдаемая «гонка напряжений», когда, только что освоив линии 500 кВ, уже строят передачи 750 кВ и разрабатывают научно-технические основы передач еще более высоких классов напряжения, вполне закономерна. В техническом плане она определяется тем, что как при технике переменного, так и постоянного тока, мощность передач, их пропускная способность возрастают при сохранении к. п. д. пропорционально квадрату напряжения, тогда как стоимость сооружений до сих пор возрастала пропорционально первой степени напряжения. Ясно, что освоение новой ступени напряжения достигалось отнюдь не экстраполяцией уже найденных технических решений, а сопровождалось каждый раз все нарастающим объемом и глубиной научных поисков и технических разработок.

Все большая детализация исследований, создающих научные основы техники передачи, станет понятной в свете того факта, что современные передачи — весьма и весьма дорогие сооружения, и как бы ни усложнялись связанные с ними электрофизические процессы, все более исключается возможность перекрыть степень незнания их излишними запасами в инженерных решениях.

Если говорить о специфических проблемах, связанных непосредственно с применением все более высоких напряжений, то это, безусловно, будут проблемы изоляции и короны. В одном отношении эти проблемы сходны. Хотя в устройствах передачи применяются различные виды внешней и внутренней (то есть внутри аппаратов) изоляций разнообразных конструктивных форм, в конечном счете степень изолированности устройств передачи, так же как и явление короны, определяются диэлектрическими свойствами атмосферного воздуха, окружающего линию и аппаратуру подстанций*. В известном смыс-

* Мы говорим исключительно о наиболее распространенных открытых передачах.

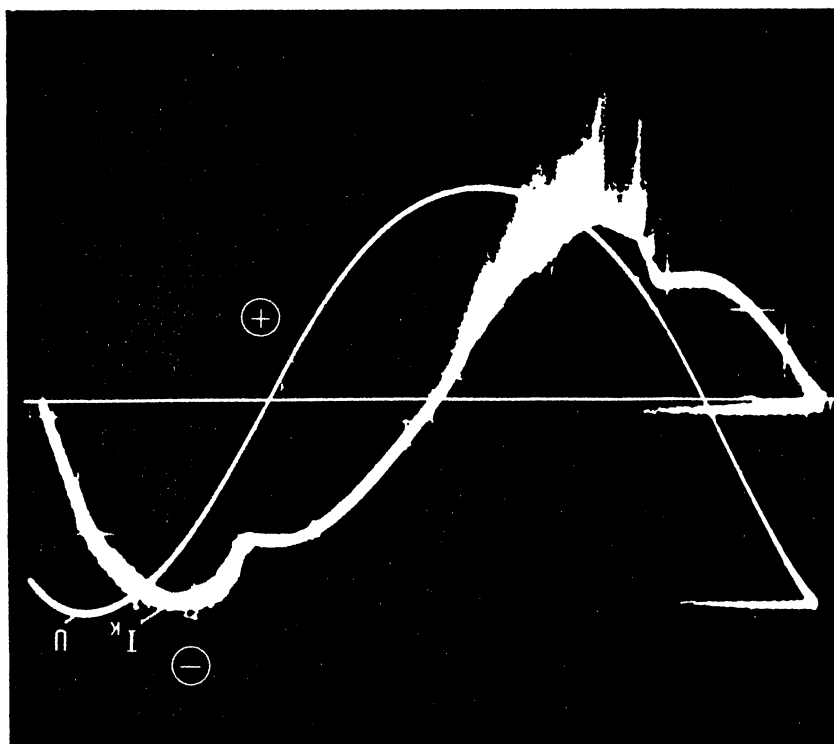


Рис. 1. Свечение и ток короны переменного тока. Осциллограмма тока короны при переменном напряжении. Справа: А — стробфотография свечения короны в отрицательный полупериод напряжения. Б — стробфотография свечения короны

ле — это общее несчастье для обеих проблем. Хотя напряжения передач поднялись от нескольких десятков киловольт в начале века почти до тысячи киловольт в наше время, воздух, как изолирующая среда, остается все тем же, со всеми его недостатками.

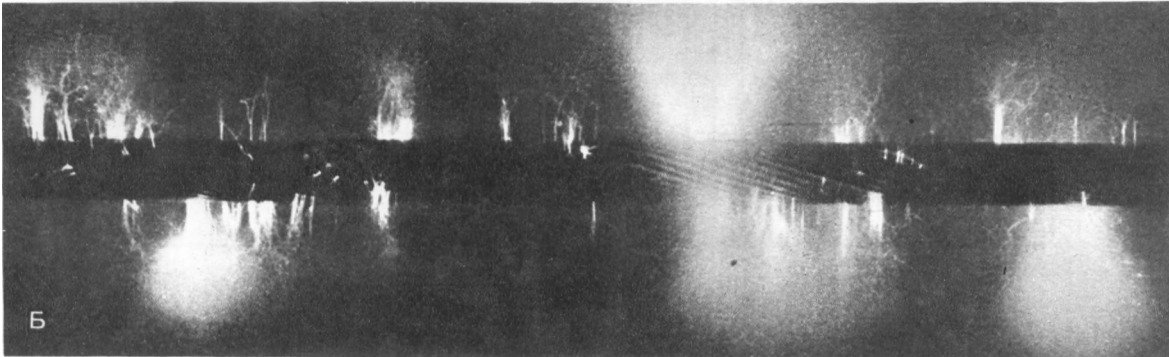
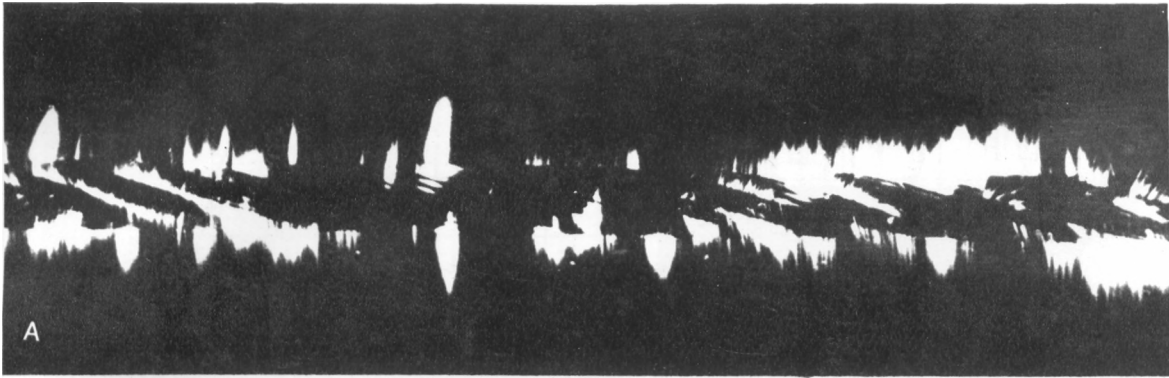
В этой связи возникает естественный вопрос о том, как далеко удастся идти дальше по пути повышения напряжений и не придется ли искать новые решения проблем передачи энергии?

ПРОБЛЕМЫ КОРОНЫ

Коронным разрядом называют обычно форму стационарного электрического разряда в

газе, возникающего локализованно у поверхности электрода, находящегося в достаточно сильном и неоднородном электрическом поле. Ореол бело-фиолетового свечения, окружающий коронирующий электрод, в некоторых случаях несколько подобен виду солнечной короны, что и дало повод к названию. Со средних веков это явление было известно под названием «огней Святого Эльма», наблюдавшихся на шпилях башен и мачтах кораблей в поле грозовых облаков, а еще ранее того на пиках солдат Цезаря, о чем упоминается в «Комментариях к Галльской войне».

Это в общем мирное явление уже давно привлекает внимание исследователей в той связи, что оно оказывается фактором, суще-



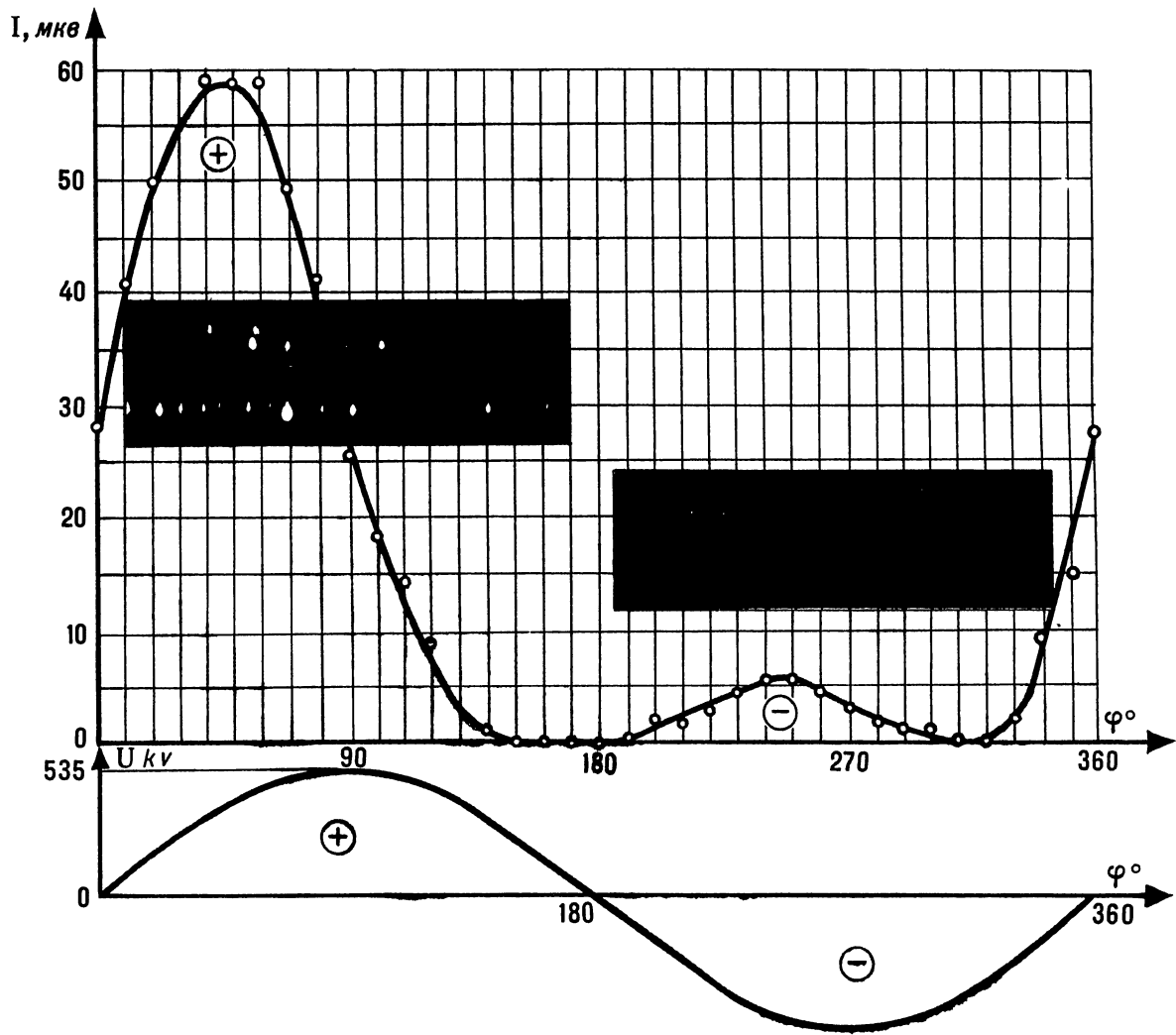
в положительный полупериод, так называемая стримерная форма короны. Сталь-алюминиевый витой провод диаметром 29,3 мм, напряжение $u = 342$ кВ. На осциллограмме видны высокочастотные колебания тока стримерной короны, обуславливающие радиопомехи

ственно влияющим на выбор наиболее дорогой части передачи — проводов линии, то есть их конструкции и размеров.

В сущности, это лимитирующий фактор для применения слишком высоких напряжений или слишком «тонких» проводов. Слово «тонкие» здесь применено весьма условно. В современных передачах с их высокими напряжениями и большими мощностями пришлось бы подвешивать скорее трубы, чем провода, и довольно большого диаметра, если бы не остроумная идея, впервые высказанная академиком В. Ф. Миткевичем (1910 г.) о полезности расщепления проводов, то есть применения на каждом полюсе (фазе) линии вместо одного — пучка из нескольких более тонких

проводов, разнесенных на расстояние в несколько десятков сантиметров. Электрическое поле такого расщепленного провода в ряде отношений эквивалентно полю проводника весьма большого диаметра, что полезно и для ослабления напряженности поля у поверхности электрода, сдвигающего порог возникновения короны в область более высоких напряжений, и для снижения волнового сопротивления линии, упомянутого выше.

На одну цепь 1000-километровой линии 500 кВ, например с расщеплением фазового провода на 3 составляющие, подвешивается около 17 тыс. т сталь-алюминиевых проводов; естественно, что в выборе конструкции и размеров проводов инженер стеснен рамка-



ми и их стоимости, и возможных последствий слишком интенсивной короны.

Наибольшую заботу вызывают два неприятных явления, сопровождающих коронный разряд на проводах, — потери энергии и возникновение высокочастотного излучения — радиопомех вблизи высоковольтных линий.

Первое обуславливается ионизацией воздуха лавинами электронов вблизи поверхности проводов (область наиболее сильного поля); движением потоков образовавшихся ионов в поле проводов (так называемый «ток короны»); передачей энергии, приобретаемой ионами в поле, нейтральным молекулам газа, то есть рассеянием энергии, называемым «потерями на корону». Возбуждение части

молекул, как и рекомбинация части ионов, обуславливают излучение в видимой и ультрафиолетовой частях спектра — свечение короны, а разрывность процессов ионизации во времени приводит к появлению высокочастотной составляющей в токе короны и излучению в спектре радиочастот (радиопомехи от короны). Это вполне корректное описание процесса могло бы удовлетворить любознательность неспециалиста, но не профессиональный интерес инженера, который должен с достаточной точностью рассчитать для еще не созданной линии и возможную величину потерь, и численный уровень помех.

Все крайне усложняется влиянием метеорологических факторов. Пока еще удастся не

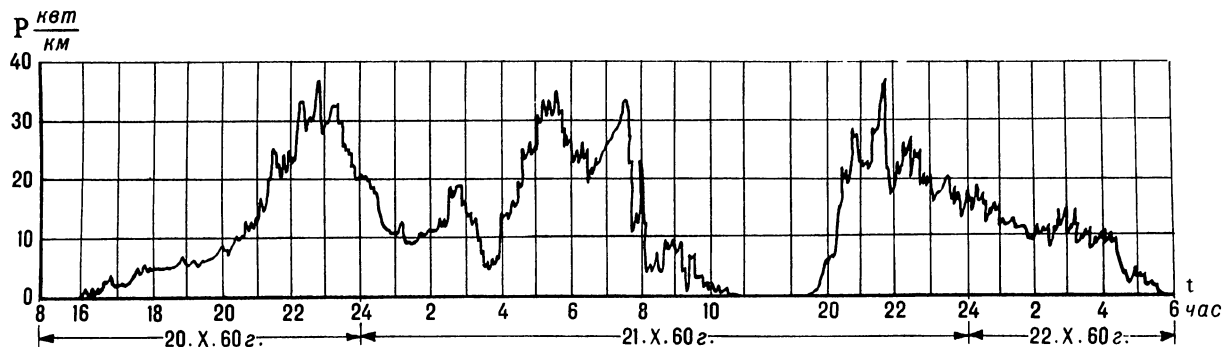


Рис. 3. Потери энергии на корону, зарегистрированные по методу, схема которого представлена на рис. 9, на трехфазной передаче 500 кВ вблизи Москвы. Метеоусловия: 20 октября 1960 г. дождь при отрицательной температуре воздуха привел к образованию на проводах гололеда, который к утру 21 октября растаял. Вечером 21 октября шел мокрый снег

Рис. 2. Стробофотограмма уровня радиоизлучения на частоте 0,22 МГц короны переменного тока в положительный и отрицательный полупериоды напряжения 50 Гц. Расщепленный провод состоит из 3 составляющих витых сталь-алюминиевых проводов диаметром 22,7 мм, расположенных по углам треугольника со стороной 300 мм; напряжение 535 кВ. Основную долю радиоизлучения создает стримерная положительная корона

в ущерб экономике так ограничить поле у провода, чтобы при сухой и чистой его поверхности («хорошая» погода) интенсивность короны была бы достаточно малой. Но картина резко меняется в «плохую» погоду. В дождь, снег, иней, изморозь, гололед, даже при тумане появление осадков на проводах вызывает локальное усиление поля (как бы появление острий на гладком проводе) и интенсивное развитие короны. «Рекордная» цифра мощности потерь на корону (правда, кратковременных), которую нам удалось в этих условиях зарегистрировать на одной из действующих передач 500 кВ (мы далее скажем, как это удастся сделать), составила 370 кВт на один километр длины линии. Это

может быть и немного для одного километра, однако протяженность передач измеряется в тысячах километров. Да и «среднегодовые» потери энергии на корону при влиянии всего «спектра погод» за год составили около 100 000 кВт-ч на один километр одной линии. Таковы масштабы «огней святого Эльма» в условиях среднерусского климата.

Практическая важность выяснения количественных характеристик коронного разряда, влияния на них конструктивных, метеорологических и режимных факторов вызвала к жизни в ряде стран многочисленные исследования технического плана. Они проводятся на небольших (длиной в несколько километров) участках специальных опытных линий,

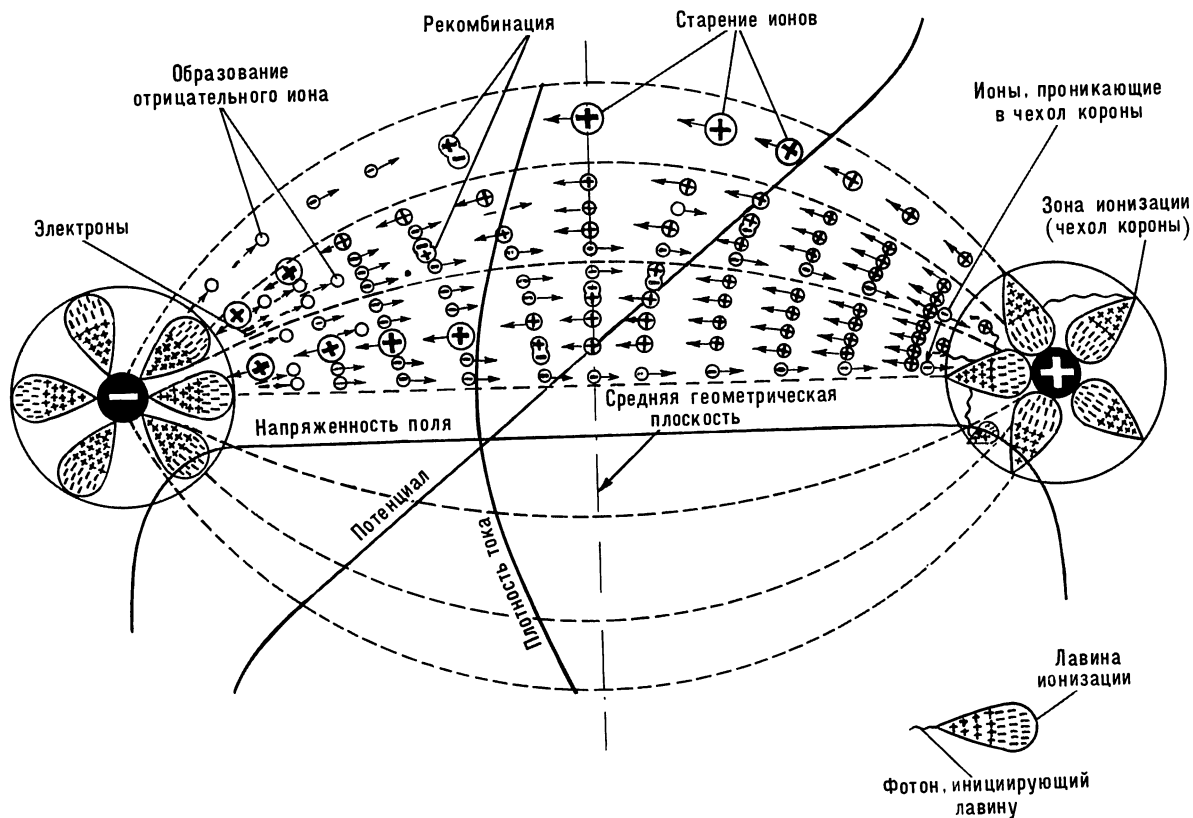


Рис. 4. Стилизованная схема процесса биполярной короны постоянного тока

выполненных с практическими габаритами, питаемых от источников с регулируемым напряжением и оснащенных многочисленной измерительной аппаратурой. Такой чисто эмпирический подход, при всей его полезности, требует с каждым новым проектом создания все новых и дорогих установок, долговременных измерений, при этом он все же не исчерпывает многообразия требуемых сведений.

Подобные измерения проводятся и в нашей стране. Для советских исследований, наряду с изучением технических характеристик, характерным являлось большое внимание к вопросам физического механизма и к теории коронного разряда. Результаты таких акаде-

мических исследований в ряде случаев имели полезный выход в практику, создавали научные основы для решения инженерных проблем и даже указали новый путь для чисто технических измерений.

Принципиальное значение имело раскрытие главной особенности в механизме коронного разряда, выделяющей его из других форм разряда в газе, позволяющей дать научное его определение (отличное от феноменологического, которым для наглядности мы воспользовались выше*) и, главное, указав-

* В частности, это определение характерно для современной зарубежной монографической литературы.

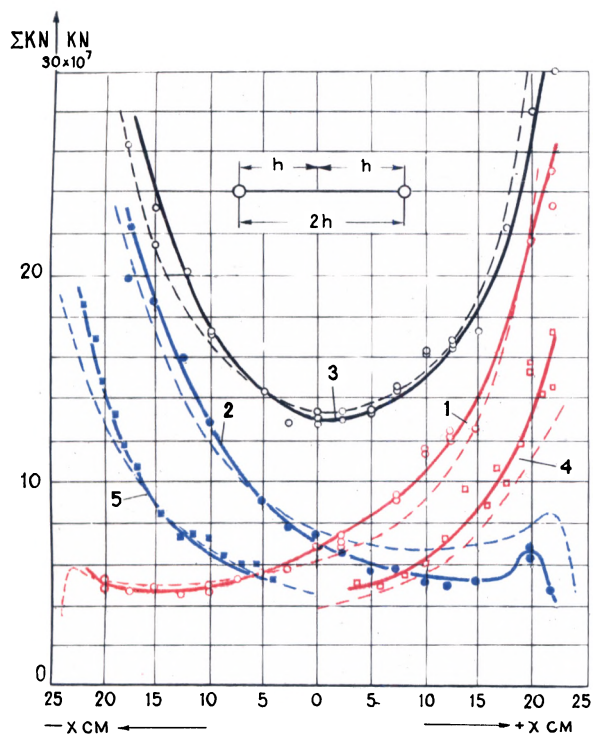


Рис. 5. Распределение произведения плотностей ионов (N) и их подвижности (K) по центральной силовой линии, измеренное зондами в поле короны. Проволочки диаметром 1,12 мм.

Биполярная корона

Две проволоки, $2h = 50$ см, $2v = 90$ кв

1 — положительные ионы K^+N^+ ; 2 — отрицательные ионы K^-N^- ; 3 — сумма $K^+N^+ + K^-N^- = \Sigma KN$

Униполярная корона

Провод — плоскость, $h = 25$ см, $v = 45$ кв

4 — положительные ионы K^+N^+ . 5 — отрицательные ионы K^-N^-

Сплошные кривые — данные измерений, пунктирные — теоретически рассчитанные

шей плодотворное направление для глубоких исследований.

Чтобы пояснить суть дела, представим себе все поле коронирующего электрода разделенным как бы на две зоны: узкую зону (от десятых долей до десятка сантиметров), примыкающую к электроду, с наиболее сильным полем, где и происходят все процессы ионизации газа (зона ионизации); и всю остальную часть межэлектродного пространства с более слабым полем, заполненную потоком газовых ионов, транспортируемых силами поля из зоны ионизации. Полярность этих ионов совпадает со знаком заряда на коронирующем электроде, и поэтому объемный заряд внешней зоны должен в общем ослаблять напря-

женность поля в зоне ионизации и соответственно ограничивать ее интенсивность. Таким образом, строго говоря, корона является формой разряда, интенсивность которого ограничивается объемным зарядом ионов внешней зоны.

Но главная особенность взаимодействия процессов в обеих зонах такова, что при всех условиях создается только такой поток ионов во внешней зоне, при котором напряженность поля на поверхности коронирующего электрода ограничивается на уровне некой, вполне определенной постоянной величины (критическая напряженность), минимально необходимой для поддержания ионизации, зависящей в основном от радиуса кривизны элек-

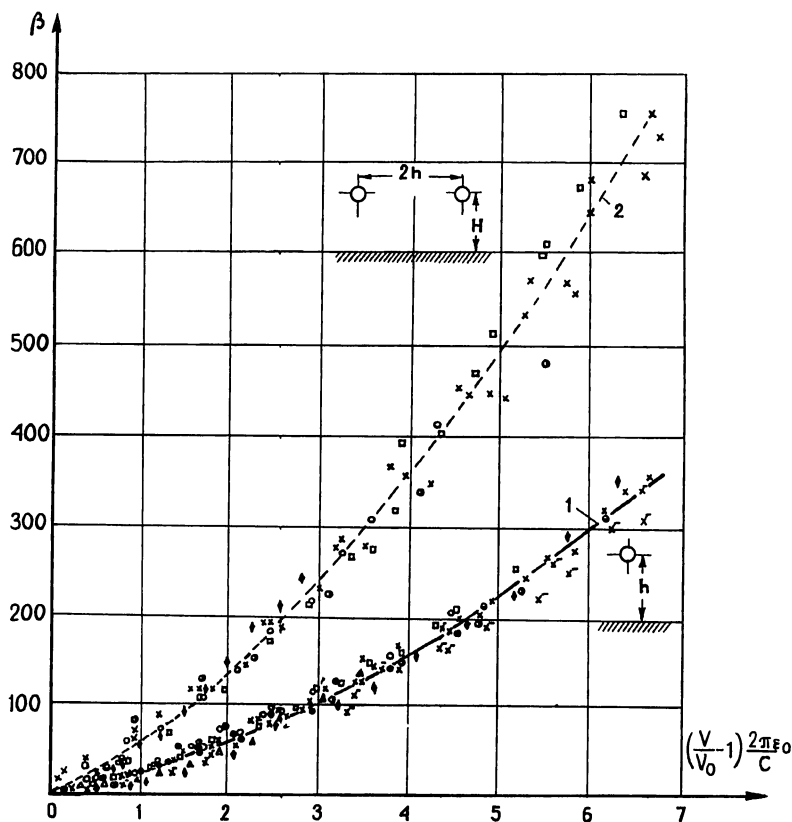


Рис. 6. Обобщенные вольт-амперные зависимости для униполярной (1) и биполярной короны (2) на различных сухих и мокрых проводах по данным лабораторных измерений

$$\beta = \frac{2I}{k\epsilon_0} \left(\frac{h/r}{E_0} \right)^2$$

I — ток (в амперах на 1 см длины провода),
 v — приложенное напряжение (кв),
 v_0 и E_0 — напряжение и напряженность поля начала короны (кв и кв/см),
 C — емкость провода (ф/см)

трода. Это положение теоретически было доказано в советской литературе еще в 1936 г., и оно явилось истоком для целого направления советских исследований, развившихся также и автором этих строк и его сотрудниками, сосредоточившими внимание на экспериментальном (методами зондирования) и теоретическом изучении тонкой структуры электрического поля, характере распределения и движения потоков ионов, как и параметров элементарных процессов, происходящих во внешней зоне разряда.

Именно отсюда, от анализа картины процессов во внешней зоне, удалось подойти и к расшифровке особенностей физического механизма различных форм коронного раз-

ряда — униполярного и биполярного при постоянном напряжении, в переходном процессе и при переменном токе, и дать теоретическое их описание. В тех случаях, когда не удавалось найти полное теоретическое описание, и это особенно относится к более сложному процессу при переменном токе, широко использовались методы теории подобия, позволявшие из анализа структуры дифференциальных уравнений найти критериальные соотношения между определяющими параметрами. Они широко использовались и для обобщения данных экспериментов, и для практического расчета.

Представляя познавательный интерес, упомянутые исследования приводили вместе с

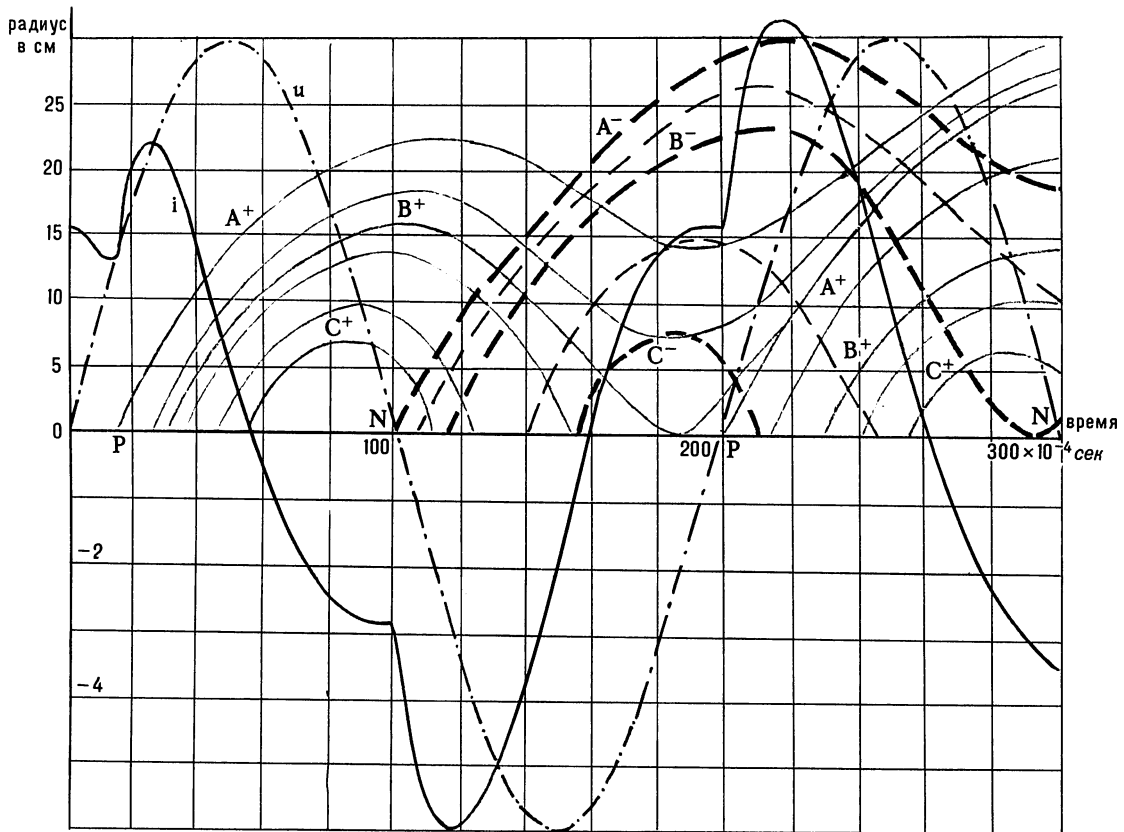


Рис. 7. Графики движения ионов (радиусы удаления от провода) в поле короны переменного тока. Провод диаметром 3 мм, u — кривая изменения напряжения, i — ток короны. A^+ , B^+ , C^+ — графики движения характерных слоев положительных ионов; A^- , B^- , C^- — графики движения характерных слоев отрицательных ионов, P — момент вспышки положительной короны, N — момент вспышки отрицательной короны

тем и к ряду принципиальных выводов практического значения. Мы проиллюстрируем это несколькими примерами.

Применительно к передаче постоянного тока оказываются возможными два различных по физическому механизму вида коронного разряда, в зависимости от того, будет ли она выполнена в виде двух однопроводных линий, достаточно удаленных друг от друга, или провода обоих полюсов — положительного и отрицательного — будут расположены на одной опоре. В первом случае возникнет униполярная корона, общая схема процесса которой ясна из предыдущего. Во втором случае совсем не будет простого сложения двух униполярных корон разного знака. Возникает

особая форма биполярной короны с гораздо большим уровнем потерь энергии. Общая схема этого процесса, как она выяснилась в результате зондирования поля внешней зоны, показана в упрощенном виде на приведенной схеме.

Если не входить в детали, то главное здесь в том, что наличие разнополярных ионов ослабляет тормозящий эффект объемного заряда внешней зоны и приводит к взаимному усилению короны на обоих проводах. Это усиление вообще продолжалось бы до бесконечности (искровой разряд), если бы не процесс рекомбинации ионов с образованием нейтральных молекул, который все же оставляет некоторый избыток ионов совпадающего зна-

Рис. 8. Изменение во времени потерь мощности и энергии на корону переменного тока

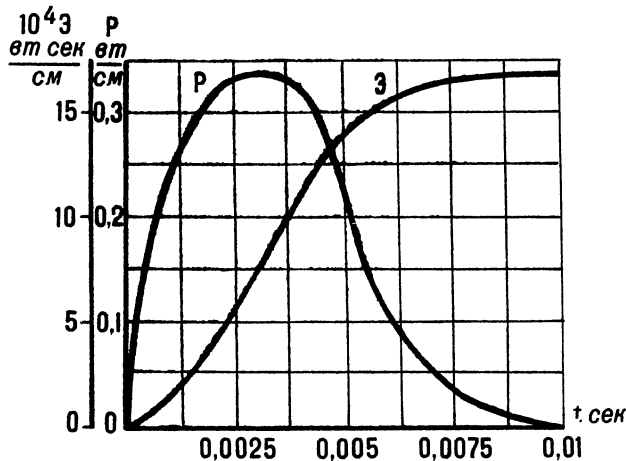


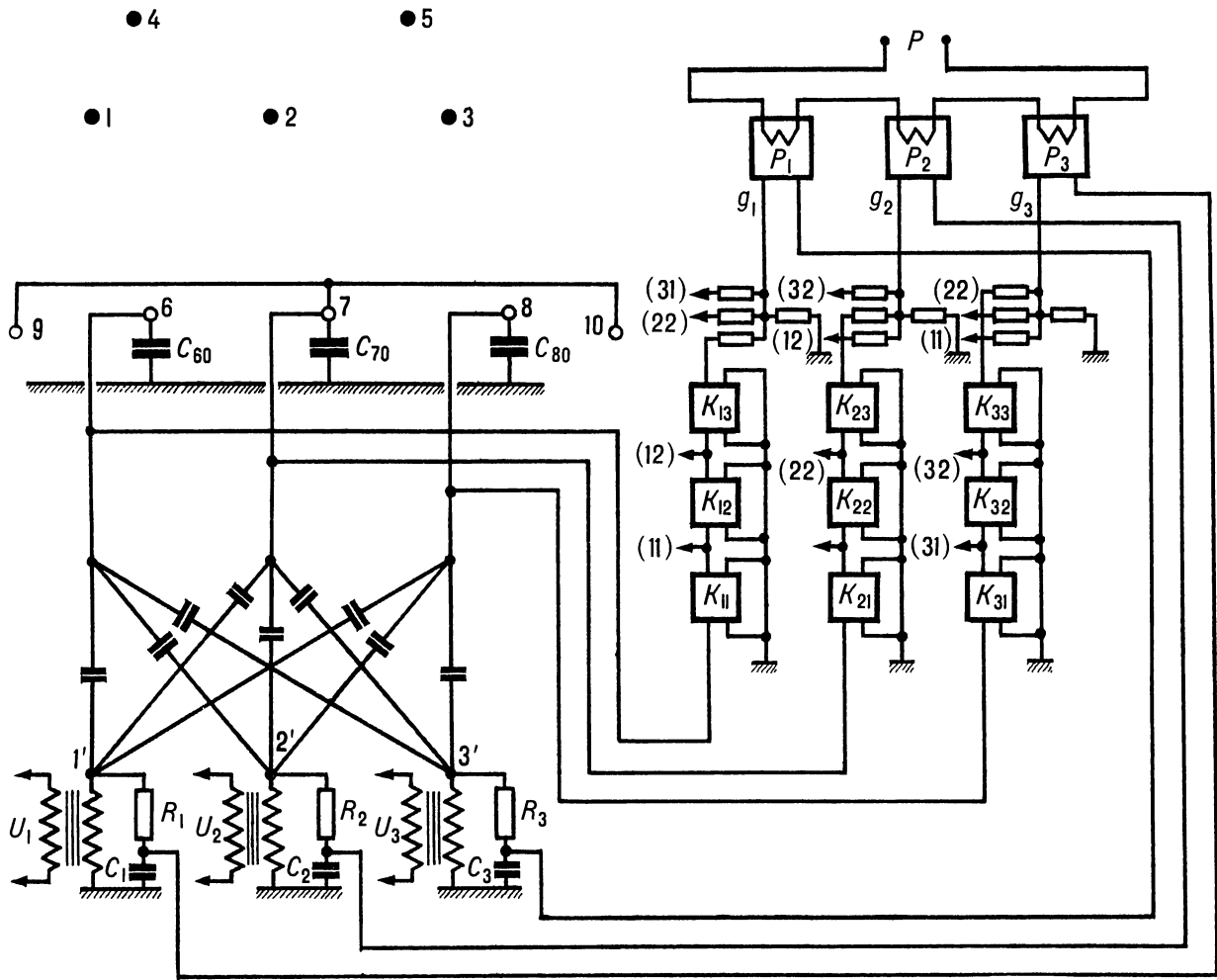
Рис. 9. Схема измерения потерь мощности на корону непосредственно на действующих электропередачах: 1, 2, 3 — провода линии; 4, 5 — защитные тросы; 6, 7, 8, 9, 10 — измерительные антенны

ка у каждого из проводов, обеспечивающих ограничение интенсивности в указанном выше смысле, хотя и на ином, более высоком уровне потерь. На рис. 5 показано соотношение плотностей ионов каждого знака в пространстве*, имеющее место в униполярном и биполярном случаях (кривые 1, 4 и 2, 5) в сопоставимых условиях. Поскольку ток короны пропорционален сумме плотностей ионов обоих знаков (кривая 3), то он должен быть значительно большим при биполярной короне, как это и видно на рис. 6.

* Ввиду особенностей зондовых измерений здесь представлена плотность ионов N , умноженная на их подвижность K .

Здесь зависимость тока (I), отнесенного к одному проводу, от напряжения (V) на проводах для обоих случаев представлена в обобщенных координатах, позволивших суммировать данные многочисленных опытов с гладкими проволоками и витыми сталь-алюминиевыми проводами диаметром от 1 до 37 мм, как при сухой погоде, так и при искусственном дожде, а также и при других вариациях условий опыта.

Если учесть, что соотношение потерь энергии пропорционально соотношению токов (рис. 6), то ясно, насколько важно было предвидеть подобные особенности передач постоянного тока. Отметим, что эти их свойства, как и ряд других, были предсказаны на осно-



ве исследований физического плана задолго до появления практических передач.

Другой вопрос, также имеющий принципиальное значение, касается соотношения потерь на корону при постоянном и переменном токе. И здесь интересен ответ не применительно к частным условиям, а в самом общем виде, базирующийся на решающих особенностях физического механизма в обоих случаях. Главное отличие определяется размерами внешней зоны.

При постоянном напряжении потоки ионов заполняют все межэлектродное пространство между двумя проводами или между проводом и землей. Экранирующий эффект в указанном выше смысле может быть осуществлен

при относительно малой плотности ионов, что определяет соответственно малые токи и потери.

В переменном поле область внешней зоны сужена ввиду кратковременности пробега ионов. Соответственно возникают высокая их плотность и высокие мгновенные потери мощности. Но, с другой стороны, сокращается время потерь при переменном напряжении. Корона всегда гаснет вскоре после максимума напряжения, а зажигается либо вблизи максимума (условия «хорошей погоды», когда потери при переменном напряжении могут быть меньше, чем при постоянном), либо задолго до максимума — при наличии осадков на проводах. Правильный учет всех обстоя-

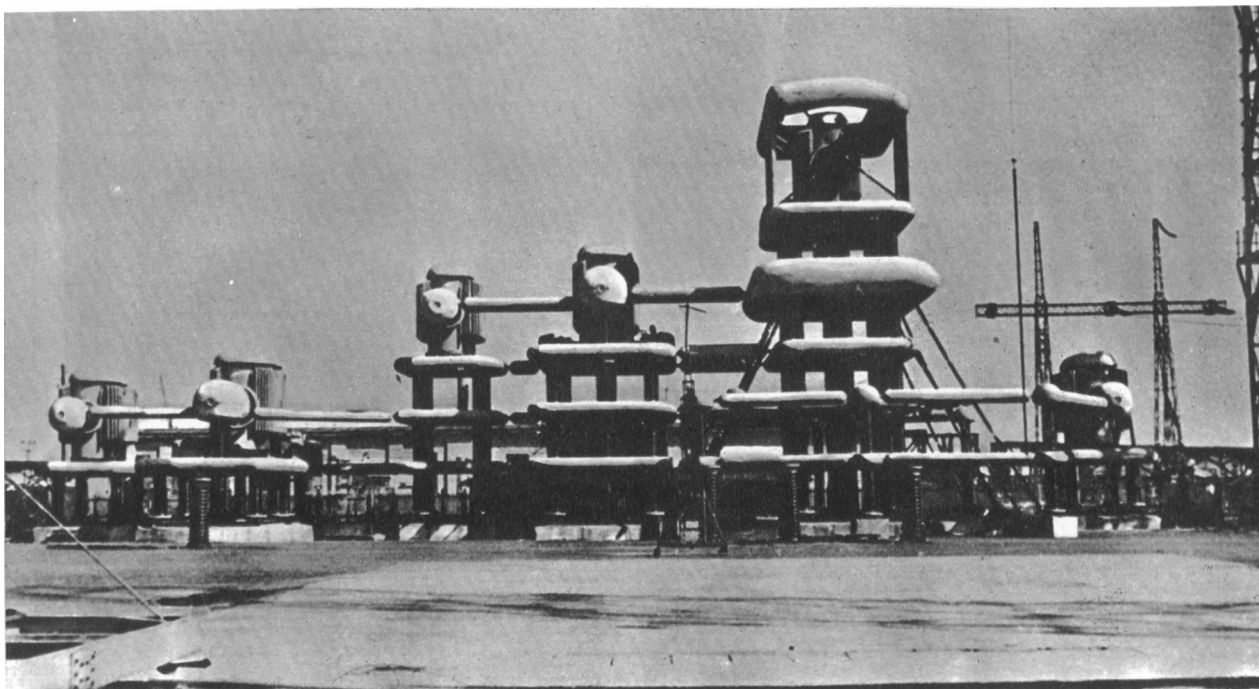


Рис. 10. Каскад трансформаторов на напряжение 2,25 мв относительно земли для исследования короны и изоляции при сверхвысоких напряжениях

тельство позволил в свое время показать преимущества линий постоянного тока в смысле меньших потерь на корону, определяемых в конечном счете условиями «плохой погоды». Позднее удалось создать и применить для исследований особую систему «зонда с сеткой», позволившей фиксировать в пространстве и времени моменты старта и прихода волн ионов, идентифицировать их полярность переменного тока, что в целом привело к более отчетливым представлениям об этом процессе.

Как оказалось, ионы фронта волны (то есть первые ионы, образовавшиеся в момент вспышки короны, — точки Р и N, рис. 7) не

возвращаются к проводу после перемены полярности напряжения, а продолжают дрейфовать (графики движения от A^+ до B^+ , рис. 7), заполняя все межэлектродное пространство. Лишь более поздние ионы (графики от B^+ до C^+) успевают вернуться к проводу (упомянутое сокращение внешней зоны), встречаясь на обратном пути с потоком ионов противоположной полярности (график B^- и др.), идущим от провода, что в целом ведет к ситуации, подобной биполярной короне (рис. 4), и в конечном счете — к большим мгновенным потерям мощности (кривая Р, рис. 8) и энергии (кривая Э), изменение которых на рис. 8 показано в масштабе времени одного полупериода напряжения.

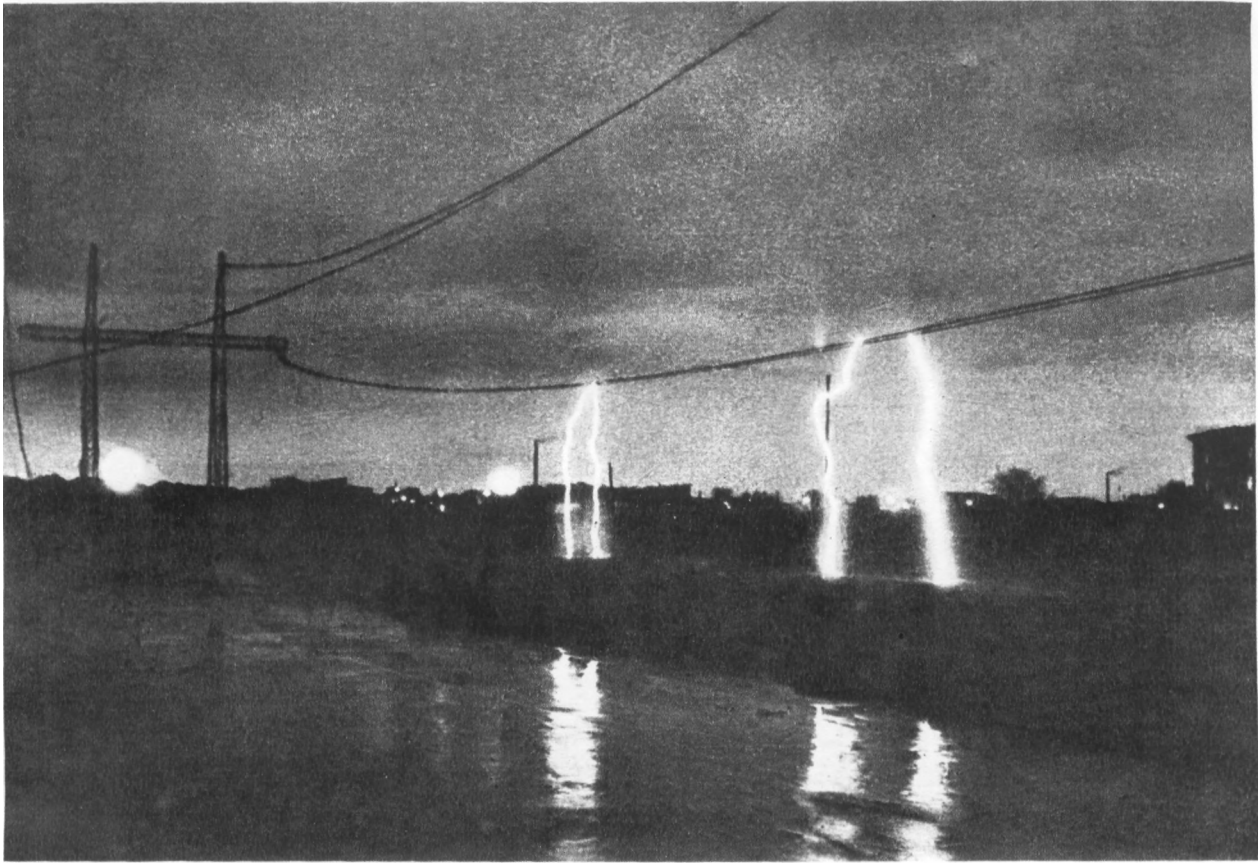


Рис. 11. Разряд на землю с провода опытной линии ($h = 8 \text{ м}$)

Наконец, нужно упомянуть об одном интересном прямом «выходе в практику», который нашли методы исследования полей с объемными зарядами с помощью зондов, развивавшиеся в связи с упомянутыми задачами чисто лабораторных исследований. Речь идет о прямом измерении потерь энергии на корону непосредственно на действующих электропередачах переменного тока. Казавшаяся невозможной задача из многих потоков энергий — активных, идущих к потребителю и энергии джоулевых потерь; реактивных, пульсирующих вдоль проводов и поперек между проводами (так называемые обменные мощности) — выделить и измерить именно энергию, расходуемую в коронном раз-

ряде, хотя она во много раз меньше упомянутых выше энергий, получила изящное решение с помощью особой системы зондов. Если под тремя проводами линии (рис. 9) расположить на уровне земли три зонда в виде коротких антенн*, то, как было доказано и теоретически, и экспериментально, заряды, приобретаемые антеннами, находятся в определенной связи с полными зарядами линии, то есть зарядами собственно проводов и объемным зарядом окружающих их ионов. Устройства K^{12} и другие, получая на вход

* На схеме, рис. 9, показано 5 антенн; две крайние служат для компенсации влияния смещения проводов относительно антенн, например при ветре.

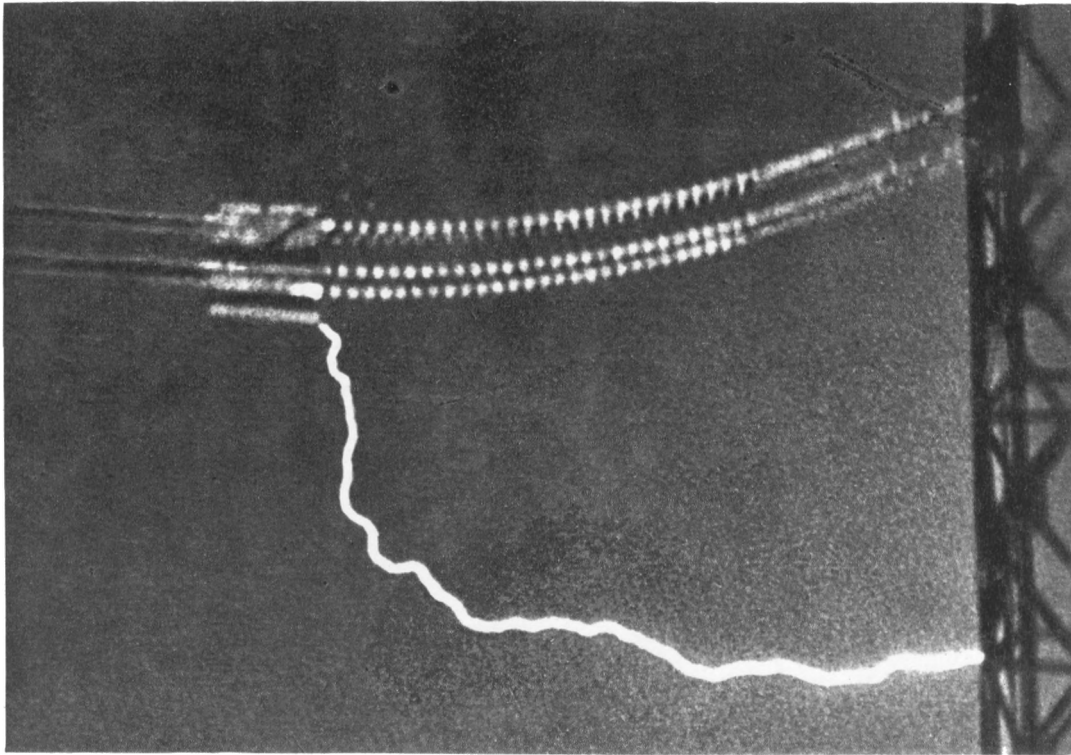


Рис. 12. Аномальный разряд с провода на опору

потенциалы, пропорциональные зарядам антенн, решают систему уравнений электростатической связи проводов и антенн и выдают в ваттметровые устройства P_1 , P_2 , P_3 величины, пропорциональные полным зарядам.

Интегрирование последних по потенциалам проводов, поступающих в ваттметровое устройство от трансформаторов напряжения U_1 , U_2 , U_3 , дает на выходе величины, пропорциональные мощностям, рассеиваемой коронным разрядом, которые и регистрируются обычными приборами (рис. 3). Такого рода установки, снабженные также автоматической регистрацией метеофакторов, уже ряд лет круглогодично работают на действующих 500 кВ передачах Союза, давая ценный мате-

риал о фактических мощностях потерь на корону в связи с метеорологическими факторами, электрическими режимами линии и ее конструктивными особенностями.

Методы теории подобия позволяют обобщить и пересчитать данные таких измерений на другие линии и иные климатические условия. Наконец, «большие цифры», получаемые при систематической регистрации, открыли возможность, на основе методов математической статистики и теории вероятностей, распространять данные локальных измерений на условия длинных линий и предсказывать вероятности совпадения больших потерь на корону с периодами большой загрузки линии, когда они особенно неприятны.

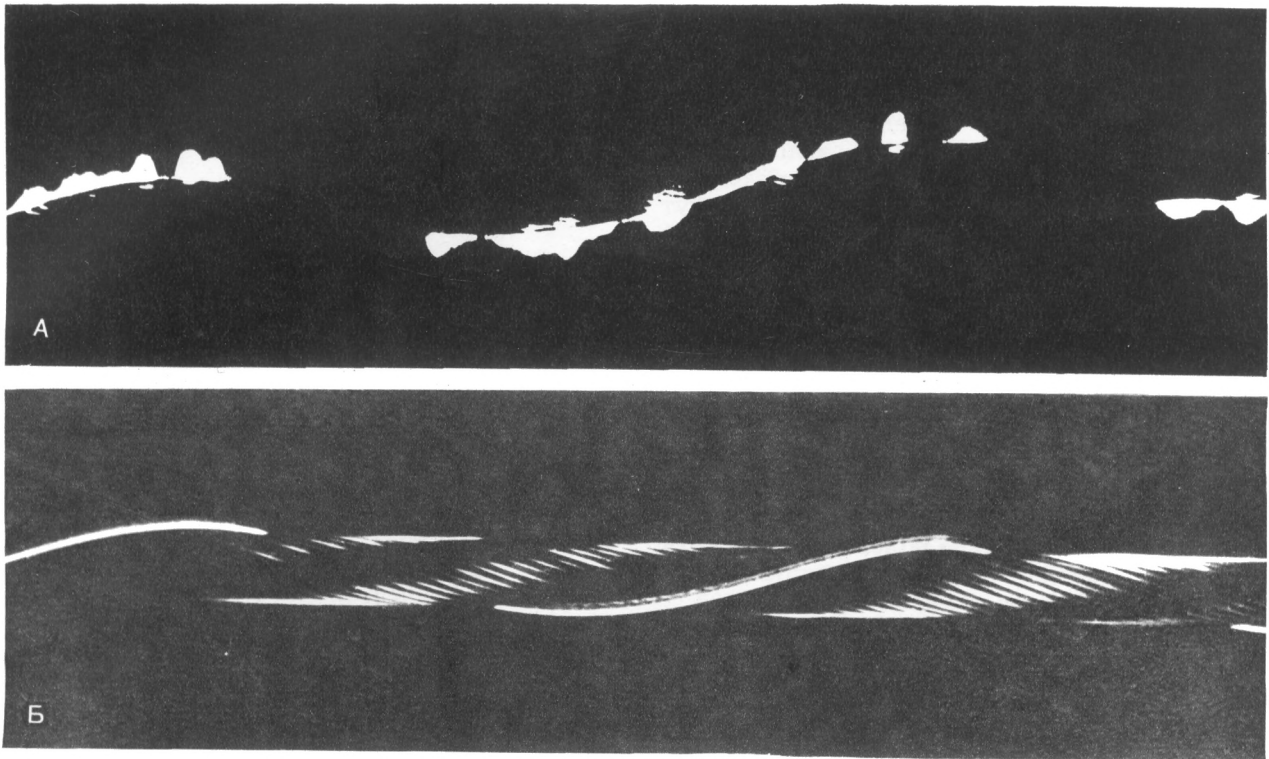


Рис. 13. К попытке управления коронным разрядом. Стробофотографии свечения короны переменного тока в отрицательный (А) и положительный (Б) полупериоды напряжения. Все условия опыта те же, что и на рис. 1, но поверх, сталь-алюминиевого провода навита тонкая проволока диаметром 1,8 мм, устраняющая стримерную форму положительной короны и свойственный ей высокий уровень радиопомех

Пока менее изученной является зона ионизации. Это объясняется и сложностью, и тонкостью развивающихся здесь явлений, а также трудностью проникновения в эту сравнительно узкую область разряда средствами экспериментального исследования.

Тем не менее, был изучен ряд сторон механизма возникновения высокочастотных излучений коронного разряда (рис. 2 и 13), как и практические уровни радиопомех, имеющих место на действующих передачах. Мы не будем касаться этой стороны вопроса.

В целом можно сказать, что всесторонние исследования и физического механизма, и практических характеристик короны вместе с развитием теории этого процесса создали

надежную основу для предопределения возможных потерь энергии и радиопомех в самых различных ситуациях, в том числе и на линиях будущего.

Опираясь на эти знания, можно предвидеть и то, что постепенно будут исчерпаны традиционные средства борьбы с короной. Так или иначе они сводились к росту числа проводов в расщепленном пучке и увеличению диаметра каждого из проводов, составляющих пучок. Уже в передачах 750—1000 кВ переменного тока необходимо расщепление на 4 составляющие и дальнейшее (сверх четырех) увеличение проводов мало эффективно.

Не безгранична и возможность увеличения диаметра составляющей. Для трехфазных

400 линий класса 1250 кВ, видимо, потребуются провода диаметром около 70 мм каждый. Дальнейшее существенное увеличение диаметра вызовет значительные и технические, и конструктивные трудности, преодоление которых может пойти в ущерб экономике.

Из всего сказанного выше ясны преимущества в этом смысле передач постоянным током, в особенности если их исполнять в виде униполярных линий, но и в этом случае аналогичные лимитирующие факторы могут возникнуть где-то за пределами напряжений ± 1250 кВ.

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ИЗОЛЯЦИИ

Как бы ни были высоки рабочие напряжения передач, степень изолированности их устройств (габаритные расстояния на опорах, длины гирлянд изоляторов, внешняя изоляция аппаратов и распределительных устройств подстанций) выбирается из условий воздействия значительно более высоких, хотя и кратковременно возникающих потенциалов — так называемых перенапряжений.

Для передач более низких классов напряжений расчетное воздействующее напряжение определялось потенциалами, возникающими при поражении линии молнией. Это обстоятельство в течение нескольких десятилетий направляло внимание исследователей на изучение параметров молнии; методов экранирования проводов линии от прямого поражения; механизма возникновения потенциала на проводах; закономерностей развития в изоляционных промежутках искрового разряда при коротких импульсах напряжения, измеряемых микросекундами; на создание специальных разрядников, способных поглотить энергию возникших волн перенапряжений.

Решение проблемы этих так называемых атмосферных перенапряжений, хотя и потребовавшее разносторонних и глубоких экспериментальных и теоретических исследований, облегчалось, с одной стороны, кратковременностью явлений, а с другой — локализацией их в достаточно ограниченных частях системы. В современных передачах сверхвысоких напряжений уже не молния с ее ограниченной энергией определяет уровень изолированности, а более опасные ситуации так называемых внутренних перенапряжений, источником которых является энергия электрического и магнитного полей самой передачи. Изменение режима передачи при разного рода коммутациях или в аварийных условиях сопровождается перераспределением этих энергий

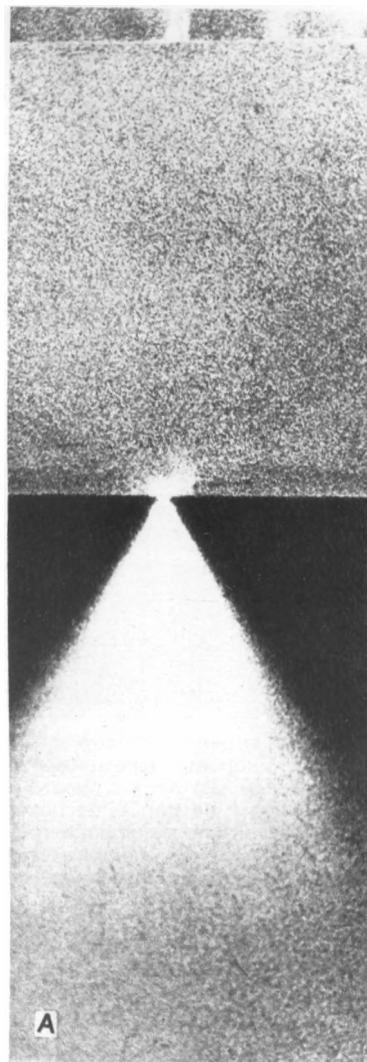


Рис. 14. К попытке управления искровым разрядом. На металлическом цилиндре большого диаметра создана искусственная неоднородность — выступающий стер-

или их освобождением, соответственным переходным процессом с возникновением волн перенапряжений с длительностью порядка сотых долей секунды или даже более того, при резонансных явлениях.

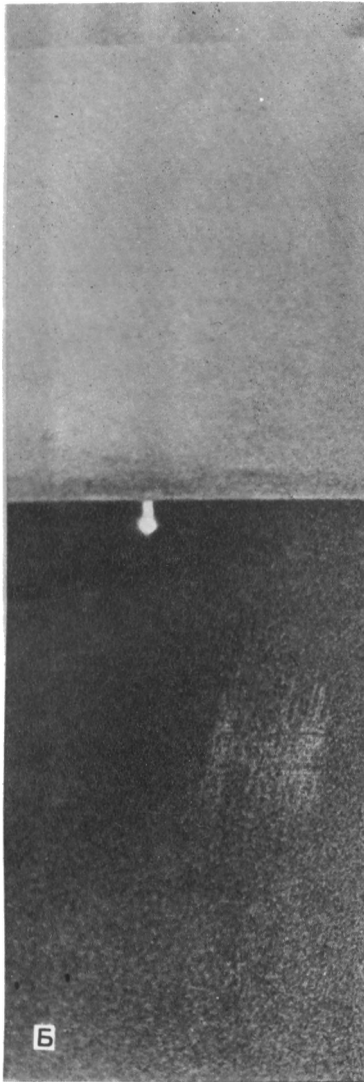
Развитие теории электромагнитных процессов в системах с длинными линиями, с учетом нелинейностей характеристик оборудования (насыщения железа трансформаторов, коронирования проводов, способствующего рассеянию энергии перенапряжений, а иногда усиливающее резонансные явления), многочисленные экспериментальные исследования на действующих передачах и их эквивалентах — моделях позволили выработать систему мер, предотвращающих особо опасные процессы, и создать оборудование, ограничивающее амплитуду перенапряжений.

И все же расчетная для выбора изолированности кратность перенапряжения — отношение его амплитуды к амплитуде рабочего напряжения — остается довольно высокой. Первые передачи 400 кВ рассчитывались на трехкратное перенапряжение, передачи 500 кВ — на 2,5, а для 750 кВ принят уровень 2,1. Снижение этих цифр иллюстрирует прогресс в области ограничения перенапряжений в длинных трехфазных передачах.

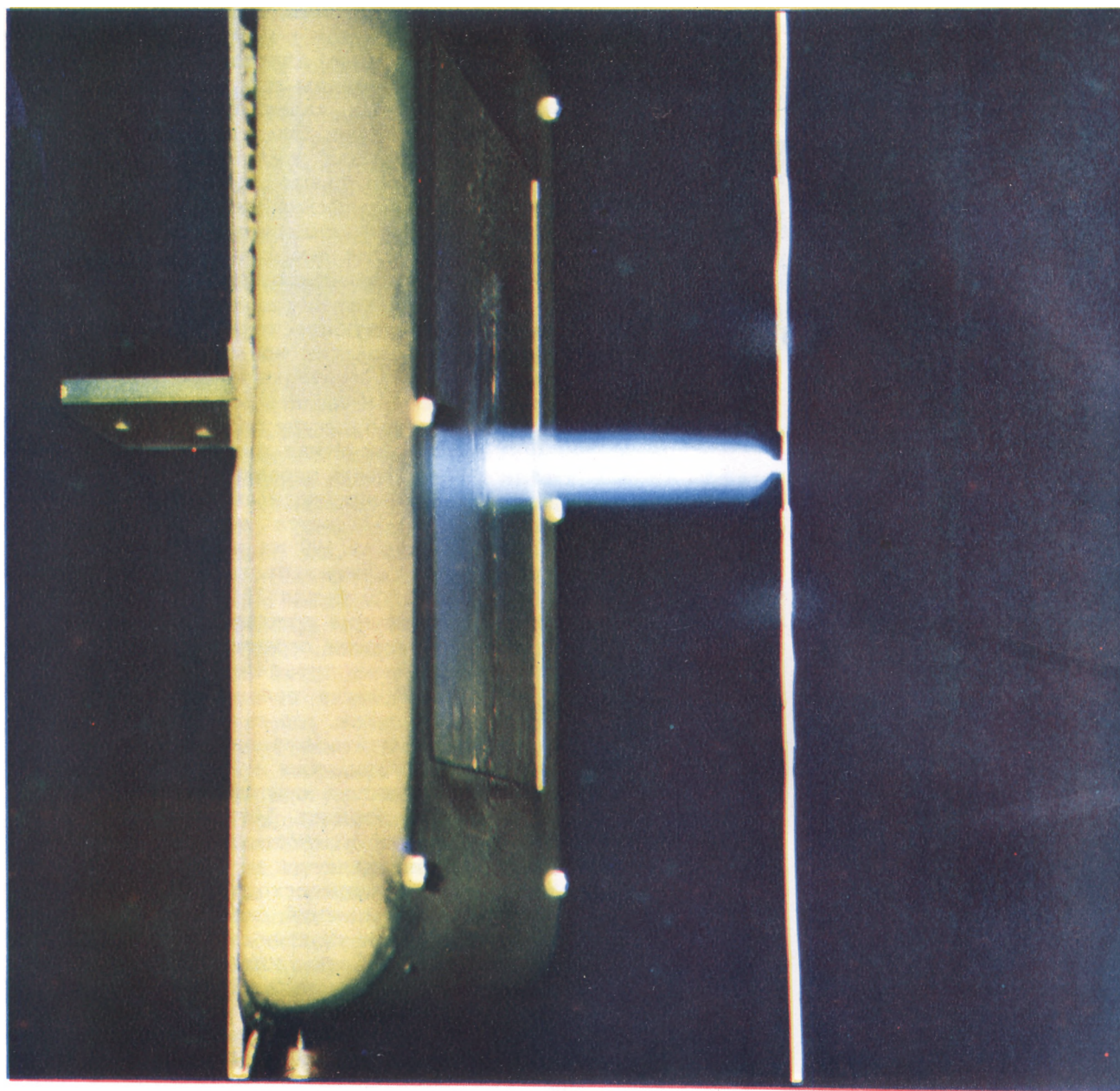
Несколько легче положение в передачах постоянным током, где в силу ряда причин удается ограничиться уровнем 1,7.

Таким образом, уже в передачах класса 500 кВ приходилось считаться с амплитудой потенциалов порядка 1000 кВ относительно земли. Степень опасности подобных перенапряжений определяется не столько их высотой, которая не превосходит амплитуду грозных перенапряжений, сколько их воздействием на большие участки системы и, главное, длительностью. Сотые доли секунды являются большим временем для «беспрепятственного» развития искрового разряда. Все это направило внимание на исследование изолирующих способностей воздуха при стационарных напряжениях или близких к ним имитациях волн внутренних перенапряжений в области амплитуд, измеряемых тысячами киловольт.

Представление о масштабах подобных исследований дают снимки (рис. 10, 11, 12), сделанные в Ленинградском политехническом институте. Одна из фотографий (рис. 12), где 13-метровая искра огибает гирлянду изоляторов, хорошо иллюстрирует ту мысль, что при всем разнообразии видов изоляции изолирующая способность воздуха вызывает наибольшее беспокойство. Такого рода явления можно объяснить в данном случае, видимо, влия-



жень. Фотографии разряда расположены в порядке повышения напряжения. Длина кончика — $l = 19$ мм. А — напряжение $u = 961$ кВ, Б — $u = 1048$ кВ



Разряд между проводом, находящимся внутри трубки из диэлектрика, и плоскостью. Факельный разряд, возникший в от-
верстии трубки, распространился на весь промежуток.
Расстояние между электродами 25 см, провод диаметром 1 мм
находится при постоянном напряжении $u = 120$ кВ положитель-
ной полярности

нием объемного заряда ионов короны, которой искра вынуждена обойти. Их называют иногда аномальными разрядами, но есть основания думать, что с ростом абсолютных потенциалов подобные аномалии будут становиться все более закономерными. Упомянутые исследования, проводимые и в других лабораториях Союза, выявили разрядные напряжения в воздушных промежутках длиной 13 м и при различной конфигурации электродов. Развитие нового подхода к решению проблемы в целом, учитывающего вероятностные характеристики как электрического разряда, так и появления перенапряжений и работы защитных устройств, указало пути оптимального с экономической точки зрения выбора уровней изоляции высоковольтных систем. Все это создает основы для осуществления передач упомянутых выше новых классов напряжений.

Вместе с тем эти исследования, как и проявления короны, выдвигают серьезную проблему, что в более отдаленном будущем будут исчерпаны изолирующие возможности воздуха. При воздействующих напряжениях порядка 2000 кВ и более становится практически неэффективным увеличение изоляционных расстояний с тем, чтобы повысить выдерживаемое напряжение, как это делалось до сих пор. Следовательно, как бы дальше ни повышалось рабочее напряжение передач, максимальное воздействующее напряжение на изоляцию при всех возможных переходных процессах должно быть ограничено уровнем 2000 кВ.

При всех дальнейших совершенствованиях средств и методов ограничения перенапряжений в передачах с длинными линиями пока трудно рассчитывать на ограничение ниже,

чем 1,8 в передачах переменного тока, и 1,7 — в передачах постоянного тока.

С учетом этих цифр выявляются значительные трудности осуществления с приемлемыми экономическими показателями передач с напряжением выше чем 1250 кВ при переменном токе и ± 1250 кВ при постоянном.

ЧТО ЖЕ ДАЛЬШЕ?

Сейчас трудно что-либо предсказывать. Ясно одно: научная проблематика в области передачи энергии наряду со справедливыми заботами о ближайшем будущем должна изыскивать пути и на более отдаленное время. Можно отметить три главных направления: изыскание путей расширения упомянутых лимитов в рамках существующих видов передач на открытом воздухе. При более глубоком проникновении в механизм процессов не безнадёжной представляется попытка управления и коронным, и искровым разрядом (рис. 13, 14).

Радикальным решением может явиться уход из атмосферного воздуха, и здесь есть два направления: дальнейшее повышение напряжений при расположении устройств передачи в атмосфере сжатых газов, в особенности так называемых электроотрицательных, обладающих высокой изолирующей способностью. В ряде отношений эта среда может быть более выгодной, чем твердая изоляция. Альтернативой может явиться отказ от сверхвысоких напряжений и переход к сверхбольшим токам с использованием явления сверхпроводимости. Эта проблема уже обсуждается в литературе.

Сейчас видны большие трудности на всех направлениях, но важность задачи стоит усилий по их преодолению.



АЛЕКСАНДР ДМИТРИЕВИЧ ФОРТУШЕНКО (р. 1903) — специалист в области радиотехники, доктор технических наук, профессор. Родился в Севастополе. С 1925 работал во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ), где с 1930 три года руководил научным отделом связи. В 1937 закончил аспирантуру в Академии связи им. Подбельского. С 1938 по 1941 руководил Центральным научно-исследовательским институтом связи. В период 1941—1947 А. Д. Фортюшенко работал заместителем министра связи и председателем Технического совета министерства. В 1947 он был главой советской делегации на международной конференции электросвязи в Атлантик-Сити. В дальнейшем А. Д. Фортюшенко руководит разработками новых систем связи и телевидения в должности начальника Технического управления Министерства связи, а с 1957 в должности директора Научно-исследовательского института радио (НИИР). Под его руководством созданы системы радиорелейной связи. В возглавляемом А. Д. Фортюшенко институте разрабатываются также многие другие вопросы совершенствования радиосвязи, радиовещания и телевидения.

АЛЕКСАНДР ДМИТРИЕВИЧ ФОРТУШЕНКО

ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ И СПУТНИКИ «МОЛНИЯ-1»

В последние годы телевидение в нашей стране получило весьма большое развитие. Так, в 1950 г. функционировали только два телецентра (в Москве и Ленинграде), а сейчас уже действует 120 телецентров и мощных ретрансляционных станций. Количество телевизоров возросло до 24 миллионов. Сооружение нескольких десятков тысяч километров кабельных и радиорелейных линий позволило организовать регулярные междугородные и международные телевизионные передачи.

Центральная программа, передаваемая Московским телецентром, транслируется многими телевизионными станциями, находящимися как на европейской территории Союза, так и телецентрами Урала и Среднеазиатских республик.

В 1967 г. настало время для начала внедрения цветного телевидения.

Следует отметить, что ни в одной европейской стране цветное телевидение до 1967 г. не введено в эксплуатацию. Это объясняется тем, что технически намного сложнее осуществить передачу и прием цветного изображения, чем черно-белого. Над решением проблемы передачи по радио (или по проводам) цветных изображений давно работают во многих лабораториях мира. Одно из первых решений этой задачи еще в 1925 г. теоретически дал советский инженер И. А. Адамиан. Первое цветное изображение по методу, близкому к предложению Адамиана, было продемонстрировано в июне 1928 г. в Англии лабораторией «Бэрда». Через год в США в лаборатории фирмы «Бэлла» демонстрировалась своя система цветного телевидения с четкостью разложения 30 строк (в дальнейшем четкость в США достигла 525 строк, а в СССР и большинстве европейских стран — 625 строк.

Первые шаги цветного телевидения выявили принципиальные технические трудности, для решения которых стали изыскивать новые средства и новые системы.

Чтобы понять сущность этих трудностей и пути их решения, вспомним основы передачи обычного телевидения. Как известно, каждый рассматриваемый объект мы видим благодаря тому, что его отдельные мельчайшие точки отражают различное количество света (белые точки — наибольшее, а черные — совсем не отражают). В телевизионной передающей камере происходит преобразование яркости отдельных точек в определенной последовательности (строчками) в электрические сигналы с соответствующей амплитудой, которые через радиопередатчик передаются телевизору. Здесь с помощью кинескопа в такой же последовательности происходит обратное преобразование электрических сигналов с различными амплитудами в соответствующие яркости точек светящегося экрана, в результате чего и создается изображение, подобное переданному. Такое изображение называется черно-белым, или монохромным (одноцветным).

Для получения цветного изображения необходимо передать информацию не только о яркости отдельных точек объекта, но и об их окраске — цветовом тоне и насыщенности.

Давно установлено, что для воспроизведения практически любого цветного изображения достаточно три основных цвета: красный, зеленый и синий. Смешивание этих цветов в определенных пропорциях дает любой другой цвет, в том числе и белый.

Для получения цветного изображения требуется преобразовывать в электрические сигналы световые потоки, отражаемые элементами рассматриваемого объекта, отдельно для красного, зеленого и синего цветов, содержащихся в объекте в чистом виде или в виде слагаемых других цветов. Эти преобразования осуществляются в трехцветной передающей камере. Полученные электрические импульсы нужно в неискаженном соотношении передать и принять по радиоканалам и подвести к специальному трехцветному кинескопу для воспроизведения цветного изображения.

Трехцветная передающая камера (в различных модификациях: для студии, телекино и др.) уже давно достаточно хорошо отработана, и мы не будем останавливаться на ее деталях. Принципиальная схема работы передающей камеры представлена на рис. 1 б.

Трехцветный кинескоп является основ-

ным элементом цветного телевизора. От удачного решения конструкции цветного кинескопа в конечном счете зависит надежность и стоимость телевизора для приема цветных изображений. Известен ряд конструкций цветного кинескопа.

Наиболее разработанным типом является так называемая масочная трехлучевая трубка с мозаичным экраном в виде красных, зеленых и синих точек из соответствующих люминофоров. Электронные лучи кинескопа, интенсивностью которых управляют принятые по радиоканалу электрические сигналы, соответствующие красному, зеленому и синему цветам, в должном порядке заставляют светиться мозаичные точки экрана. В результате создается цветное изображение.

На рис. 2 представлен общий вид масочного кинескопа и в сугубо схематичном виде — деталь экрана и теневой маски. Требуется очень точная технология изготовления, чтобы в каждый данный момент электронный луч, промодулированный сигналом красного цвета, попал именно на элемент экрана, флуоресцирующий красным цветом; луч, промодулированный сигналом зеленого цвета, — на элемент экрана, флуоресцирующий зеленым цветом, и то же соответственно для синего цвета.

Следует признать, что все устройство здесь значительно сложнее, чем в черно-белом телевидении. Тем не менее при надлежащей точности изготовления трубки и всех управляющих устройств качество изображения получается весьма хорошим и воспроизводятся цвета, близкие к натуральным.

В Советском Союзе в лабораторных условиях уже давно освоена технология изготовления цветного кинескопа масочного типа. Однако производство таких трубок начато лишь недавно.

Другим типом цветного кинескопа является однолучевая трубка, называемая хромотроном. Экран такой трубки наносится в виде тонких вертикальных или горизонтальных люминофорных линий с чередованием цветов: красный, зеленый, синий, зеленый, красный и т. д. Один и тот же электрический луч трубки поочередно модулируется тем или иным цветовым электрическим сигналом, подаваемым через специальный электронный коммутатор.

Регулировка и эксплуатация такой штриховой однолучевой трубки, по-видимому, будет проще трехлучевой с точечным экраном. Трубки подобного типа находятся в освоении в США, Англии и Японии. Лабораторные макеты такой трубки разработаны ЛЭИС Ми-

нистерства связи. Можно надеяться, что скоро будет налажено производство таких трубок.

Кроме передающих камер и цветных кинескопов, для внедрения цветного телевидения огромное значение имеет правильное решение вопроса о системе передачи цветных сигналов по радиотрактам.

Во-первых, система передачи сигналов цветного телевидения должна быть совместимой с черно-белым телевидением. Это означает, что параметры системы цветного телевидения, то есть число строк (в СССР—625), число кадров, синхронизирующие импульсы, уровни видеосигналов, ширина видеоспектра (в СССР—6 Мгц) и так далее должны соответствовать действующему стандарту на систему черно-белого телевидения. При этих условиях передачи цветного телевидения могут приниматься на существующую сеть черно-белых телевизоров (конечно, в черно-белом виде). С другой стороны, цветные телевизоры должны принимать обычные передачи черно-белого телевидения, когда этого пожелает телезритель.

Если учесть, что в цветном телевидении одновременно необходимо передавать сигналы красного (К), зеленого (З) и синего (С) компонентов изображения, следует признать, что вышесформулированная задача совместимости является весьма трудной.

Во-вторых, система цветного телевидения должна обеспечивать отсутствие различных искажений при прохождении сигналов по сложному телевизионному тракту (студийное оборудование, видеомагнитофоны, линии связи, радиопередатчик, телевизор).

В-третьих, система должна обеспечивать возможность разработки и изготовления приемлемого по стоимости телевизора с высокой надежностью работы в условиях реальной эксплуатации.

Первой совместимой системой цветного телевидения, нашедшей практическое применение, явилась принятая в конце 1953 г. в США система «NTSC» (Национального комитета телевизионных систем).

На основе длительных экспериментов и теоретических исследований были приняты следующие технические решения. Три цветных сигнала К, З и С, получаемые от передающей камеры с помощью так называемой кодирующей матрицы (типа применяемых в электронно-счетных машинах), преобразуются в широкополосный сигнал яркости Я (представляющий сумму сигналов К, З и С, взятых в определенных соотношениях с учетом спектральной характеристики глаза) и

два так называемых цветоразностных, сравнительно узкополосных сигнала К—Я и С—Я. Схематично этот процесс представлен на рис. 3 (а—е).

От вспомогательного генератора берется цветная поднесущая (то есть вспомогательная несущая) частота в пределах видеоспектра, которая модулируется одновременно вышеуказанными цветоразностными сигналами по принципу квадратно-амплитудной модуляции, то есть со сдвигом по фазе на 90° . Полученный спектр накладывается на яркостный сигнал, в результате получается полный сигнал цветного телевидения, передаваемый по радиоканалу.

На рис. 4 (а—д) даны схематичные иллюстрации различных этапов квадратурно-амплитудной модуляции и синхронного детектирования сигналов в системе «NTSC».

Кстати следует отметить, что принципы квадратурно-амплитудной модуляции применительно к задачам связи и вещания были разработаны советскими учеными А. А. Пистолькорсом, Е. Г. Мамот и В. И. Сифоровым задолго до применения в цветном телевидении.

В цветном телевизоре (рис. 5) с помощью декодирующей матрицы и других элементов схемы производится обратный процесс выделения яркостного сигнала, а затем и цветных компонентов К, З и С, напряжения которых подводятся к управляющим электродам цветного кинескопа.

В случае, если прием производится на черно-белый телевизор, используются только сигналы яркости, которые идентичны сигналам черно-белого телевидения.

Практика показала, что в лабораторных условиях по системе «NTSC» получается хорошее и высокое качество цветного изображения и хорошая совместимость с черно-белым телевидением. Однако сигналы часто необходимо передавать на значительные расстояния по сложным трактам, включающим большие комплексы оборудования, и тогда неизбежно возникают искажения цветов на экране телевизора. Это объясняется тем, что квадратурно-амплитудная модуляция цветовой поднесущей равноценна одновременно модуляции поднесущей как по амплитуде, так и по фазе. Искажения фазы, которые происходят при прохождении сигнала в цепях видеомагнитофонов, радиопередатчиков и радиоприемников, а также на кабельных и радиорелейных линиях, приводят к искажениям цветов, часто существенным.

В Западной Германии разработана система цветного телевидения «PAL», которая являет-

Формирование (передача) и прием

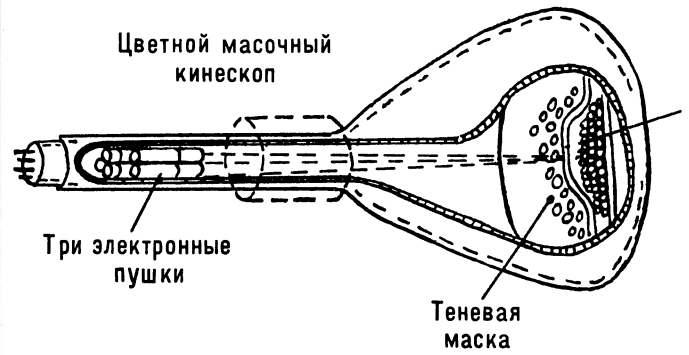


Рис. 2а

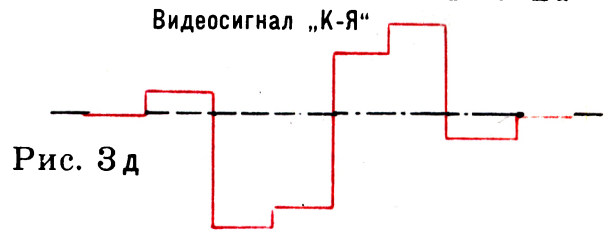


Рис. 3д

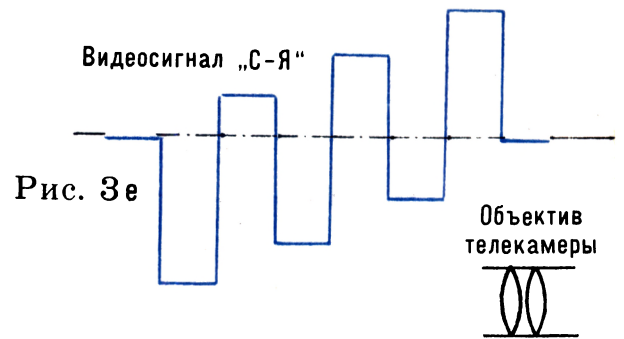


Рис. 3е



Рис. 3а

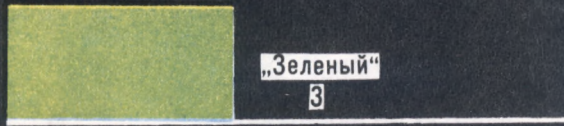


Рис. 3б

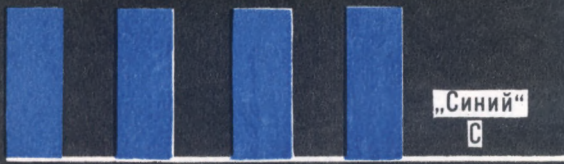


Рис. 3в

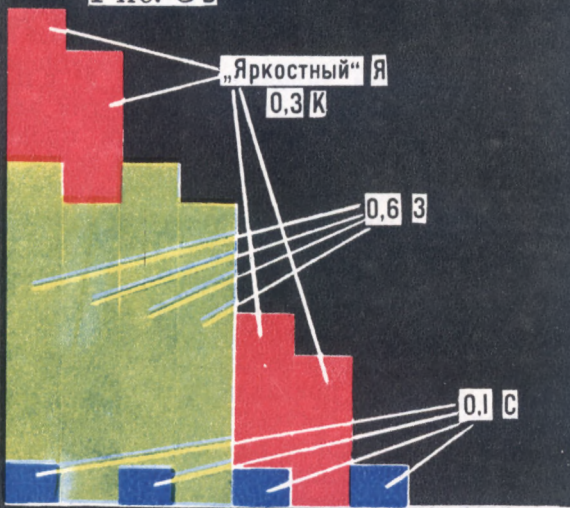


Рис. 3г



Рис. 1а

сигналов цветного телевидения

Люминисцентный экран

Рис. 26

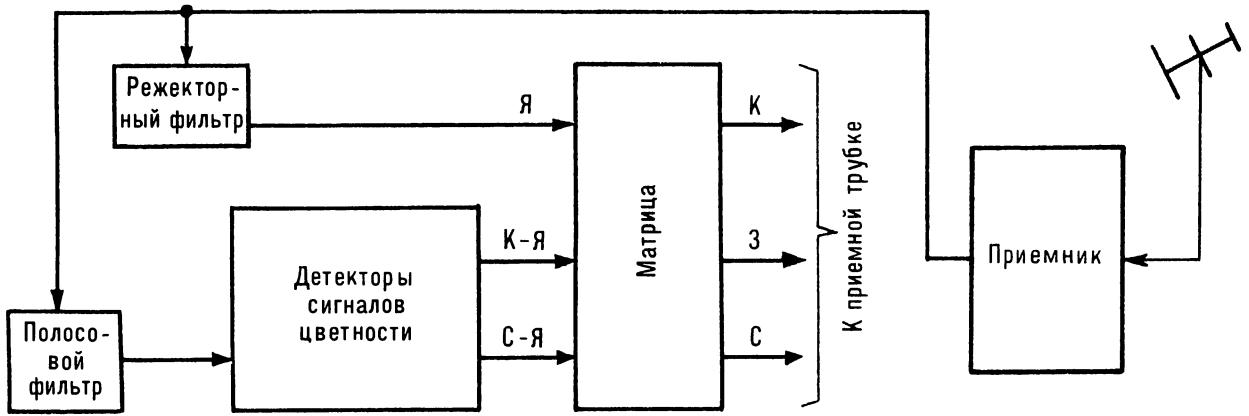
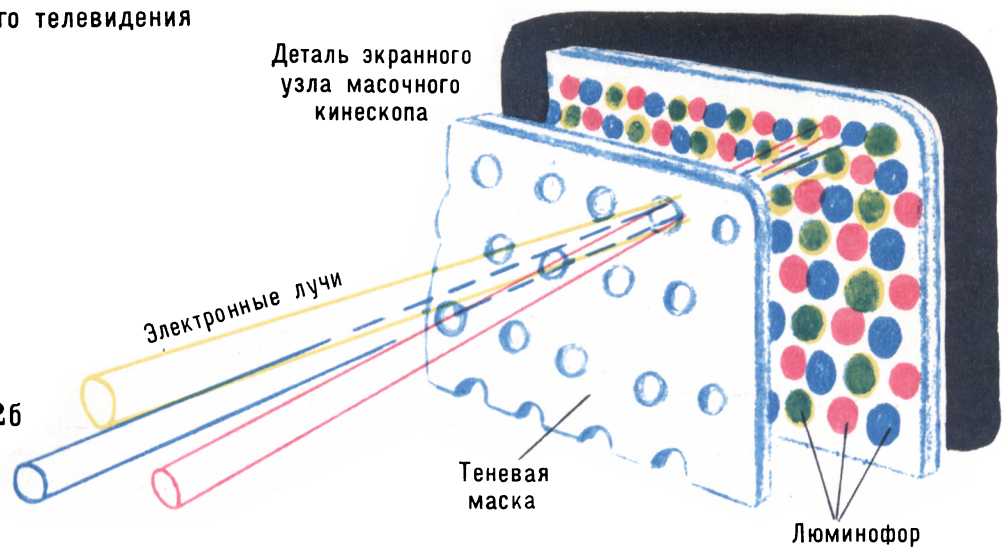


Рис. 5

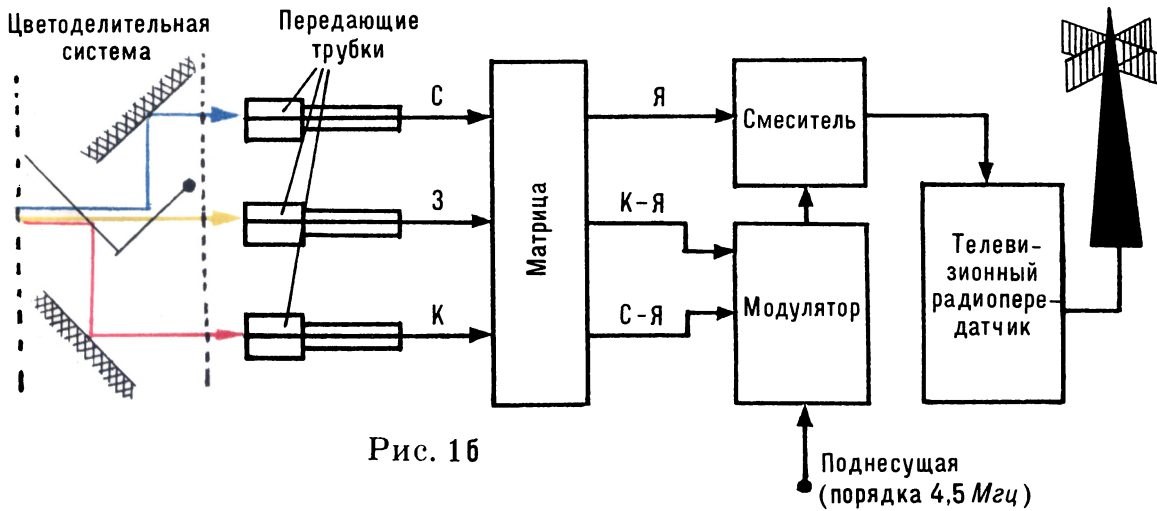


Рис. 16

ся усовершенствованием американской системы. В системе «PAL» используется та же квадратурно-амплитудная модуляция цветовой поднесущей, но после передачи каждой строки изображения фаза одной из составляющих поднесущей с помощью специально электронного коммутатора изменяется на противоположную. В приемнике совершается обратный поворот. Благодаря этому процессу одни и те же фазовые искажения, вносимые трактом передачи, действуют на сигнал во время двух следующих друг за другом строк в противоположных направлениях, что приводит в значительной мере к компенсации фазовой ошибки. В результате система «PAL» значительно меньше подвержена фазовым искажениям, но это ведет к усложнению и удорожанию (примерно на 5%) телевизора.

Во Франции с 1956 г. разрабатывалась система цветного телевидения «СЕКАМ». Это название образовано из французских слов *sequentiel à memoire* (последовательность и запоминание), которые кратко определяют базовый принцип системы. Чтобы избежать фазовых искажений вследствие одновременной модуляции поднесущей двумя цветовыми сигналами (как это делается в системе «NTSC»), в системе «СЕКАМ» в течение строки передается только один цветоразностный сигнал, а другой цветоразностный сигнал передается со следующей строкой (то есть передача цветовых сигналов происходит последовательно). В системе «СЕКАМ» применена частотная модуляция вспомогательной цветовой поднесущей частоты, нечувствительная к фазовым искажениям тракта. Поскольку в приемнике для декодирования требуется одновременное присутствие двух цветоразностных сигналов, в системе «СЕКАМ» используется накопленный в «запоминающем» устройстве (в качестве которого применяется так называемая «линия задержки») цветоразностный сигнал предыдущей строки. Принципиальная схема формирования на передаче частотно-модулированных сигналов цветовой поднесущей представлена на рис. 6 а. Схема детектирования этих сигналов на приеме дана на рис. 6 г. В остальном система «СЕКАМ» использует описанные выше общие принципы цветного телевидения.

Как показали многочисленные сравнительные испытания, система «СЕКАМ» обеспечивает высокое качество цветного изображения в реальных условиях передачи и приема. Она дает также лучшее качество при магнитной записи цветного изображения на

видеомагнитофонах черно-белого телевидения.

В лабораториях Советского Союза давно ведутся работы в области цветного телевидения. Так, в 1954 г. промышленностью было разработано экспериментальное оборудование для последовательной системы цветного телевидения, установленное на Московском телецентре. Опытные передачи проводились в течение двух лет, но это оборудование не обеспечивало совместимость с черно-белым телевидением.

В дальнейшем внимание было сосредоточено на разработке совместимой системы по типу американской с переводом всех параметров на советский стандарт (625 строк, 50 полукадров при видеоспектре в 6 Мгц). В результате работ ленинградских и московских лабораторий были разработаны образцы всех составных элементов системы цветного телевидения с квадратурно-амплитудной модуляцией.

В Москве и Ленинграде с 1959 г. проводилась опытная эксплуатация экспериментальных станций цветного телевидения.

В 1963 г. французская фирма «CSF» доставила в Москву для испытаний оборудование цветного телевидения по системе «СЕКАМ». В 1964 г. проводились сравнительные передачи сигналов цветного телевидения по длинным линиям из Парижа и Лондона в Москву и из Москвы через Париж обратно в Лондон по различным системам.

Одновременно с этими исследованиями в Научно-исследовательском институте радио (НИИР) разрабатывались принципы новой системы цветного телевидения «НИИР», в которой творчески использованы идеи известных систем цветного телевидения и связи.

В системе цветного телевидения «НИИР» поочередно передается: 1) информация о насыщенности и тоне цвета путем квадратурно-амплитудной модуляции сигнала цветовой поднесущей двумя цветоразностными сигналами и 2) информация только о насыщенности цвета — сигнал постоянной фазы поднесущей частоты.

Эти сигналы в приемном устройстве (один из них запоминается от предыдущей строки с помощью линии задержки, как это технически делается в системе «СЕКАМ») используются совместно для извлечения полезной информации о двух цветоразностных сигналах, для дальнейшего преобразования в цветные компоненты К, З, С.

Благодаря подобию двух поочередно передаваемых сигналов и одинаковому их рас-

положению в амплитудной области полного сигнала они претерпевают при прохождении через элементы передающего тракта одинаковые фазовые искажения. Поэтому между сигналами сохраняется заданная при передаче разность фаз, которая и является полезной информацией (наряду с амплитудной модуляцией цветовой поднесущей), что обеспечивает нечувствительность системы «НИИР» к фазовым искажениям в тракте. Это обстоятельство является одной из главных особенностей системы «НИИР». Следует отметить, что идея такой операции заимствована из системы относительной фазовой телеграфии (ОФТ), разработанной в 1954 г. советским ученым Н. Т. Петровичем.

Помехоустойчивость сигналов системы «НИИР» к флуктуационным шумам почти такая же, как в системе «NTSC». Совместимость с черно-белым телевидением получилась хорошая,

В соответствии с советско-французским соглашением от 22 марта 1965 г. о научно-техническом сотрудничестве в области цветного телевидения французские специалисты в 1965 г. несколько раз приезжали в Москву для ознакомления с системой «НИИР» и дали высокую оценку этой системе. На этапе совместных работ советских и французских специалистов система получила условное название «СЕКАМ-4».

Советские специалисты выезжали в Париж для участия в настройке и испытаниях аппаратуры, изготовленной французами по системе «НИИР».

Большая и плодотворная работа, проделанная советскими и французскими специалистами после подписания в марте 1965 г. соглашения между СССР и Францией о сотрудничестве в области цветного телевидения, привела к созданию двух вариантов совместной системы цветного телевидения «СЕКАМ-3» и «СЕКАМ-4», которые превосходят известные системы цветного телевидения, разработанные в других странах.

Вопросы выбора системы цветного телевидения находились в центре внимания XI Пленарной Ассамблеи Международного консультативного комитета по радио (МККР) (Осло, июнь-июль 1966 г.). Были рассмотрены три системы цветного телевидения: «NTSC» (США), «PAL» (ФРГ) и «СЕКАМ-3» (Франция и СССР). В связи с тем, что ни одна из этих систем не была принята в качестве единой системы цветного телевидения, делегации СССР и Франции как компромисс предложили принять систему «СЕКАМ-4» в качестве единой системы

цветного телевидения для Европы. Однако единства не удалось достичь и на основе системы «СЕКАМ-4».

Исходя из того, что на конференции в Осло не была достигнута договоренность относительно системы цветного телевидения для Европы, несмотря на компромиссные предложения, выдвинутые советской и французской делегациями, Советское правительство, в полном согласии с правительством Франции, решило выбрать совместную советско-французскую систему «СЕКАМ-3» и немедленно начать подготовку к промышленному внедрению этой системы.

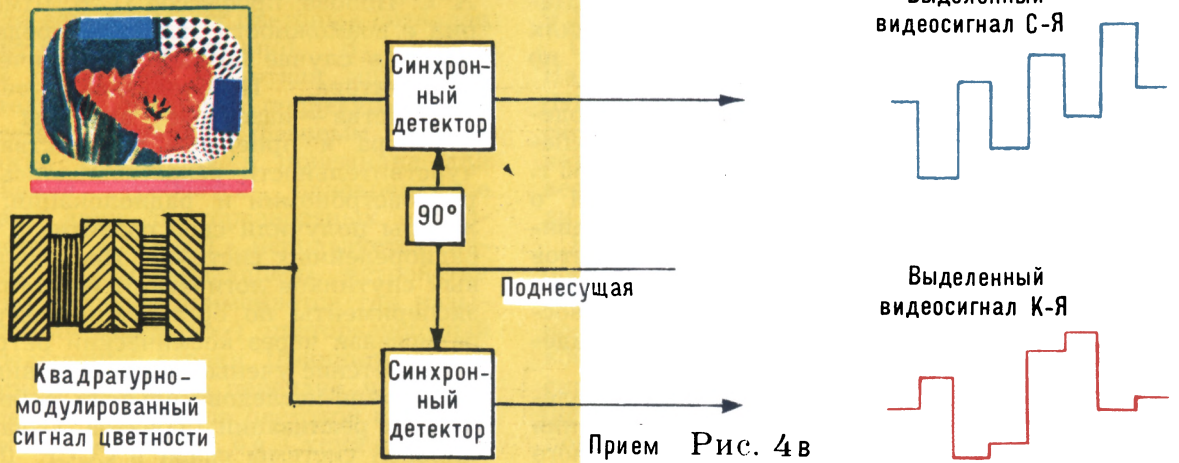
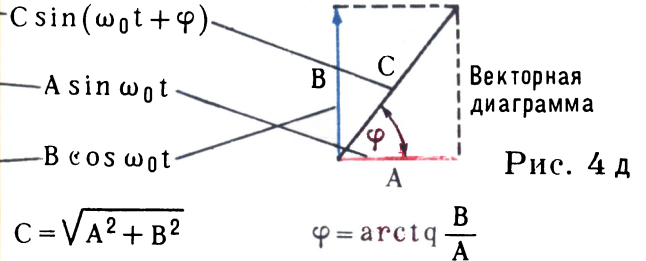
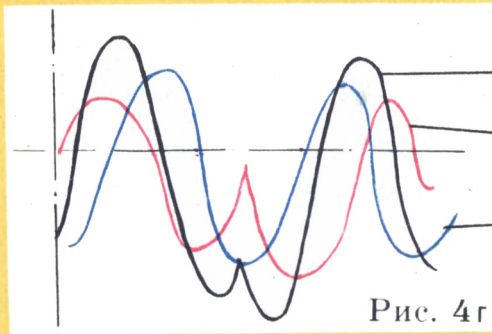
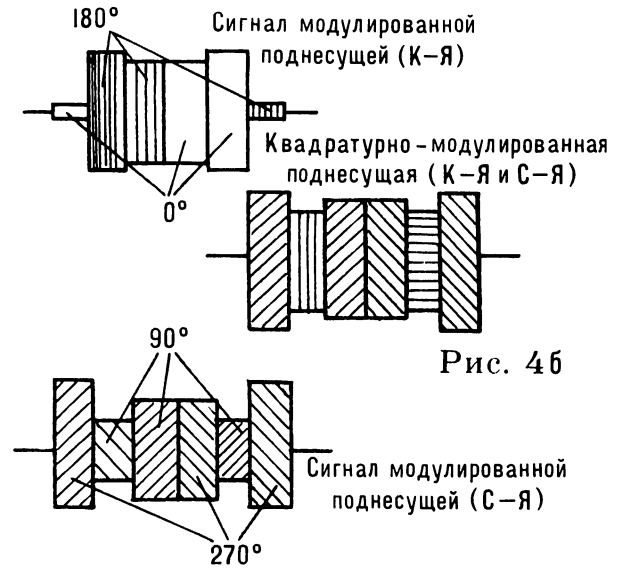
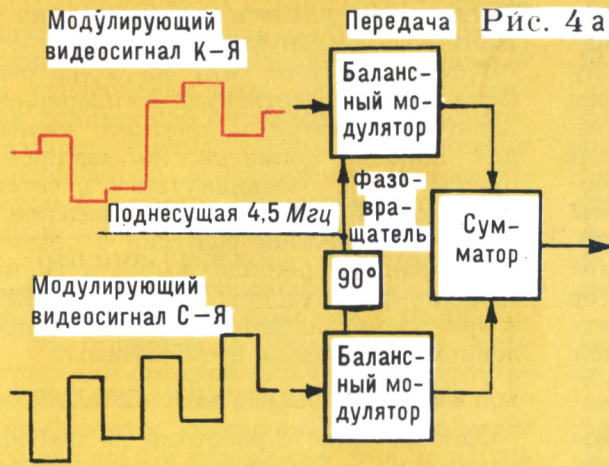
СВЯЗНОЙ СПУТНИК «МОЛНИЯ-1»

Одновременно с работами по цветному телевидению в Советском Союзе проводились работы по созданию новых средств для дальней передачи информации, в том числе и телевидения.

Большие успехи достигнуты в нашей стране в области создания системы сверхдальней радиосвязи с помощью установки ретрансляторов на спутниках, движущихся по специально выбранным орбитам.

Идея о подобных системах связи высказывалась в СССР еще задолго до реализации запуска спутников. Так, в 1950 г. на Ленинградской телевизионной конференции, организованной научным Обществом имени А. С. Попова, профессор П. В. Шмаков говорил о возможности дальних передач телевидения в случае создания космического ретранслятора. Необходимые технические устройства — наземные антенны большого диаметра и приемные устройства большой чувствительности разрабатывались уже для радиоастрономии и радиолокации; ретрансляторы получили свое развитие в наземных радиорелейных системах. После запуска первых спутников логическим следствием стали эксперименты по организации сверхдальней радиосвязи через космический ретранслятор.

Советские ученые в соответствии с планами научно-исследовательских работ приступили к реализации проектов создания спутниковой системы связи в СССР. Для экспериментальной линии связи «Молния-1» была выбрана вытянутая эллиптическая орбита с апогеем над северным полушарием на высоте около 40 000 км и периодом обращения спутника 12 ч. Такая орбита была выбрана в целях обеспечения возможно большего времени одновременной радиовидимости спутника с наземных пунктов наиболее удаленных друг от друга точек территории СССР, включая северные районы.



Квадратурная модуляция и синхронное детектирование сигналов цветовой поднесущей

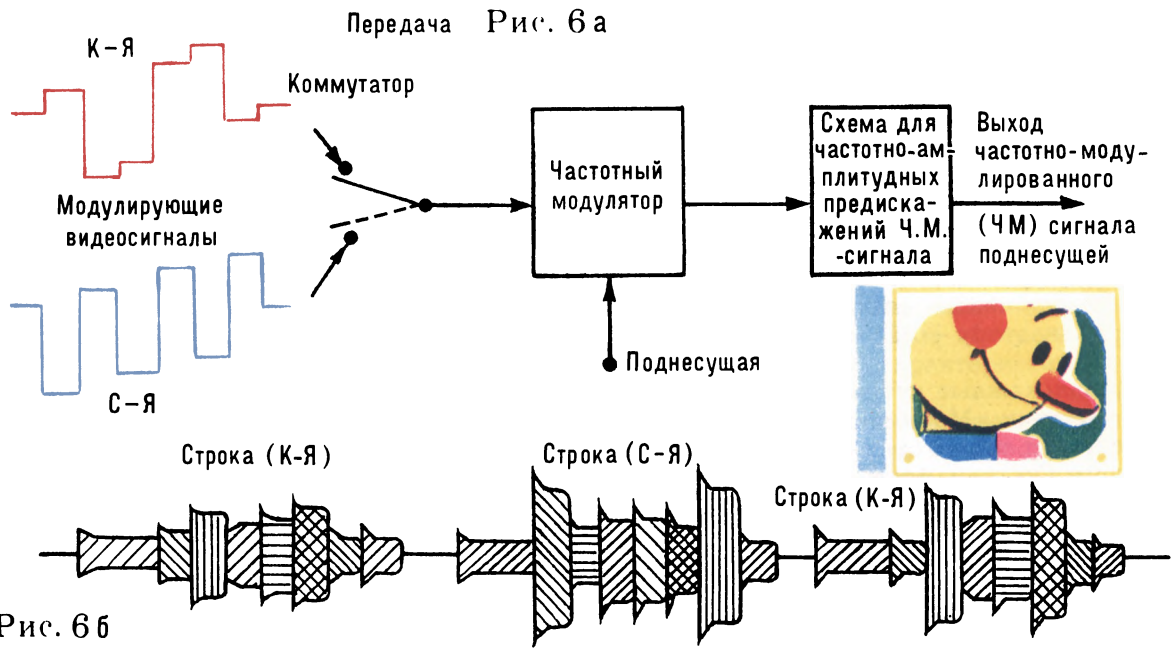


Рис. 6 б

Частотно-модулированный сигнал поднесущей (ЧМ-сигнал)

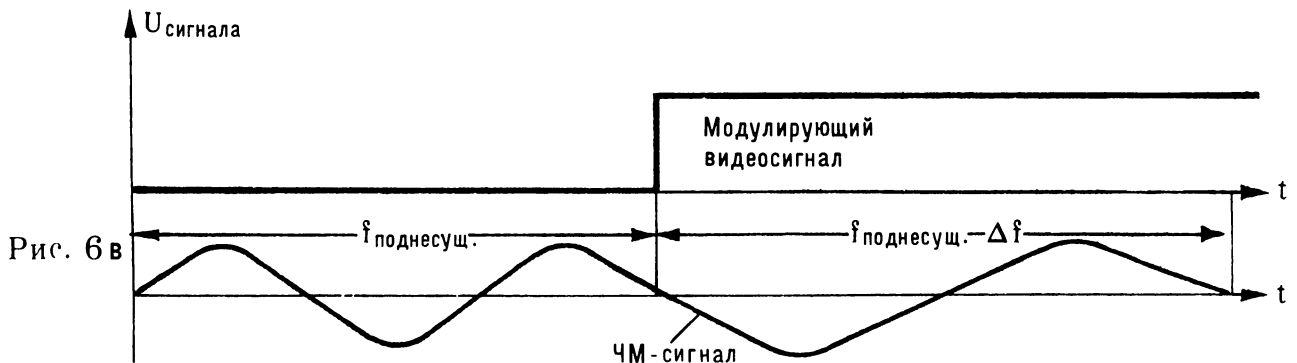
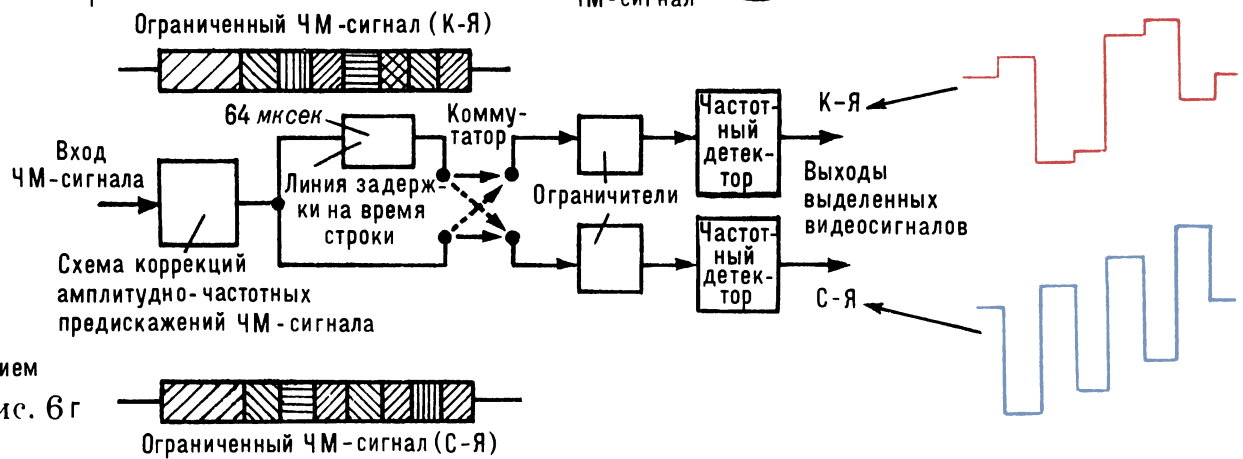


Рис. 6 в



Прием
Рис. 6 г

Формирование и детектирование частотно-модулированных сигналов цветовой поднесущей

23 апреля 1965 г. был осуществлен запуск спутника «Молния-1». Выведение спутника на выбранную орбиту производилось последовательно в два этапа.

Сначала на промежуточную низкую орбиту был выведен спутник с последней ступенью ракеты-носителя. Затем над южным полушарием был произведен автоматический запуск последней ступени ракеты-носителя. Спутник получил дополнительную скорость и вышел на высокую эллиптическую орбиту со следующими параметрами: высота апогея — 39 380 км; высота перигея — 497 км; наклонение орбиты по отношению к экватору — 65° ; период обращения 11 ч 48 м.

Совершая каждые сутки два витка вокруг Земли, спутник «Молния-1» на одном витке пролетает над территорией Африки, Европы, Советского Союза и Азии, а на другом — над территорией Северной Америки и Советского Союза.

В первый же день, 23 апреля 1965 г., через спутник «Молния-1» был проведен сеанс телевизионной связи между Москвой и Владивостоком, который длился около 8 ч без перерыва. Качество телевизионных передач получалось неизменно хорошим как при передачах из Москвы в сторону Владивостока, так и в обратном направлении.

Для обеспечения более удобного времени связи 2 мая 1965 г. была проведена коррекция орбиты спутника. Для этого в перигее на спутнике был произведен запуск корректирующего реактивного двигателя. После корректирования период обращения стал 12 ч, высота перигея — 548 км, а высота апогея — 39 957 км. Длительность сеансов связи стала около 9 ч без перерыва.

На рис. 7 схематически представлен внешний вид спутника «Молния-1». Корпус спутника герметичный, цилиндрической формы с коническими днищами (1); снаружи на нем установлены шесть панелей солнечной батареи (2) и две параболические антенны (3). Во время выведения на орбиту панели солнечной батареи и антенны находятся в сложном положении и после отделения спутника от ракеты-носителя автоматически раскрываются. С антеннами связаны датчики ориентации на Землю (4). Корпус снабжен радиатором охлаждения (6).

На днище корпуса размещена корректирующая двигательная установка (8) с запасом рабочего тела для проведения микрокоррекции (7). На другом днище расположены датчики ориентации спутника на Солнце (9).

Внутри корпуса размещена радиоэлект-

ронная аппаратура и другое оборудование спутника. Для обеспечения нормальной работы аппаратуры внутри корпуса автоматически поддерживаются необходимые давление и температура.

Для обеспечения электрической энергией аппаратуры, установленной на спутнике, служит система энергоснабжения, состоящая из солнечных батарей, химических источников тока и автоматического устройства регулирования энергоснабжения.

В течение полета спутник ориентируется солнечной батареей на Солнце. При этом вся поверхность батареи освещается Солнцем, что позволяет получать электроэнергию со всей площади солнечной батареи. Одновременно одна из параболических антенн направляется на Землю и с помощью специального привода (5) с высокой точностью следит за Землей. Вторая антенна является резервной, и для перехода на нее необходимо повернуть спутник на 180° вокруг своей продольной оси.

Ширина диаграммы направленности параболических антенн спутника обеспечивает «радиоосвещение» большой территории и, естественно, большую длительность радиовидимости. Вместе с тем антенна спутника имеет значительный коэффициент усиления, что важно для наземных приемных устройств.

Бортовая антенна служит одновременно как для приема с Земли ретранслируемых сигналов, так и для передачи их после усиления и преобразования на другую частоту на Землю. Для защиты слабых сигналов, принятых с Земли, от выходных сигналов большой мощности служит специальное совмещающее устройство.

Бортовой ретранслятор построен примерно по тем же принципам, как ретранслятор радиорелейной связи. Основное усиление производится в усилителе промежуточной частоты. Все элементы ретранслятора — усилители, смесители, преобразователи частоты построены на полупроводниковых приборах. Выходной каскад передатчика сконструирован на специальной лампе бегущей волны мощностью 40 вт. Благодаря такой значительной мощности ретранслятора наземные приемные пункты можно было сконструировать со сравнительно небольшими размерами антенн.

Для контроля за состоянием всех систем спутника на борту установлена специальная телеметрическая аппаратура. С помощью бортовой командно-измерительной аппаратуры и наземного командно-измерительного

комплекса с большой точностью определяются траектории движения и параметры спутника.

Управление аппаратурой и системами спутника производится бортовым электронным устройством по программам, задаваемым командами с Земли.

Оборудование наземных пунктов системы дальней радиосвязи с использованием спутника «Молния-1» состоит из комплекса параболических антенн с поворотными и следящими системами, аппаратуры командно-измерительного комплекса и связной приемно-передающей радиостанции.

Информация, подлежащая передаче на большие расстояния из одного пункта в другой в виде телефонных разговоров, фототелеграфных и телеграфных сообщений или программ телевидения и радиовещания, поступает на земные станции спутниковой связи по кабельным или радиорелейным линиям. С помощью радиопередатчика мощностью 5 кВт и направленной на спутник антенны земные станции передают информацию на спутник связи «Молния-1». На рис. 8 представлен общий вид антенного устройства одной из станций космической связи. Передающее устройство состоит из возбuditеля с частотной модуляцией и мощного усилителя на многоконтурном клистроне. Для контроля качественных показателей передатчика используется контрольный приемник, к входу которого подключены видеоконтрольное устройство и осциллограф. Контроль осуществляется по испытательным сигналам контрольных строк и по тест-таблице.

С бортового радиопередатчика к приемной антенне земной станции вследствие большого расстояния (порядка 40 000 км) сигнал приходит чрезвычайно ослабленным. В системе связи через спутник «Молния-1» применена частотная модуляция: с девиацией 4 Мгц можно получить существенный выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе приемника.

Для улучшения пороговых свойств частотной модуляции в приемном устройстве применена обратная связь по частоте. Как показали расчеты и экспериментальная проверка, выигрыш по порогу может составить 8—9 дб.

Для увеличения чувствительности приемного устройства земной станции применяется двухкаскадный параметрический усилитель.

В телефонном режиме система связи через спутник «Молния-1» обеспечивает пере-

дачу и прием большого количества двусторонних телефонных разговоров.

Отличительной особенностью телевизионного оборудования наземных пунктов системы спутниковой связи «Молния-1» является то, что предусмотрена возможность непрерывного контроля основных качественных показателей телевизионного тракта непосредственно в процессе передачи телевидения. Это достигается путем введения в передаваемые сигналы изображения специальных измерительных импульсов.

В видеотракт в качестве предкорректора может быть включен видеочастотный выравниватель, с помощью которого корректируется переходная характеристика передатчика.

Для одновременной передачи сигналов изображения и звукового сопровождения в общем тракте без расширения общей полосы частот (что существенно для снижения уровня шумов) в НИИР разработана специальная аппаратура совмещения.

Это достигается путем размещения на задней площадке строчного гасящего импульса, специальных импульсов, модулированных по длительности. На приемном устройстве звуконосящие импульсы выделяются из телевизионного сигнала и демодулируются. Одновременно осуществляется гашение этих импульсов и приведение формы телевизионного сигнала к исходной.

ПЕРЕДАЧИ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ ЧЕРЕЗ СПУТНИК «МОЛНИЯ-1»

Хорошие результаты, полученные при передаче по космической линии связи сигнала черно-белого телевидения, позволили перейти к экспериментам с цветным телевидением, которое предъявляет более жесткие требования к радиотракту. Первые экспериментальные передачи цветных телевизионных изображений были проведены с 23 по 28 мая 1965 г. Использовались три системы цветного телевидения, оборудование которых имелось в комплексе Московской опытной станции цветного телевидения (МОЦТ): французская «СЕКАМ-3», американская «NTSC» и система «НИИР».

Оборудование «СЕКАМ-3» было изготовлено во Франции и соответствовало требованиям и спецификации на параметры сигнала цветного телевидения «СЕКАМ».

Оборудование цветного телевидения системы «NTSC» и «НИИР» было отечественного производства и отвечало условиям и требованиям стандарта на 625 строк.

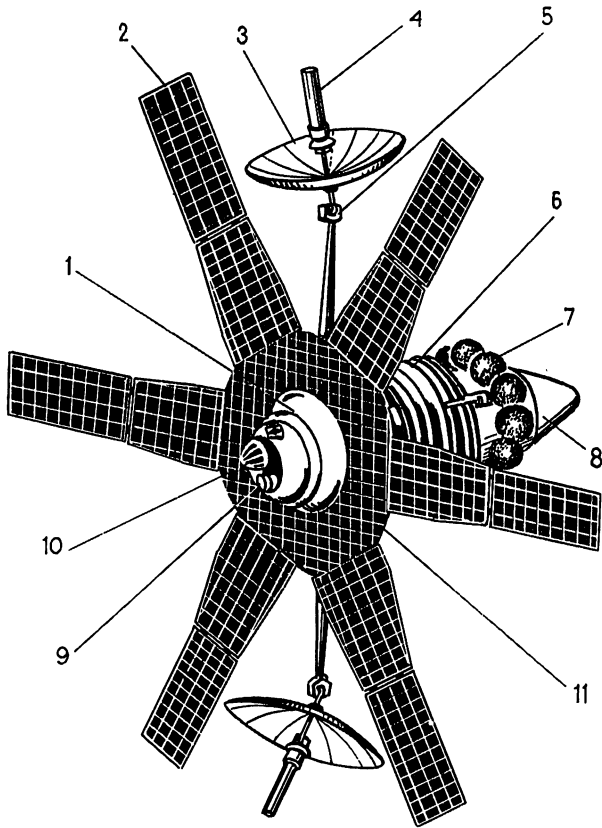


Рис. 7

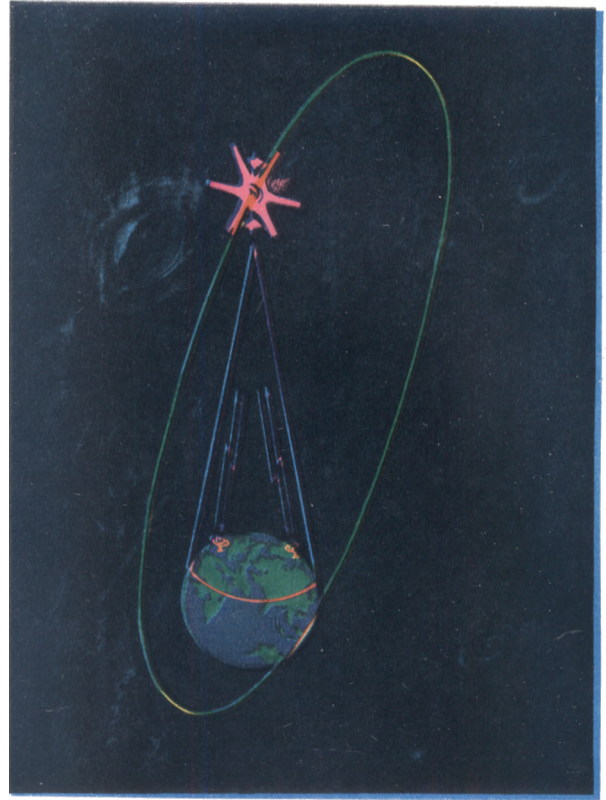


Рис. 9



Рис. 8

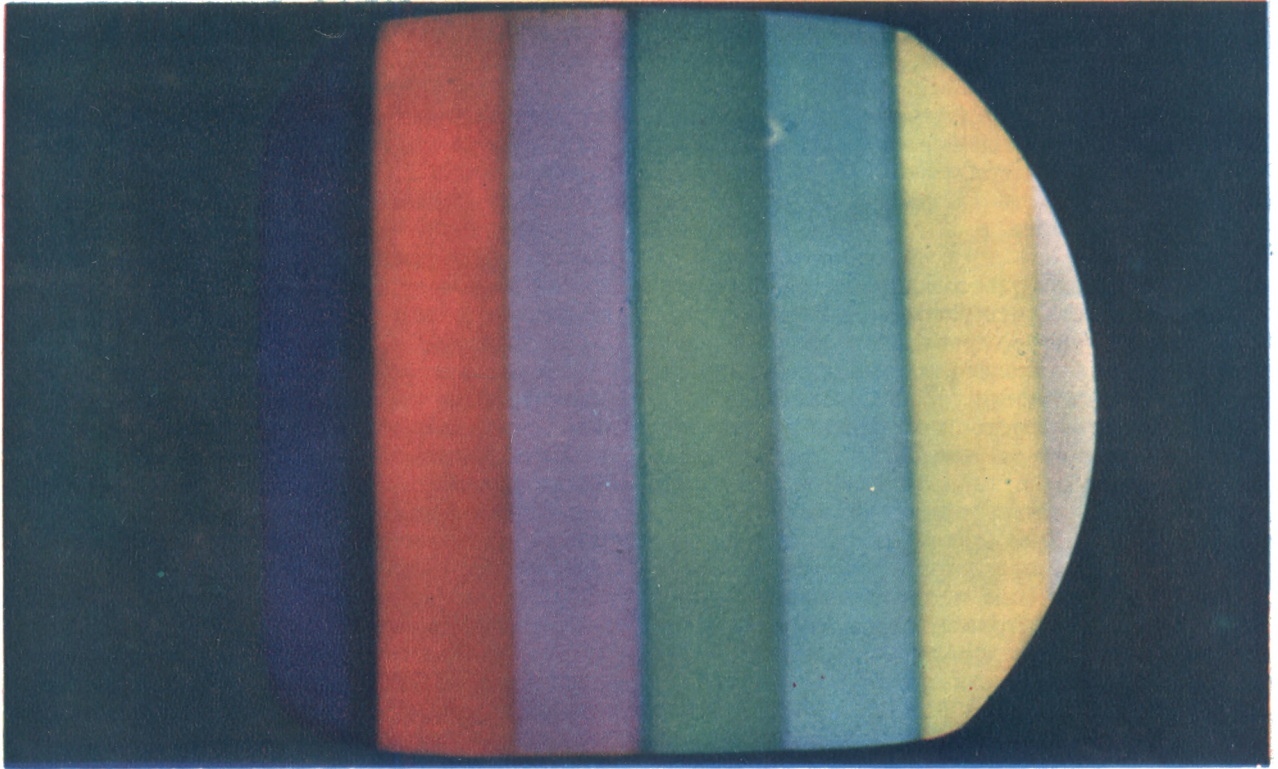


Рис. 10

Сигналы цветного телевидения с МОСЦТ по наземной линии связи подавались на радиопередатчик и затем с помощью антенны направлялись на спутник «Молния-1». Прием сигналов со спутника производился на контрольные приемные устройства в различных пунктах страны.

Принятые сигналы по радиорелейным линиям возвращались в аппаратную цветного телевидения.

При настройке тракта и передачах телевидения использовалась система контроля, позволяющая контролировать электрические качественные показатели непосредственно во время передачи видеосигналов. Это позволило судить о состоянии тракта не только во время настройки, но и на протяжении всех передач.

Испытательные строки вводились в московской междугородной телевизионной аппаратной с помощью аппаратуры, разработанной в НИИР. Сигнал испытательных строк содержал радиочастотные импульсы, которые позволили контролировать амплитудно-частотные характеристики тракта на частотах 0,5 Мгц; 1,5 Мгц; 3 Мгц; 4,5 Мгц; 5 Мгц и 6 Мгц.

Наличие уровня белого в этих строках позволило точно установить диаграмму уровня во всех звеньях тракта.

Через космический ретранслятор передавались испытательные цветные изображения в виде цветных полос и испытательной цветной таблицы, изображения диапозитивов и кинофильмы.

На изображениях по системе цветного телевидения «NTSC» были заметны искажения тона и насыщенности цвета. Первый вид искажений вызывался искажениями дифференциальной фазы, а второй — неравномерностью амплитудно-частотной характеристики радиотракта.

Система цветного телевидения «СЕКМ-3» обеспечила передачу цветных телевизионных изображений с достаточно точной передачей тона и насыщенности цвета; шумы на изображениях, переданных по этой системе, были заметны только при недостаточном отношении сигнал/шум, что имело место при приеме на антенну со сравнительно малой эффективной площадью. Прием на антенну с большей эффективной площадью давал значительно лучшее качество изображения.

Передачи с помощью системы цветного телевидения «НИИР» также дали хорошие результаты и, в частности, показали хорошую помехоустойчивость.

Первые экспериментальные передачи сигналов цветного телевидения через искусственный спутник связи «Молния-1», проведенные на территории СССР, позволили поставить вопрос об опытно-международном обмене программами цветного телевидения через советский космический ретранслятор.

К этому времени в целях дальнейшей отработки системы дальней радиосвязи и телевидения с помощью космического ретранслятора 14 октября 1965 г. был осуществлен запуск второго спутника типа «Молния-1». Он был выведен на орбиту, подобную орбите первого спутника «Молния-1», с некоторым сдвигом положения апогея на запад. Время восхода и захода спутника также сдвинуто по отношению первого на несколько часов.

На рис. 9 показано примерное расположение спутника «Молния-1» для некоторого момента времени.

В ноябре 1965 г. советскими и французскими специалистами была разработана программа настройки, измерений и экспериментальных передач сигналов телевидения через искусственный спутник Земли «Молния-1», а также методика измерений на приемном пункте.

Начиная с 24 ноября 1965 г. в Париже советскими и французскими специалистами были проведены работы по организации и осуществлению экспериментальных передач

Сто лет назад

ПЕТЕРБУРГ

19 апреля была получена в Петербурге первая автографная депеша из Москвы, переданная посредством только что открытого между Петербургом и Москвой пантелеграфа.

«Одесские вестники»,
30 апреля 1866 г.

ПЕТЕРБУРГ

27 июля на остров Ньюфаундленд пришел корабль и закрепил кабель, соединивший телеграфом Старый и Новый Свет. Не так давно употребляли целые месяцы на переезд из Европы в Америку, теперь можно переговариваться словами с одного берега Атлантического океана на другой.

«Иллюстрированная газета»,
№ 29, август, 1866 г.

НИКОЛАЕВСК

Начались работы по проведению телеграфа между Северной Америкой и Азией через Берингов пролив. Американские инженеры Мейгуд и Буш и начальник работ с нашей стороны г. Абаза вскоре приступят к предварительному исследованию берегов.

«Русские ведомости»,
10 февраля 1866 г.

ПАРИЖ

Аппарат Козелли, передающий телеграммы факсимиле и даже рисунки, действует уже между Лионом и Парижем. Скоро откроются передачи от Парижа до Марселя... Действия этого аппарата в отношении быстроты и точности безукоризненны.

«Голос», 1 марта 1866 г.

цветного телевидения по системе «СЕКАМ-3» из Москвы. Прием осуществлялся на расположенную во Франции (Племер-Боду) антенну с эффективной площадью порядка 240 м^2 .

Качество изображения оценивалось по испытательной таблице 0249, которая давалась с моноскопной установки Московского телевизионного центра. Оценки были следующими: четкость в центре экрана по вертикальным клиньям — 500 строк, групповая четкость — 500 строк, число градаций яркости по горизонтали — 8, по вертикали — 9, эхо-сигнал — 1, тянучки — 2—3 градации, окантовки небольшие.

С целью сохранения времени в типовых сеансах основные качественные показатели телевизионного тракта оценивались только по испытательным строкам. Диаграмма уровней устанавливалась по импульсу белого, содержащемуся в испытательных строках. Перед передачей цветных изображений передавалась испытательная таблица 0249. Измерялись: мощность принимаемой несущей и отношение сигнал/взвешенный шум по методике, принятой для черно-белого телевидения. На приемном конце была проведена коррекция амплитудно-частотных характеристик. Уровень принимаемого сигнала (на нагрузке 75 Ом) при типовых сеансах колебался от 18 до 20 мкВ . Отношение сигнал/взвешенный шум изменялось от 43,7 до 46,2 дБ. Четкость по испытательной таблице равнялась 450—500 строкам. Эхо-сигналы, тянучки и окантовки были незначительными или отсутствовали вовсе.

Для определения отношения сигнал/взвешенный шум в полной видеополосе измерялось с помощью осциллографа квазипиковое значение шума на уровнях черного и белого в испытательном сигнале № 2, прошедшем через взвешивающий фильтр. Затем был сделан пересчет в соответствии с методикой МККР на отношение сигнал/взвешенный шум, то есть размаха сигнала к эффективному значению шума. Это отношение составило 48 дБ на черном и 45,6 дБ на белом.

Несмотря на сложность линии связи Москва—Париж, качество принимаемых цветных изображений в целом было хорошее. Результаты проведенных измерений и испытаний показывают, что тракт Москва—Париж работал устойчиво.

Уровень сигнала был близок к расчетной

величине и стабилен. Цвета изображений воспроизводились без заметных искажений. На ярко-красных и темных местах изображений были заметны шумовые помехи. Для уменьшения шумов в московской аппаратной цветного телевидения уровень цветовой поднесущей был несколько поднят по сравнению с рекомендованным по стандарту на систему «СЕКАМ».

При настройке линии использовались цветные диапозитивы. На рис. 10. даны фотографии, снятые с экрана цветного телевизора при передачах некоторых из диапозитивов.

30 ноября 1965 г. в Париже состоялся официальный просмотр программы цветного телевидения, переданной из Москвы с помощью спутника «Молния-1». На просмотре присутствовали представители французского правительства, посол СССР во Франции В. А. Зорин и многочисленные журналисты.

Свет в зале гаснет, и на экранах телевизоров появляется заставка Московского телецентра — цветное изображение Кремля.

С приветственным словом к парижанам обратился министр связи СССР Н. Д. Псурцев, который подчеркнул, что передача цветного телевидения из Москвы в Париж является совместным достижением, расширяющим области сотрудничества между Францией и Советским Союзом в духе традиционной дружбы между нашими народами.

Затем Москва показала Парижу разнообразную программу, включающую видовой цветной фильм «10 минут в Ленинграде», демонстрацию советских мод зимнего сезона 1965/66 г. и швейцарский цветной музыкальный фильм «Песнь цветов».

28 мая 1966 г. был проведен сеанс передачи программы цветного телевидения из Парижа в Москву. Вначале с приветствием к москвичам обратился французский министр А. Перфит. Затем была передана разнообразная программа, длившаяся около часа. Качество принятых изображений было хорошим.

Во время визита президента Франции генерала Де Голля с 20 июня до 1 июля 1966 г. в Париж ежедневно передавался телевизионный (в черно-белом виде) репортаж через спутник «Молния-1».

1 октября 1961 г. в Москве состоялось официальное открытие передач цветного телевидения в Советском Союзе.

**ЧТО МОЖНО ПРОЧИТАТЬ
В ДОПОЛНЕНИЕ К СТАТЬЯМ
ЭТОГО ВЫПУСКА ЕЖЕГОДНИКА**

**Б. В. ПЕТРОВСКИЙ. НЕКОТОРЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ВОС-
СТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ**

Б. В. Петровский, И. З. Козлов. Аневризмы сердца. М., 1965.

Б. В. Петровский, Г. М. Соловьев, В. И. Шумаков. Протезирование клапанов сердца. М., 1966.

Б. В. Петровский, М. И. Перельман, А. П. Кузьмичев. Резекция и пластика бронхов. М., 1966.

Б. В. Петровский, Н. Н. Каншин, Н. О. Николаев. Хирургия диафрагмы. М., 1966.

**Д. Ф. ЧЕБОТАРЕВ. ДОЛГОЛЕТИЕ И АКТИВНАЯ СТА-
РОСТЬ**

Д. Ф. Чеботарев. Успехи геронтологии и гериа-
трии. «Проблемы долголетия». «Знание», М.,
1965.

Ф. М. Коломийцев. Профилактика преждевре-
менной старости. «Медицина», М., 1964.

Основы геронтологии (перевод с французского).
Под редакцией Л. Бине и Ф. Бурньера. Гос. изд.
мед. литературы, М., 1960.

**Н. Н. ВОРОНИН, В. И. АНТОНОВА. НОВОЕ О ДРЕВНЕ-
РУССКОМ ИСКУССТВЕ**

М. К. Каргер. Древний Киев, т. II. Памятники
киевского зодчества X—XIII веков. М.—Л., 1961.

Н. Н. Воронин. Зодчество Северо-восточной Руси
XII—XV вв., т. I и II. М., 1961 и 1962.

П. А. Раппопорт. Археологические исследования
памятников русского зодчества X—XIII веков.
«Советская археология». 1962, № 2.

«Каталог древнерусской живописи Третьяковской
галереи», т. I и II. М., 1963.

А. В. СИДОРЕНКО. БОГАТСТВА НАШЕЙ ЗЕМЛИ

А. В. Сидоренко. Геология — наука будущего. М.,
1964.

А. В. Сидоренко. Слово к молодым геологам. М.,
1964.

А. В. Сидоренко. Человек, техника, земля. М.,
1967.

А. В. Сидоренко. Изучение докембрия — важней-
шая задача современной геологии. Вестник АН
СССР, 1965, № 10.

А. В. Сидоренко. Проблемы осадочной геологии
докембрия. — «Советская геология», № 4, 1963.

В. А. Перваго, А. В. Сидоренко, Д. И. Щербаков.
За тесную связь геологической науки с произ-
водством. М., 1966.

Д. И. Щербаков. Геология к концу XX века. Еже-
годник «Будущее науки». М., 1966.

**Коллектив авторов, под редакцией академика
А. В. Сидоренко.** 50 лет советской геологии. М.,
1967.

Ж. И. КУСТО. ПРОЩАНИЕ С ПОВЕРХНОСТЬЮ

«Развитие морских подводных исследований».
Сб., М., 1965.

Ж. И. Кусто, Ф. Дюма, Д. Даген. В мире безмол-
вия. Живое море. М., 1966.

А. Ф. ТРЕШНИКОВ. АРКТИКА И ЕЕ ИЗУЧЕНИЕ

А. Ф. Трешников. Особенности ледового режима
Южного Ледовитого океана. Труды Советской
антарктической экспедиции, т. 21, Л., 1963.

А. Ф. Трешников. История открытия и исследо-
вания Антарктиды. Л., 1963.

**С. СТАНКОВИЧ. ВАЙКАЛ И ОХРИД — УНИКАЛЬНЫЕ
МУЗЕИ**

Л. Л. Россолимо. Байкал. «Наука», 1966.

М. М. Кожов. Биология озера Байкал. «Наука»,
1962.

Г. Г. Мартинсон. В поисках предков фауны Бай-
кала. Изд. АН СССР. 1959.

Н. Н. СЕМЕНОВ. САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ

Н. Н. Семенов. Цепные реакции. Л., 1934.

Н. Н. Семенов. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М., 1958.

НГУЕН ВАН ХЪЕУ. КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Над чем думают физики. Сборник, вып. 3, М., 1965.

Над чем думают физики. Сборник, вып. 4, М., 1965.

Ю. В. Новожилов. Элементарные частицы. М., 1963.

С. В. Владимиров, М. А. Карев. Кварки и элементарные частицы. М., 1965.

В. М. Мальцев. Физика высоких энергий. М., 1967.

М. Я. АЗБЕЛЬ, И. М. ЛИФШИЦ. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И МЕТАЛЛЫ

Ф. Зейтц. Физика металлов. М., 1947.

Г. Киттель. Введение в физику твердого тела. М., 1957.

И. М. Лифшиц, М. И. Каганов. УФН 69, 419 (1959); 78, 411 (1959); 78, 411 (1962); 87, 389 (1965).

Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ. «ГОРЯЧАЯ» МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ТЕОРИЯ ФРИДМАНА

А. А. Фридман. Избранные труды. М., 1966, стр. 244.

Я. Б. Зельдович. Проблемы современной физики и астрономия. УФН 78, вып. 4 (1962); Расширяющаяся Вселенная А. А. Фридмана. УФН 80, вып. 3 (1963); Горячая модель Вселенной. УФН 89, вып. 4 (1966).

А. Г. Дорошкевич, И. Д. Новиков. Средняя плотность излучения в Метагалактике и некоторые вопросы релятивистской космологии. Доклады Академии наук 154, вып. 4 (1964).

В. Л. Гинзбург, Л. М. Озерной. О температуре межгалактического газа. Астрономический журнал 42, вып. 5 (1965).

В. А. Амбарцумян. Звездные ассоциации. Научные труды, т. II, Ереван, 1960.

А. Г. Дорошкевич, Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Возникновение галактик в расширяющейся Вселенной. Астрономический журнал 44, вып. 2 (1967); Слабовзаимодействующие частицы в анизотропной космологической модели. ЖЭТФ 53, вып. 1 (7) (1967).

В. Г. Курт, Р. А. Сюняев. Внеатмосферные измерения ультрафиолетового излучения межгалактического газа. Письма в редакцию ЖЭТФ 5, вып. 8 (1967).

Я. Б. Зельдович, Л. Б. Окунь, С. Б. Пикельнер. Кварки: астрофизический и физико-химический аспекты. УФН 87, вып. 1 (1965).

В. И. ПОПКОВ. ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В. И. Попков. ЕЭС — рассказ о Единой энергетической системе СССР. М., 1961.

И. М. Маркович, М. С. Липкинд. Электричество в пути. М., 1964.

С. С. Рокотян. Передача электрической энергии на дальние расстояния. М., 1956.

	14	КАЛЕНДАРЬ НАУКИ
М. В. КЕЛДЫШ	27	ОКТЯБРЬСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И НАУЧНЫЙ ПРОГРЕСС
П. Н. ФЕДОСЕЕВ	39	ОБЩЕСТВЕННЫЕ НАУКИ И РАЗВИТИЕ ОБЩЕСТВА
Д. М. ГВИШИАНИ	49	МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВЯЗИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

ЧЕЛОВЕК

Б. В. ПЕТРОВСКИЙ	58	НЕКОТОРЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ
Д. Ф. ЧЕБОТАРЕВ	66	ДОЛГОЛЕТИЕ И АКТИВНАЯ СТАРОСТЬ
Д. Г. МАРТИН	76	ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУР МОЗГА
Н. Н. ВОРОНИН, В. И. АНТОНОВА	82	НОВОЕ О ДРЕВНЕРУССКОМ ИСКУССТВЕ

ЗЕМЛЯ

А. В. СИДОРЕНКО	116	БОГАТСТВА НАШЕЙ ЗЕМЛИ
Ж. И. КУСТО	130	ПРОЩАНИЕ С ПОВЕРХНОСТЬЮ
А. Ф. ТРЕШНИКОВ	150	АРКТИКА И ЕЕ ИЗУЧЕНИЕ
С. СТАНКОВИЧ	168	БАЙКАЛ И ОХРИД — УНИКАЛЬНЫЕ МУЗЕИ
А. ГУСТАФССОН	186	РОЛЬ ГЕНОЭКОЛОГИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ МУТАЦИЙ В СЕЛЕКЦИИ РАСТЕНИЙ

МИКРОМИР

Н. Н. СЕМЕНОВ	212	САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ И ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ
М. ДАНЫШ, Е. ПНЕВСКИЙ	230	ГИПЕРЯДРА
НГУЕН ВАН ХЬЕУ	238	КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
М. Я. АЗБЕЛЬ, И. М. ЛИФШИЦ	252	КВАНТОВАЯ ФИЗИКА И МЕТАЛЛЫ
М. С. МЕЗЕЛЬСОН	268	РЕДУПЛИКАЦИЯ И РЕКОМБИНАЦИЯ ГЕНОВ
Г. У. ФЛОРИ	278	СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ

ВСЕЛЕННАЯ

К. П. ФЕОКТИСТОВ	290	КОСМИЧЕСКИЕ КОРАБЛИ
М. ШТЕЕНБЕК	306	ВОЗНИКНОВЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПЛАНЕТ И ЗВЕЗД
Я. Б. ЗЕЛЬДОВИЧ	326	«ГОРЯЧАЯ» МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ И ТЕОРИЯ ФРИДМАНА

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Л. В. КАНТОРОВИЧ, А. Б. ГОРСТКО	346	МАТЕМАТИКА В ЭКОНОМИКЕ
С. В. ВОНСОВСКИЙ	362	МАГНЕТИЗМ И МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
В. И. ПОПКОВ	382	ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
А. Д. ФОРТУШЕНКО	404	ЦВЕТНОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ И СПУТНИКИ «МОЛНИЯ-1»

«Календарь науки. 1966», раздел «Сто лет назад» подготовили
Л. ВЕРЕС, Г. ГАЛИН.

В подготовке статей и биографий авторов принимали участие
М. ГАПОЧКА, А. ЗЕЛЕНИН, С. ЛАРИН, С. ПОЛЯК, В. РОЗИН-
СКАЯ, С. СЕВЕРИНА, В. СЕГАЛОВ, Г. ХОЗИН

Статьи иностранных ученых, опубликованные в шестом томе
ежегодника, перевели:

Г. МАРТИН. Изучение структур мозга

Р. РУТМАН

Ж. ИВ КУСТО. Прощание с поверхностью

кандидат биологических
наук О. МОКИЕВСКИЙ

А. ГУСТАФССОН. Роль геноэкологии и исследований мутаций
в селекции растений

доктор биологических
наук Я. ГЛЕМБОЦКИЙ

М. МЕЗЕЛЬСОН. Редупликация и рекомбинация генов

доктор биологических
наук Я. ГЛЕМБОЦКИЙ

Г. ФЛОРИ. Строение клетки и ее функции

Р. РУТМАН

М. ШТЕЕНБЕК. Возникновение магнитных полей планет
и звезд

Л. ПОГРЕВНАЯ

ОФОРМИТЕЛИ КНИГИ Д. ВИСТИ, Е. ГАННУШКИН, С. БАРАВАШ

РИСУНКИ В. СЕВАСТЬЯНОВА, О. ДЕ АРАУЖО

ЭМБЛЕМА ЕЖЕГОДНИКА Э. НЕИЗВЕСТНОГО
ФОТОГРАФИИ Ю. ТРАНКВИЛЛИЦКОГО

В КНИГЕ ИСПОЛЬЗОВАНЫ ТАКЖЕ ФОТОМАТЕРИАЛЫ АПН И ТАСС

РЕДАКТОРЫ Е. БРОВКИНА, К. ГУСЕВА, Г. КРЕМНЕВА.

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР Е. ВОЛКОВ.

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР А. КОВАЛЕВСКАЯ.

КОРРЕКТОРЫ В. КАЗАКОВА, Р. КОЛОКОЛЬЧИКОВА.

А 12661. Сдано в набор 27/III 1967 г.
Подписано к печати 27/XI 1967 г.
Формат бум. 84×108/16. Бумага тивдрочная № 1
Бум. л. 13,25 Печ. л. 26,5
Усл. печ. л. 44,52. Уч.-изд. л. 39,75 (+16 вкл.)
Цена 2 р. 50 к. Тираж 100 000 экз. (1й завод 1 — 50 000 экз.)
Заказ 1745
Опубликовано тем. план 1967 г. № 2
Издательство «Знание». Москва, Центр,
Новая пл., д. 3/4.
Московская типография № 2 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Москва, проспект Мира, 105.

НАУКА И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЕЖЕГОДНИК • 1967

