

В. ЧОЛАКОВ

Ученые
и
открытия

Издательство „Мир“

**НОБЕЛЕВСКИЕ
ПРЕМИИ**

**Ученые
и
открытия**

ВАЛЕРИЙ ЧОЛАКОВ

НОБЕЛОВИТЕ НАГРАДИ

Учени и открития

1901—1984

Физика

Химия

Физиология

и медицина

Партиздат/София 1985

Библиотечная серия

В. ЧОЛАКОВ
НОБЕЛЕВСКИЕ
ПРЕМИИ
Ученые
и
открытия

Перевод с болгарского
А. С. НИКОЛЬСКОГО
под редакцией
д-ра хим. наук А. Н. ШАМИНА



МОСКВА «МИР» 1987

4879



БКК 72.3

Ч75

УДК 001.007(100):06.068

Чолаков В.

Ч75 Нобелевские премии. Ученые и открытия:
Пер. с болг./Под ред. и с предисл. А. Н. Шамина. — М.: Мир, 1986. — 368 с.

Книга болгарского историка науки Валерия Чолакова рассказывает о выдающихся открытиях в естествознании (физике, химии, биологии, медицине), авторы которых были удостоены Нобелевской премии. Учрежденная в начале нынешнего века, эта премия относится к числу самых почетных и авторитетных международных наград, и ее присуждение, безусловно, отмечает значительные вехи в истории мировой науки нашего столетия.

Адресована широкому кругу читателей, интересующихся историей науки и ее достижениями.

ч $\frac{1601000000-268}{041(01)-86}$ 7-86, ч. 1

БКК 72.3

Редакция научно-популярной и научно-фантастической литературы

Библиотечная серия

Научно-популярное издание

Валерий Чолаков

НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ. УЧЕНЫЕ И ОТКРЫТИЯ

Научный редактор А. Н. Кондрашова.

Младший редактор И. Б. Ильченко. Художник В. В. Дуныко.
Художественный редактор Н. М. Иванов. Технические редакторы
Л. В. Рыбалко, Л. П. Емельянова. Корректор М. А. Смирнов

ИБ № 6711

Подписано к печати 09.03.87. Формат 84×108/32. Бумага кн.-журн. Печать высокая. Гарнитура литературная. Объем 5,75 бум. л. Усл. печ. л. 19,32. Усл. кр.-отг. 19,32. Уч.-изд. л. 19,99. Изд. № 9/5767. Тираж 100 000 экз (Допечатка). Зак. № 521. Цена 1 р. 40 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» 126820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2
Отпечатано в Ленинградской типографии № 2 головном предприятии ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29 с матриц ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первой Образцовой типографии» имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 113054, Москва, Валуевы, 28

© Валерий Чолаков, 1985, с/o Jusautor, Sofia
© перевод на русский язык, «Мир», 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Наука интернациональна — взаимосвязи и научное сотрудничество ученых различных государств и разных научных школ объективны и глубоко обоснованны. Наука дифференцирована, но ученые в служении миру и прогрессу объединяют общие принципы познания законов природы. Ныне все крупнейшие достижения человеческого разума обусловлены обменом научной информацией, переносом результатов теоретических и экспериментальных исследований из одной области науки в другую. Небывалое значение приобрели контакты между учеными. От сотрудничества ученых различных стран и научных школ сегодня зависит прогресс не только науки и техники, но и человеческой культуры и цивилизации в целом.

Слова И. Ньютона о «плечах гигантов», на которые он опирался в своих исследованиях, сейчас существенно изменили свой смысл. Если раньше они символизировали эстафету сменяющихся поколений ученых, то ныне каждый крупный исследователь ощущает «плечи гигантов» рядом с собой. Число ученых за всю предшествующую историю человечества составляет лишь десятую долю от числа работающих в науке в наши дни, и это дает основание говорить, что девять десятых всех талантливых творцов науки — наши современники.

Естественно, что общество не остается равнодушным к достижениям ученых, и на протяжении многовековой истории науки выработалась определенная система оценок результатов научного труда. Особенно разносторонней и многообразной она стала в наши дни, отмеченные бурным прогрессом во многих областях науки и техники. Различные научные центры, общества и академии, многочисленные национальные корпорации и специальные комитеты разных стран, а также международные организа-

ции отмечают научные заслуги ученых, оценивая как значение личного вклада ученого в развитие науки в целом, так и отдельные научные открытия.

О роли и функциях таких наград — медалей, премий, почетных званий — написано немало исторических и социологических трудов. Следует, однако, отметить одно важное обстоятельство: все научные награды лишь тогда выполняют свою социальную функцию, когда они служат утверждению научных эталонов, созданию своеобразных ориентиров научно-технического прогресса, причем ориентиров, имеющих не только утилитарное, но и морально-этическое значение.

К числу самых авторитетных научных наград относится премия, учрежденная 29 июня 1900 г. в соответствии с завещанием Альфреда Нобеля (текст этого завещания мы приводим в приложении к русскому изданию настоящей книги). Утверждению значения Нобелевских премий способствовало несколько обстоятельств. В частности, значительной была сумма вознаграждения которая составляет около 100 тыс. долл. и колеблется в зависимости от прибылей Нобелевского фонда). Но, пожалуй, не это самое главное. Авторитет премий, присуждаемых за научные достижения в области физики, химии, а также физиологии и медицины, во многом обоснован самой деятельностью Нобелевских комитетов Шведской академии наук и Каролинского медико-хирургического института. Присуждение ими премий, как правило, отмечало действительно исторические события в естествознании, играя роль своеобразного индикатора тенденций в развитии науки и как бы оценивая удельный вес того или иного научного направления. Имена практически всех нобелевских лауреатов — физиков, химиков, биологов и врачей — прочно вошли в историю науки и медицины. Поэтому история Нобелевских премий в определенном смысле отражает историю естествознания нынешнего столетия. Именно в таком плане она и предстает в книге болгарского популяризатора науки Валерия Чолакова, которая предлагается вниманию советского читателя и в которой, как мы надеемся, он найдет для себя много интересных и полезных сведений.

Однако неизбежная для всякой книги на столь обширную тему упрощенность изложения требует, на наш взгляд, некоторых пояснений и дополнений. Бурный прогресс науки, ее количественный и качественный рост при-

вели к тому, что в наши дни число научных достижений «нобелевского ранга» существенно возросло. И совершенно очевидно, что не все ученые, достойные Нобелевской премии, ее получают. Это послужило основой для ряда критических замечаний, высказываемых в последние десятилетия по поводу практики присуждения Нобелевских премий.

Дискуссии на эту тему во многом стимулировались обнародованными в середине 60-х годов докладами американских социологов Ст. и Дж. Коул «Производительность труда и его признание в науке. К вопросу о поощрительной системе в науке» и Г. Цукерман «Нобелевские лауреаты в науке; проблемы научного сотрудничества, авторства и производительности труда в науке». Оба доклада были подготовлены для Американской ассоциации социологов. Исходным пунктом критики стало утверждение Г. Цукерман, что в «высшую элиту современной науки», т. е. в число удостоенных Нобелевской премии, не попадают многие ученые, достигшие не менее ценных результатов, но работавшие в составе большого коллектива (а, как известно, Нобелевская премия индивидуальна), или те, работы которых были обнародованы в «непривычной форме» или в «непривычном издании» и т. д. При этом Г. Цукерман подчеркивала, что число таких «обойденных» столь велико, что его невозможно и установить.

Высказывались и другие замечания, например известным писателем — популяризатором науки Робертом Юнгом, который, в частности, подчеркнул, что продуктивность нобелевских лауреатов в первые пять лет после присуждения премии снижается примерно втрое (кстати, это отмечали и Коулы, и Цукерман). Приводилось, например, такое высказывание нобелевских лауреатов А. Львова, Ф. Жакоба и Ж. Моно: «Мы вдруг стали знамениты, как кинозвезды. Жизнь наша обратилась в сплошные неприятности: оказалось, что на нас возлагаются какие-то новые фантастические обязанности...»

Однако справедливости ради следует признать, что подобная критика крайне легковесна и неконструктивна. Самое большее, что мог предложить Р. Юнг, — это пожелание не присуждать персональных Нобелевских премий, а передавать определенные суммы из Нобелевского фонда на перспективные исследования, испытывающие недостаток в средствах.

Подобная критика, разумеется, не способна поколебать авторитета Нобелевских премий по естественным наукам. Но проблемы не исчезли — число достойных высокой награды неуклонно возрастает. Возникают новые области науки, которые также заслуживают поощрения и признания. В 1969 г. Шведский банк по случаю своего 300-летия учредил мемориальную Нобелевскую премию по экономическим наукам, статут которой идентичен «старым» Нобелевским премиям. Лауреатом этой премии в 1975 г. стал советский математик Л. В. Канторович.

Учреждаются и другие награды, премии и звания; кроме того, происходят определенные изменения во всей системе существующих поощрений. Нельзя не отметить и другой момент: положение ученого в научном сообществе определяется многими показателями. К таковым относится, скажем, число принадлежащих ученому патентов. Вспомним хотя бы Т. Эдисона или обладателя не меньшего количества патентов химика В. Н. Ипатьева. Ученый оценивается по цитируемости его работ (одним из наиболее часто цитируемых советских ученых был Л. Д. Ландау), по числу переводов его трудов на иностранные языки (на множество языков народов мира были переведены, например, труды создателя теории происхождения жизни на Земле А. И. Опарина) и т. д.

Что же касается почетных наград и поощрений, то в наши дни, по-видимому, правильнее говорить о некоем спектре научных отличий, где Нобелевская премия, безусловно, занимает высшую позицию. Однако за ней стоят другие награды, которые иногда вплотную приближаются к ней. Так, завещание А. Нобеля не предусматривало присуждения премии за достижения в области математических наук (если только они не находят приложения в физике). Международным Математическим конгрессом молодым ученым (в возрасте до 40 лет) присуждается премия имени Дж. Филдса за выдающиеся достижения в области математики. Награждение производится раз в 4 года, при этом вручается медаль и денежная премия. В 1970 г. этой премии был удостоен С. П. Новиков, а в 1978 г. Г. А. Маргулис — молодые советские ученые.

Освоение космического пространства способствовало развитию новых научных направлений, творцы которых, бесспорно, заслуживают всемирного признания. В 1951 г. была учреждена Международная премия имени А. Галабера, присуждаемая за научные достижения

в освоении космического пространства. Лауреатами премии А. Галабера стали многие советские ученые и космонавты, прежде всего М. В. Келдыш, главный теоретик космонавтики, и первый космонавт Земли Ю. А. Гагарин.

Число премий и медалей, присуждаемых различными международными организациями отдельным ученым, неуклонно возрастает — этот процесс пропорционален росту международного научно-технического сотрудничества. Приведем лишь несколько примеров, показывающих, сколь разнообразные сферы научной деятельности они охватывают. Так, учреждена премия ЮНЕСКО по науке, которая присуждается отдельным ученым или группам ученых за выдающийся вклад в науку и технику, содействующий научно-техническому прогрессу развивающихся стран. Первым лауреатом премии стал советский почвовед В. А. Ковда. Премия Гуггенгейма, учрежденная Международной академией астронавтики, присуждается ученым, внесшим значительный вклад в развитие астронавтики. Ею отмечены работы М. В. Келдыша, О. Г. Газенко, Л. И. Седова, космонавтов А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова. В 1969 г. научными обществами стран Западной Европы учреждена премия имени И. В. Гете, которая присуждается ученым за достижения в области охраны окружающей среды.

Международные организации присуждают различные награды за успехи в отдельных науках, главным образом в новых, возникших уже в нашем столетии. Так, весьма авторитетная организация, охватывающая представителей многих стран мира, — Федерация европейских биохимических обществ — в 1968 г. учредила ежегодную награду — медаль имени Ганса Кребса; в 1969 г. этого отличия был удостоен советский биохимик А. С. Спирин.

Практика присуждения наград ученым насчитывает уже два столетия. Многие отличия, присуждаемые научными корпорациями и специальными комитетами отдельных стран, приобрели ныне статус международных.

Так, одно из старейших и почетных отличий Великобритании — медаль Копли в свое время была вручена великому русскому химику Д. И. Менделееву. Большим международным авторитетом пользуется медаль У. Г. Волластона, присуждаемая с 1831 г. Лондонским геологическим обществом. Ею были награждены А. П. Карпинский и А. Е. Ферсман. Золотой медали Э. Резерфорда, которую Физическое общество Велико-

британии присуждает за выдающиеся достижения в области физики, был удостоен П. Л. Капица. Это же общество отметило научные достижения П. Л. Капицы и И. М. Лифшица премией имени Ф. Саймона, отмечающей достижения в исследовании низких температур. Одной из самых высоких международных наград в области акустики считается медаль Д. Рейли, присуждаемая Институтом акустики Великобритании. В 1977 г. ее получил советский ученый Л. М. Бреховских.

Международным авторитетом пользуются и некоторые научные отличия Франции. С 1839 г. Парижская академия наук присуждает премию имени Ж. Кювье; с 1802 г. за выдающиеся астрономические открытия присуждается премия им. Ж. Ж. Ф. Лаланда. Очень почетна учрежденная Парижской академией наук в 1890 г. премия за исследования в области археологии, геологии и географии Азии, которая носит имя русского ученого П. А. Чихачева. Фонд этой премии составляют средства, завещанные замечательным русским географом, геологом и путешественником П. А. Чихачевым (1808—1890). Эта премия дважды (1895, 1928) присуждалась В. А. Обручеву.

Весьма престижны также ряд премий и медалей, присуждаемых различными научными ассоциациями, учреждениями и фондами ФРГ. Об одной из них следует сказать особо. В 1977 г. фондом г. Гамбурга была учреждена премия А. П. Карпинского, русского и советского геолога, президента Академии наук нашей страны с 1917 по 1936 г. Эта премия (в размере 300 тыс. западногерманских марок), присуждаемая ежегодно советским ученым за выдающиеся достижения в области естественных и общественных наук, призвана служить развитию научного сотрудничества и отношений между СССР и ФРГ. Фонд г. Гамбурга выделяет также стипендию в размере 5 тыс. марок ФРГ, которая дается молодому научному специалисту из СССР (его кандидатуру предлагает лауреат премии) для прохождения стажировки в течение одного года в научных учреждениях ФРГ. Вручение премии происходит попеременно в городах-побратимах Ленинграде и Гамбурге. В 1979 г. первым этой награды был удостоен Ю. А. Овчинников, она была присуждена Б. Б. Пиотровскому и В. И. Гольданскому.

Ряд почетных и престижных наград существует также в США. Так, золотая медаль им. С. Бэллентайна, учрежденная в США Институтом Б. Франклина, присуждается

ежегодно за выдающиеся достижения в области науки и техники; в научных кругах США она расценивается как малая Нобелевская медаль без вручения денежной премии. Этот же институт присуждает медаль имени Б. Франклина, которой были отмечены заслуги П. Л. Капицы и Н. Н. Боголюбова. С 1956 г. фондом компании «Форд мотор» учреждена премия «Атом для дела мира», которая присуждается отдельным лицам, коллективам и организациям любой страны за успехи в области мирного использования атомной энергии; она включает золотую медаль и денежную премию в размере 70 тыс. долл. В 1962 г. эта премия была присуждена В. И. Векслеру.

Все больший международный авторитет приобретают медали и премии, присуждаемые различными обществами и организациями социалистических стран. Высшей наградой Чехословацкой академии наук является золотая и серебряная медали «За заслуги перед наукой и человечеством». Ею были награждены М. В. Келдыш, В. А. Котельников, Ю. А. Овчинников, П. Н. Федосеев и другие советские ученые. Аналогичная медаль, как высшая награда, учреждена и Словацкой академией наук. Весьма почетны медали им. Г. Менделя, Я. Гейровского, Я. Пуркинье. Золотыми и серебряными медалями Я. Пуркинье отмечены заслуги многих советских ученых, среди которых — А. Н. Фрумкин, В. Е. Соколов, Я. П. Страдынь. Одна из признанных международных наград ЧССР связана с именем замечательного советского физикохимика Г. В. Акимова — это Золотая медаль Научно-исследовательского института защиты металлов, присуждаемая за выдающиеся заслуги в области изучения коррозии — одного из важнейших направлений современной науки. Ею отмечены заслуги ряда советских ученых, в том числе Я. М. Колотыркина и Ю. Ю. Матулиса. За успешные совместные работы советских и чехословацких ученых присуждаются специальные Межакадемические советско-чехословацкие премии. Международным признанием пользуются медали, присуждаемые научными организациями и учреждениями ГДР: медали Г. Лейбница, Г. Гельмгольца, Ч. Дарвина, А. Гумбольдта, С. Бубнова и др. Ими также отмечены открытия многих советских ученых. Высшая научная премия НРБ — Димитровская премия, учрежденная в 1949 г., — была присуждена советским ученым И. П. Герасимову, Д. Ф. Маркову, Б. Н. Пономареву.

Чрезвычайно высокий международный авторитет имеют высшие награды Советского Союза. Самой высокой формой поощрения и признания научных заслуг в нашей стране является Ленинская премия. Премия им. В. И. Ленина была учреждена в 1925 г. В решении об этом было сказано: «В целях поощрения научной деятельности в направлении, более близком к идеям В. И. Ленина, а именно в направлении связи науки и жизни, Совет Народных Комиссаров постановляет: учредить фонд выдачи премии имени В. И. Ленина за научные работы. Общую сумму выдаваемых ежегодно премий установить в размере 10 000 (десять тысяч) рублей... Премированию подлежат имеющие наиболее практическое значение научные труды граждан Союза ССР, написанные после 25 октября (7 ноября) 1917 г. по всем отраслям знания».

Если перечислить имена лишь некоторых из первых лауреатов Премии им. В. И. Ленина, то станет ясно, что ею были отмечены ученые очень высокого ранга, снискавшие своими работами мировую известность. Среди них — А. Н. Бах, Л. А. Чугаев, Н. И. Вавилов, Н. С. Курнаков, А. Е. Ферсман, А. Е. Чичибабин, В. Н. Ипатьев, А. Н. Фрумкин, Л. В. Писаржевский и другие.

В период 1935—1957 гг. премии не присуждались. В 1957 г. было восстановлено присуждение премий (теперь она стала называться Ленинской) за выдающиеся научные труды, архитектурные и технические сооружения, изобретения, технологические процессы и т. д.

Ленинской премии были удостоены многие выдающиеся советские ученые, в том числе К. А. Андрианов — создатель кремнийорганических полимеров, А. Н. Несмеянов — один из основателей элементоорганической химии, Н. М. Эмануэль, Е. Н. Павловский, А. И. Опарин, Г. И. Будкер, Р. В. Хохлов. Ею отмечены научные труды А. П. Александрова, А. Е. Браунштейна, Г. П. Георгиева, Ю. А. Овчинникова и других.

Хотя Ленинская премия присуждается советским гражданам, в виде исключения имели место и награждения иностранных граждан. Так, чехословацкий химик Иво Звара был отмечен ею за участие в изучении курчатовия — искусственного радиоактивного элемента, полученного в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна).

Государственные премии СССР присуждаются за ис-

следования, вносящие крупный вклад в развитие отечественной науки, за работы по созданию и внедрению в народное хозяйство наиболее прогрессивных материалов, машин и механизмов, за разработку новых высокопроизводительных технологических процессов, за внедрение передового производственно-технического опыта и т. п. В виде исключения Государственная премия СССР также присуждалась гражданам других государств. Например, за участие в осуществлении проекта «Ревертаза» были награждены ученые социалистических стран.

Огромным международным авторитетом пользуется высшая награда АН СССР за выдающиеся работы в области естественных и общественных наук — медаль М. В. Ломоносова. В 1956 г. АН СССР учредила две золотые медали М. В. Ломоносова, одну из которых присуждают советскому ученому, другую — иностранному. Показательно, что медалью М. В. Ломоносова награжден ряд ученых, чьи заслуги перед наукой отмечены также Нобелевскими премиями.

Советская наука обогатила человечество выдающимися достижениями, получившими широкое международное признание. Еще в 20—30-х годах в СССР были сделаны открытия, значение которых в полной мере оценено лишь в наши дни. В послевоенные годы овладение могуществом атома, запуск первого спутника Земли и первый полет человека в космическое пространство еще более повысили авторитет советской науки.

К 1980 г. более 1250 советских ученых стали почетными членами зарубежных научных академий, обществ и организаций. Свыше 1000 научных организаций и учреждений 59 стран мира присудили советским ученым более 3300 различных наград. Выдающиеся советские ученые: Н. Н. Семенов, П. А. Черенков, И. Е. Тамм, И. Е. Франк, Л. Д. Ландау, Н. Г. Басов, А. М. Прохоров, Л. В. Канторович, П. Л. Капица — награждены Нобелевскими премиями; с их исследованиями читатель более подробно ознакомится в книге В. Чолакова.

Естественно, что, рассказывая в нашем предисловии о существующей в современном мире системе научных наград и поощрений, мы назвали лишь имена некоторых советских ученых, удостоенных высоких отличий. Однако список советских и зарубежных исследователей, чей вклад в развитие мировой науки неоспорим и заслужил широкое признание, можно продолжить. Имена многих

из них читатель встретит и на страницах книги болгарского автора. Все это, безусловно, свидетельствует о том, что, хотя данная книга и отражает историю науки XX в., это лишь часть ее истории, связанная с присуждением Нобелевских премий.

Мы сочли целесообразным дополнить книгу В. Чолакова приложением, которое, как нам кажется, придаст ей в некотором смысле справочный характер. Оно включает текст завещания А. Нобеля, а также протокольные тексты решений о присуждении Нобелевских премий по физике, химии, физиологии и медицине, которые помогут ликвидировать множество разночтений, существующих в литературе по этому вопросу. Кроме того, авторский список литературы дополнен библиографическими источниками, более доступными советскому читателю.

А. Шамин

1. Биологи.— Киев: Наукова думка, 1984.
2. Быков Г. В. История органической химии. Структурная теория. Физическая органическая химия. Расчетные методы.— М.: Химия, 1976.
3. Быков Г. В. История органической химии. Открытие важнейших органических соединений.— М.: Наука, 1978.
4. Волков В. А., Вонский Е. В., Кузнецова Г. И. Химики.— Киев: Наукова думка, 1984.
5. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева, 1975, XX, № 6 (Номер посвящен лауреатам Нобелевской премии по химии).— М.: Химия, 1975.
6. Корнеев С. Г. Советские ученые — почетные члены научных организаций зарубежных стран.— М.: Наука, 1981.
7. Овчинников Ю. А., Шамин А. Н. Строение и функции белков.— М.: Педагогика, 1983.
8. Петров Р. В. Иммунология.— М.: Медицина, 1982.
9. Скулачев В. П. Рассказы о биоэнергетике.— М.: Молодая гвардия, 1982.
10. Храмов Ю. А. Физики. Биографический справочник.— М.: Наука, 1983.
11. Foltá J., Nový L. Dejiny prirodnych vied v datach.— Bratislava: Smena, 1981.
12. Les Prix Nobel.— Stockholm: Almqvist and Wiksell International, 1901—1983.
13. Portugal F. H., Cohen J. S. A century of DNA.— Cambridge, Massachusetts — London: The MIT Press, 1979.
14. La Science au 20-e siècle. Encyclopedie. Vols. 1—5.— Paris: ALAP, Moscou Novosti, 1977.
15. Scienziati e технологи contemporanei.— Milano: Mondadori, 1975.
16. Sohlman R. The legacy of Alfred Nobel. The story behind the Nobel Prizes.— London: The Bodley Head, 1983.

Кто же они, те люди, деятельность которых связана с невиданными достижениями в современной науке и глубоким проникновением в тайны живой и неживой природы? Где они работали? В чем суть сделанных ими открытий?

Ответ на эти вопросы можно получить, ознакомившись со списком лауреатов Нобелевской премии, ибо этой авторитетной международной наградой за достижения в области науки удостоены многие крупные ученые XX века. Им и посвящена настоящая книга. На ее страницах мы встретимся с Альбертом Эйнштейном, создавшим теорию относительности, Нильсом Бором, построившим первую модель атома, Хансом Бете, объяснившим природу излучения Солнца, П. Л. Капицей и Л. Д. Ландау, открывшими таинственное явление сверхтекучести, Джеймсом Уотсоном, Фрэнсисом Криком с их знаменитой «нитью жизни» — молекулой ДНК, структуру которой они открыли, и с многими другими знакомыми и неизвестными нам творцами современной науки.

ВВЕДЕНИЕ

Последние 300 лет в истории человечества по праву можно считать периодом небывалого расцвета науки, который в наши дни привел к подлинной научно-технической революции. Процесс развития науки протекает неравномерно. Периоды застоя чередуются с периодами взрывообразного подъема. И нередко быстрый прогресс в науке является следствием какого-либо крупного открытия. Благодарные современники обычно не оставались равнодушными к великим открытиям, находя средства и способы вознаградить их авторов. Гениальный Ньютон за свои научные труды получил звание лорда. В то же самое время, в начале XVIII в., Французская академия наук стала объявлять конкурсы на решение актуальных научных проблем и присуждала победителям крупные денежные премии. В 1731 г. Лондонское королевское общество учредило первую награду в области науки — медаль Копли.

С тех пор число различных медалей и наград, присуждаемых за научные открытия и достижения, далеко шагнуло за сотню. Среди этого множества отличий выделяется, однако, премия, ставшая символом высшего достижения в области науки, — это премия, учрежденная в конце прошлого века шведским инженером и промышленником Альфредом Нобелем. Все свое состояние он завещал израсходовать на награды ученым и литераторам, внесшим крупнейший вклад в прогресс человечества, а также общественным деятелям, способствовавшим укреплению мира между народами.

Сам порядок отбора кандидатов на Нобелевскую премию в значительной степени выражает мнение ученых. И хотя не все лауреаты Нобелевской премии выдержали проверку временем, в основном она позволяет проследить высшие достижения науки нашего века, причем

знакомство с ними в равной мере представляет интерес как для людей, занимающихся наукой и историей, так и для широкой общественности.

Сейчас, спустя более чем восемь десятилетий со дня учреждения Нобелевского фонда, присуждаемые им награды в области науки остаются наиболее почетными. Как сказал в своей Нобелевской речи академик П. Л. Капица, другой награды, пользующейся подобным международным авторитетом, не существует.



I АЛЬФРЕД НОБЕЛЬ

Имя Нобеля, которое для нас связано с известными премиями и открытием динамита, в XIX в. было довольно популярным в кругах промышленников и финансистов. Несколько крупных фирм, созданных братьями Нобель и их отцом, занималось производством взрывчатых веществ и машиностроением; им принадлежало также нефтепромышленное предприятие в Баку.

Историю этой семьи можно проследить начиная с XVII в., когда студентом Упсальского университета стал молодой человек по имени Пер родом из области Сконе в Южной Швеции. Его отец Олаф был крестьянином. Попав в среду ученых, Пер Олафсон в духе того времени латинизировал свое имя, назвавшись Петрусом Олави. Тогда среди шведов начала распространяться мода на фамилии, и молодой человек, бывший родом из общины Нобелёв, выбрал себе в качестве фамилии название места своего рождения, превратив его в Нобелиус. В дальнейшем один из его внуков, военный врач, отбросил латинское окончание — и возникла фамилия Нобель.

Сын этого военного врача, Эммануэль Нобель (1801—1872), закончил университет в Упсале, работал архитектором в Стокгольме. Однако в 1837 г. уехал в Финляндию, входившую тогда в состав Российской империи. В 1842 г. он вместе с женой и тремя сыновьями — Робертом, Людвигом и Альфредом — обосновался в Петербурге.

В то время Российская империя, преимущественно аграрная страна, нуждалась в сильной армии, а для армии были необходимы военные заводы, которые производили бы оружие и боеприпасы. В этой области и развернул свою деятельность Эммануэль Нобель, а затем и его сын Альфред. Предприятия отца процветали до середины 50-х годов прошлого века: тогда, в период Крымской войны, Россия практически прекратила свои тор-

говые отношения с западными странами. Однако после заключения мира царская администрация вернулась к старой практике закупок нужной техники на Западе, оставив заводы Эммануэля Нобеля без заказов. И в 1859 г. он вынужден был уехать в Швецию. В России остались его сыновья.

Роберт, Людвиг и Альфред, родившиеся соответственно в 1829, 1831 и 1833 гг., приехали в Россию детьми, получив в Швеции лишь начальное образование. Изучив в Петербурге русский язык, они продолжали себе образование у частных преподавателей, но в основном братья, как и их отец, пополняли свои знания самостоятельно.

В 60-е годы прошлого века Роберт и Людвиг строят оружейные заводы в Петербурге и Перми. Разъезжая по Кавказу в поисках лесоматериалов, Роберт побывал на нефтяных месторождениях в районе Баку. О месторождениях нефти там было известно еще с древних времен, но до 70-х годов XIX в. ее добыча велась очень примитивным способом. Роберт Нобель увидел возможность усовершенствовать и расширить ее добычу и убедил заняться этой деятельностью своего брата Людвига.

Братья создают акционерное общество, которое начинает добывать нефть в больших масштабах, используя современную технику. Бурится небольшое количество скважин, прокладываются нефтепроводы. Людвиг Нобель заказывает в Швеции первые в мире танкеры для перевозки нефти, которые совершают регулярные рейсы. Строятся нефтеперегонные заводы в Баку, нефтепродукты транспортируются и по Волге, и по железной дороге до портов Черного моря, откуда отправляются в соседние и дальние страны. Из импортера нефти Россия превращается в крупного ее экспортера.

Вернувшись в Швецию, старый Эммануэль Нобель не отказывается от своей идеи производства боеприпасов для русской армии. Он начинает эксперименты с различными взрывчатыми веществами и приглашает в Стокгольм для совместной работы сына Альфреда, который после завершения учебы путешествовал по разным странам. Набравшись опыта у крупнейших специалистов Европы и Америки, Альфред Нобель в 1863 г. приезжает в Швецию вместе с младшим братом Эмилом, родившимся в России.

К тому времени Альфред уже стал квалифицирован-

ным химиком и инженером, имеющим несколько патентов. В Петербурге, работая у профессора Н. Н. Зинина, он познакомился с новым веществом — нитроглицерином, синтезированным в 1846 г. итальянским химиком Асканио Собrero. Это относительно дешевое и эффективное взрывчатое вещество считали весьма перспективным для использования в горнодобывающей промышленности и других областях. Начинаются эксперименты, и даже создается предприятие по производству нитроглицерина. Но 3 октября 1864 г. на заводе происходит взрыв, при котором погибают несколько человек, в том числе молодой Эмиль Нобель.

Это было страшным ударом для старика Нобеля, после которого он долго не мог оправиться. Руководство деятельностью предприятия переходит в руки Альфреда. Несчастные случаи при работе с нитроглицерином, однако, происходят все чаще, и в ряде стран его применение запрещают. Альфред ищет способы сделать более безопасным это столь нужное для промышленности взрывчатое вещество. Как и его отец, он пытается комбинировать порох и нитроглицерин и постепенно приходит к мысли использовать пористый материал, который пропитывается маслянистым взрывчатым веществом.

В 1866 г. он смешивает нитроглицерин с кизельгуром, получая таким образом динамит. Кизельгур — это немецкое название инфузорной земли, или диатомита — тонкопористой осадочной породы, состоящей из кремневых скелетов одноклеточных морских организмов, водорослей-диатомей. В 1867 г. Альфред Нобель получает патент на свое открытие и начинает производство динамита.

Новое взрывчатое вещество оказалось очень удобным и безопасным при употреблении и хранении. Некоторые специалисты даже считают, что получение его — это крупнейшее открытие в пиротехнике после создания пороха. Интерес к динамиту был исключительно велик, и в ряде стран начинается строительство заводов для его производства. Некоторые из них строит сам Нобель; другие приобретают лицензию на использование его патентов.

В этот период шведский инженер и изобретатель проявляет себя как выдающийся предприниматель и хороший финансист. Его состояние быстро растет. Вместе с тем Альфред Нобель продолжает свои исследования в

области химии и создает новые, еще более эффективные взрывчатые вещества.

В 1887 г. после многочисленных экспериментов он получает бездымный нитроглицериновый порох — баллистит. Это было время, когда крупные армии Западной Европы испытывали потребность во взрывчатых веществах для огнестрельного оружия. Бездымный порох шведского изобретателя принимается в качестве такого взрывчатого вещества во многих странах. Сам Нобель вояжирует по европейским странам, демонстрируя свое открытие. В Англии, выступая перед специальной комиссией, он дает подробные объяснения относительно химического состава и свойств баллистита. Двое английских ученых, внимательно слушавших его объяснения, затем тайно проводят собственные опыты. Немного изменив состав смеси, они получают новый бездымный порох — кордит, который оказывается более эффективным; его принимают на вооружение в английской армии.

Жестоко уязвленный такой несправедливостью, Альфред Нобель начинает судебное дело, которое длится годы и заканчивается не в его пользу.

В то же самое время во Франции, где тогда жил Нобель, один из химиков при финансовой поддержке военного министерства, в полной секретности также работает над созданием бездымного пороха. Известия об успехе шведского химика вызывают сильное раздражение в некоторых кругах, и в прессе начинается кампания против Нобеля. Именно в тот период, в 1890 г., один из сотрудников Нобеля оказывается замешанным в какой-то афере, угрожающей изобретателю банкротством. Был момент, когда он намеревался даже устроиться простым химиком в одну из немецких фирм.

К счастью, угроза разорения миновала; но, чтобы сохранить свой капитал, Нобель отказывается от дальнейшей промышленной и финансовой деятельности. Проигрыш судебного дела в Лондоне сильно подрывает его здоровье, а обвинение французского правительства в шпионаже принуждает его покинуть Францию и переехать на жительство в Италию. Нобель уезжает в Сан-Ремо, небольшой городок на берегу Средиземного моря, где покупает виллу «Мно нидо» («Мое гнездо»).

После напряженной жизни в Париже наступают более спокойные дни, что, впрочем, и рекомендовали врачи. Они установили, что Альфред Нобель страдает серьез-

ным заболеванием сердца. Несмотря на это, он продолжает свои эксперименты, планируя, в частности, разработку аппаратуры для физиологических исследований. В 1895 г., прикованный на несколько месяцев к постели, Нобель, пытаясь как-то скрасить свою жизнь, возвращается к одному из увлечений молодости — начинает писать драму. В юности он действительно серьезно колебался, решая, стать ему изобретателем или поэтом. В совершенстве владея пятью языками, Нобель всегда внимательно следил за развитием европейской литературы, поражая своих знакомых завидной эрудицией.

Богатство и авторитет Альфреда Нобеля обеспечивают ему доступ в высшие политические круги. Может показаться странным, но этот создатель пороха по своим убеждениям был ярким пацифистом и поддерживал связи с некоторыми общественными деятелями конца XIX в., которые занимались подготовкой конгресса в защиту мира. Нобель, однако, имел весьма своеобразную точку зрения по этому вопросу. В письме Б. фон Зутнер, которая некоторое время была его секретарем (в 1905 г. она получила Нобелевскую премию Мира), шведский исследователь писал: «Мои открытия скорее прекратят все войны, чем ваши конгрессы. Когда враждующие стороны обнаружат, что они в один миг могут уничтожить друг друга, люди откажутся от этих ужасов и от ведения войны».

В кругу знакомых Альфред Нобель был известен как молчаливый и замкнутый человек, порой язвительный и саркастичный. Но за этой внешностью скрывалась совсем иная личность. Проживая в Париже, Нобель не раз помогал своим соотечественникам, попавшим в затруднительное положение. Когда в 1889 г. умерла его мать, Нобель отдал все свое состояние Каролинскому медико-хирургическому институту, оставив себе только медаль Летерстеда Шведской академии наук, присужденную в 1868 г. его отцу и ему за использование нитроглицерина и открытие динамита.

Чуткость и отзывчивость Альфреда Нобеля становятся широкоизвестными, и его буквально засыпают письмами и просьбами о финансовой помощи. В письме друзьям он пишет, что разные люди просят у него ежегодно около 7 млн. крон — сумму, которая испугала бы даже Ротшильдов. Тем не менее иногда он действительно помогает своим просителям, особенно талантливой и пер-

спективной молодежи, которая, как и он сам в свое время, пытается пробить себе дорогу. В другом письме Нобель говорит, что небольшая помощь — это, значит, никакая и если человек решает оказать помощь, то она должна быть щедрой.

Вероятно, подобные мысли нередко возникали у него в последние годы жизни, когда он составлял свои завещания, в которых постепенно выкристаллизовывалась главная идея: оставить свое состояние на образование фонда, доходы от которого должны использоваться для вознаграждения перспективных ученых и других деятелей интеллектуальной сферы, внесших большой вклад в прогресс человечества. В 1895 г. в последнем своем завещании Нобель наконец оформляет эту идею, подробно описывая пять будущих Нобелевских премий. Это оказалось его последним и самым крупным изобретением.

Нобелевский фонд

В архивах Альфреда Нобеля сохранились два завещания, из которых видно, как развивался его замысел об учреждении фонда для присуждения премий за достижения в области науки и литературы. Первое завещание составлено в 1893 г. В соответствии с ним 20% состояния оставалось его друзьям и родственникам, 17% выделялось Стокгольмскому университету, Австрийскому обществу друзей мира и Каролинскому медико-хирургическому институту, которому вменялось в обязанность присуждать премии за наиболее крупные успехи в медицине и физиологии. Остальные 63% состояния были предназначены Королевской академии наук в Стокгольме для присуждения наград за выдающиеся достижения в широкой области знаний, включая и искусство.

Очевидно, Нобель решил, что в таком виде его завещание является недостаточно ясным и точным, чтобы служить наставлением для конкретной деятельности. И 27 ноября 1895 г. он пишет второе завещание, отменяющее первое. В новом тексте завещания говорится, что все его состояние следует превратить в деньги, которые должны быть вложены в надежные акции и другие ценные бумаги, — они и образуют фонд. Ежегодные доходы от этого фонда должны быть разделены на пять частей и распределены следующим образом: одна часть дается за крупнейшее открытие в области физики, вторая — за

крупнейшее открытие или изобретение в области химии, третья — за открытия в области физиологии и медицины, остальные две части предназначаются для награждения лиц, достигших успехов в области литературы или движения за мир.

Это завещание Альфред Нобель пишет собственноручно в конце 1895 г., будучи уже серьезно больным, и его обнаруживают в архивах Нобеля после его смерти, последовавшей 10 декабря 1896 г. Завещание было вскрыто в январе 1897 г. В нем говорилось, что исполнителями последнего желания Альфреда Нобеля должны быть его секретарь Рагнар Сульман и адвокат из Стокгольма Рудольф Лилеквист.

После того как содержание завещания Альфреда Нобеля было обнародовано, оно вызвало самые противоречивые толки и суждения. В шведской прессе высказывалось мнение, что присуждение этих премий может привести к коррупции. Шведские националисты обвинили Нобеля в космополитизме, ибо по его завещанию премии должны присуждаться невзирая на национальность, вероисповедание и т. д. Предпринимались попытки даже уничтожить завещание. Инициатива исходила от ближайших родственников Нобеля — племянников, сыновей его братьев. Оба исполнителя завещания вынуждены были иметь дело с наследниками. Изобретатель не имел семьи, и его наследники, конечно, были неприятно удивлены решением богатого дяди распорядиться своим состоянием таким образом.

Первым вопросом, который следовало решить, было определение местожительства Альфреда Нобеля, чтобы передать дело на рассмотрение в соответствующие судебные органы. Альфред Нобель покинул Швецию в девятилетнем возрасте. Возвратился он туда тридцатилетним мужчиной и вскоре уехал в Гамбург, где находились его крупнейшие заводы по производству динамита. В 1873 г. он переселился в Париж, считавшийся в то время центром культурной и деловой жизни Европы. Там Нобель прожил 17 лет, после чего переселился в Сан-Ремо (Италия). В 1894 г. он купил завод в Бофорсе (центральная Швеция) и имение недалеко от него, намереваясь, очевидно, на старости лет вернуться на родину.

После рассмотрения этого вопроса различными судебными инстанциями в Стокгольме и Париже в конце концов было решено, что местожительством Альфреда Нобе-

ля следует считать Бофорс, и дело по его завещанию передали в суд областного центра Карлскуга. Это была первая победа исполнителей завещания Рагнара Сульмана и Рудольфа Лилеквиста. В отличие от парижских юристов, которые выражали готовность защищать интересы родственников Нобеля, их коллеги из Карлскуги были более благосклонно настроены к признанию завещания.

Судебное дело очень затянулось. Одновременно Рагнар Сульман вел переговоры с каждым из наследников в отдельности, и в конце концов ему удалось склонить Эммануэля Нобеля — сына Людвига, единственного из семейства Нобелей, который остался в России, где управлял предприятием в Баку, — отказаться от своей доли. Согласившись на это, Эммануэль стал убеждать своих двоюродных братьев, и в конце концов все племянники согласились отказаться от претензий на наследство дяди на условиях минимальной компенсации.

После того как таким образом была подтверждена сила завещания, Лилеквист и Сульман приступают к разработке устава будущего Нобелевского фонда. Вместе с тем они после смерти Альфреда Нобеля — выполняя волю покойного — без особого шума ликвидировали его предприятия, вкладывая полученные средства в ценные бумаги и акции. Проект устава Нобелевского фонда после завершения его разработки вносится на рассмотрение в шведский риксдаг (парламент). Голосование в парламенте проходит успешно — устав принимается и дается королю для окончательного утверждения. 29 июня 1900 г. идея Альфреда Нобеля становится наконец реальностью.

Устав регламентирует деятельность четырех учреждений, присуждающих премии: Королевской шведской академии наук, которая должна определять лауреатов премии в области физики и химии, Королевского Каролинского медико-хирургического института, решающего вопрос о премиях по физиологии или медицине, Шведской академии литературы, присуждающей премии в области литературы, и Нобелевского комитета из пяти человек при Норвежском стортинге (парламенте), награждающего за деятельность по укреплению мира. Эти четыре учреждения избирают 15 попечителей (по три для каждой секции), которые в свою очередь избирают членов Совета директоров Нобелевского фонда, за исключением председателя и заместителя, назначаемых королем. Опе-

куны ежегодно проверяют отчеты Совета и при необходимости решают вопрос о его роспуске.

Совет Нобелевского фонда состоит из пяти членов и трех заместителей. Один из них избирается директором-исполнителем, который по существу является административным руководителем фонда и занимается его повседневной деятельностью. До 1948 г. этот пост непрерывно занимал Рангар Сульман, бывший сотрудник Альфреда Нобеля, который более полувека посвятил практической реализации завещания своего патрона.

В 1897 г. после продажи имущества Нобеля сумма составила более 33 млн. шведских крон, или 9 млн. долл. Сейчас, спустя более восьми десятилетий, с учетом нынешней покупательной способности денег, это эквивалентно примерно 100 млн. долл. Сумма довольно-таки впечатляющая.

После выплаты компенсации наследникам в Нобелевский фонд перешло 31 млн. крон. Из этого основного фонда было выделено 28 млн. крон, проценты от которых должны идти на выплату премий. Одна десятая часть из доходов ежегодно отчисляется на увеличение основного фонда. Остаток делится на 5 частей и предоставляется в распоряжение учреждений, присуждающих премии. От каждой из этих частей удерживается сумма на покрытие расходов, связанных с деятельностью Нобелевского фонда и Нобелевских комитетов по присуждению премий, а также на финансирование Нобелевских учреждений.

Размер каждой премии в 1901 г. составлял 150 тыс. крон, или 42 тыс. долл. Эта сумма в 70 раз превышала денежную премию, выдаваемую при награждении медалью Румфорда, присуждаемой Лондонским королевским обществом, — в свое время это было одно из крупнейших вознаграждений в области науки. Нобелевская премия в начале века в 5 раз превосходила бюджет такого известного научного учреждения, как Кавендишская лаборатория в Кембридже.

В соответствии с уставом Нобелевского фонда при каждом из четырех учреждений, занимающихся присуждением премий, должен быть создан Нобелевский институт. При Шведской академии наук такой институт был организован в 1905 г., и его первым директором стал Сванте Аррениус. Институт оказывает содействие соответствующим Нобелевским комитетам в выборе кандидатов и ведет самостоятельные научные исследования. В

1937 г. в институте было создано отделение, занимающееся вопросами присуждения премий по физике, а в 1944 г. — по химии.

Лишь в 1937 г. при Каролинском медико-хирургическом институте был организован самостоятельный Нобелевский институт, который первоначально имел отделение биохимии, а с 1945 г. — отделение, занимающееся исследованиями в области нейрофизиологии, генетики и структуры клетки.

С 1901 г. при Шведской академии существует Нобелевский институт с Нобелевской библиотекой современной литературы. В 1902 г. организован норвежский Нобелевский институт, занимающийся проблемами мира и международных отношений. Руководство и сотрудники (в их число входят представители различных стран и национальностей) Нобелевских институтов избираются учреждениями, отвечающими за присуждение премий.

С 1926 г. Нобелевский фонд имеет собственное здание в Стокгольме — Нобельхаус. В 1946 г. фонд был освобожден от налогов на собственность.

В 1968 г. Шведский национальный банк в связи с трехсотлетием своего существования принял решение об учреждении памятной премии Альфреда Нобеля в области экономических наук. Присуждение этой премии было возложено на Шведскую академию наук на условиях, предусмотренных в уставе Нобелевского фонда. Некоторые известные специалисты уже стали лауреатами Нобелевской премии в области экономических наук. Среди них — советский ученый Леонид Канторович, известный своими трудами по методам линейного программирования.

Нобелевские комитеты

Согласно уставу Нобелевского фонда, при четырех учреждениях, отвечающих за присуждение премий, созданы Нобелевские комитеты, которые осуществляют руководство и деятельность, связанные с отбором кандидатов и подготовкой предложений по их работам. Нобелевские комитеты по физике и химии состоят каждый из пяти ученых, выбираемых Шведской академией наук. Комитет при Каролинском институте также включает пять человек, избираемых из числа членов института.

Мандаты членам Нобелевских комитетов выдаются

на срок от 3 до 5 лет. Комитеты могут привлекать экспертов по различным отраслям знаний для оказания помощи при отборе кандидатов на премию. В Нобелевские комитеты по физике и химии входят руководители соответствующих секций Нобелевского института при Шведской академии наук, а в комитет по физиологии и медицине — ректор Каролинского института.

Каждый год Нобелевские комитеты высылают тысячи извещений известным ученым с просьбой дать предложения о своих коллегах, заслуживающих Нобелевской премии. Членам Шведской академии наук в Стокгольме постоянно предоставлено право предлагать ежегодно новых кандидатов. Этим же правом пользуются и профессора восьми университетов Скандинавских стран, а также все лауреаты Нобелевской премии. Предложения от лиц и организаций, которым не посылались приглашения принять участие в отборе кандидатов, не рассматриваются. В процессе отбора кандидатов Нобелевские комитеты стремятся включить наряду со старыми известными научными центрами и менее значительные университеты и институты, что позволяет учитывать мнение возможно большей части научной общественности.

Предложения о кандидатах должны поступать в Стокгольм не позднее 1 февраля каждого года. После этого Нобелевские комитеты начинают предварительный отбор, в результате которого из огромного количества кандидатов остаются максимум 30—40. Столь строгий отбор предъявляет очень высокие требования к квалификации экспертов Нобелевских комитетов и методам оценки вклада отобранных кандидатов. Эта работа, продолжаясь непрерывно в течение нескольких месяцев, обычно завершается в сентябре. В октябре имена избранных представляются членам Шведской академии наук и Каролинского института для официального утверждения. Иногда на заседаниях этих учреждений возникают неожиданности. Так было в 1979 г., когда вместо трех иммунологов, предложенных Нобелевским комитетом по физиологии и медицине, профессора Каролинского института остановились на физике и инженере, создавших компьютерный томограф — исключительно ценный аппарат для медицинской клинической диагностики.

В целом эти внутренние дискуссии сохраняются в тайне, несмотря на попытки журналистов узнать что-либо о процессе работы Нобелевских комитетов. Заседания не

стенографируются и имена кандидатов, оставшихся без премии, не сообщаются. Все это делается с той целью, чтобы не оказывалось давления на работу Нобелевских комитетов, а также чтобы избавить от излишних огорчений тех, кто, будучи «в одном шаге» от премии, не получает ее.

Сообщение о новых лауреатах публикуется обычно 21 октября — в день рождения Альфреда Нобеля. Официальная церемония вручения премии происходит 10 декабря, в день, когда умер шведский исследователь.

События, связанные с вручением премий, длятся более недели. Для Швеции это большой праздник. 10 декабря отмечается День Нобеля и поднимается национальный флаг. Сразу после прибытия в Стокгольм новые лауреаты дают интервью журналистам. Они встречаются с руководителями страны и дипломатическими представителями. Рано утром 10 декабря все лауреаты собираются в концертном зале Стокгольмской филармонии. Проводится репетиция церемонии вручения премий, которая довольно торжественна и выдержана в стиле старых времен. Лауреаты одеты строго официально, как это предписано протоколом. Большинство из них арендуют фраки в Стокгольме, однако некоторые научные центры, откуда уже вышло немало нобелевских лауреатов, имеют «на всякий случай» собственную экипировку. Так, например, Э. Макмиллан, Э. Сегре и Д. Глазер из Радиационной лаборатории им. Лоуренса в Беркли появлялись в Стокгольме в одном и том же фраке.

Вечером 10 декабря в огромном зале, вмещающем 1700 человек, происходит церемония награждения. В самом начале видный ученый от имени Нобелевского фонда, Шведской академии наук или Каролинского института в краткой речи на шведском языке представляет соответствующего лауреата. В конце выступления он переходит на английский язык, приглашая лауреата получить премию из рук его Королевского Величества. Это служит сигналом лауреату встать со своего кресла и идти в центр, где на подмостках сцены написана большая буква N. Король, сидящий в правой части сцены, поднимается с кресла, берет у церемониймейстера почетную грамоту и золотую медаль и направляется к лауреату. Следует вручение отличий, рукопожатия, пожелания благополучия, звучат фанфары. Это повторяется с каждым из награжденных. Затем все покидают зал и направляются в городскую ратушу Стокгольма. В ее залах дается

торжественный банкет по случаю вручения премий. Лауреаты произносят короткие речи; поднимаются многочисленные тосты за их будущие успехи. Есть также и один, сопровождаемый молчанием тост в память о человеке, учредившем премии.

На другой день лауреаты получают премию в Нобелевском фонде. Сумма премии, предусмотренная завещанием, может быть разделена пополам между двумя лауреатами. Одна из половин может быть разделена еще на две части. Таким образом, в определенной области могут быть награждены максимум три человека. По этой причине в разные годы суммы премии бывают различными, но вообще они составляют порядка 100 тыс. долларов. По нынешним временам это весьма незначительная сумма, чтобы на нее можно было осуществить исследование того масштаба, за какие выдается премия. Правда, 100 тыс. долл., казалось бы, выглядят солиднее, чем 42 тыс. долл., присуждаемых в начале века. Администрация Нобелевского фонда хорошо поработала, чтобы увеличить основной капитал, на который начисляются проценты. Но инфляция поработала еще лучше. И сегодня эта вроде бы внушительная сумма по покупательной способности соответствует лишь небольшой части денежной премии 1901 г.

После вручения премии лауреаты вновь дают интервью прессе, радио и телевидению. По уставу Нобелевского фонда они должны в течение полугода выступить в Стокгольме с так называемой Нобелевской лекцией, которая в основном представляет собой популярное изложение работы, за которую они были награждены. Все материалы, касающиеся лауреатов Нобелевской премии (их биографии, фотографии, тексты Нобелевских лекций), поступают в архивы Нобелевского фонда и издаются в его ежегодниках. Эти документы являются ценным источником при изучении истории науки.

Лауреаты Нобелевской премии

По условиям завещания Альфреда Нобеля премии должны присуждаться минимум раз в пять лет лицам, которые сделали в предшествующем году открытия, внесшие принципиальный вклад в прогресс человечества.

Высказывались опасения, можно ли при таких условиях присуждать премию даже один раз в пять лет.

К счастью, при уточнении устава Нобелевского фонда было принято несколько более свободное толкование завещания. Вместо открытий в предыдущем году решили награждать за работы последних лет или за открытия, важность которых оценена сравнительно недавно. Это сразу же дало возможность Нобелевским комитетам выбирать лауреатов из большого числа известных ученых конца XIX в. Первая премия по физике была присуждена в 1901 г. Вильгельму Рентгену за открытие, сделанное им пять лет назад. Премию по химии получил Якоб Хендрик Вант-Гофф за исследования в области химической кинетики, проведенные им в середине 80-х годов XIX в. Лауреат премии по физиологии и медицине — Эмиль Адольф Беринг — приобрел известность задолго до этого как создатель противодифтерийной антитоксичной сыворотки.

В первое десятилетие нынешнего века были еще живы многие ученые, прославившиеся в прошедшем столетии. Большинство из них, однако, совершили свои исследования очень давно, и, согласно уставу Нобелевского фонда, они не могли быть награждены. По замыслу Альфреда Нобеля его премии должны служить денежной помощью перспективным ученым, продолжающим работать, а не своего рода пенсией для заслуженных ученых, уже отошедших от активной деятельности. По этим соображениям в 1906 г. премия по химии была присуждена Анри Муассану за успехи в области химического анализа, а не Д. И. Менделееву, периодическую таблицу элементов которого сегодня знает любой школьник. Джозайя Уиллард Гиббс умер в 1903 году, не получив премии, хотя является одним из создателей термодинамики и статистической механики.

После того как был исчерпан список ученых XIX в., Нобелевские комитеты должны были внимательно следить за развитием современной науки, давая правильную оценку научным достижениям. Беглый обзор Нобелевских премий и их мотиваций за прошедшие десятилетия позволяют в общих чертах судить о том, какие из областей науки были наиболее перспективными в этот период.

Такое соответствие между работой Нобелевских комитетов и развитием науки определяется в общем систе-

мой отбора кандидатов на основе предложений научной общественности. Крупные специалисты в каждой области знаний хорошо осведомлены о своих коллегах, которых, вообще говоря, не так уж много, и в состоянии оценить сделанное ими. Случалось, однако, что Нобелевские комитеты на последнем этапе обсуждений навязывали свое понимание вопроса,— и это привело к нескольким досадным ошибкам в присуждении премий. Но подобные случаи сравнительно редки, и в основном Нобелевские премии присуждались лицам, по праву заслуживающим их. Иначе эти премии не были бы столь авторитетными.

Большая проблема при отборе кандидатов связана с тем обстоятельством, что Нобелевские премии присуждаются лишь отдельным лицам, а научные исследования в наше время в большинстве случаев ведутся коллективно. Другие учреждения, которые также присуждают премии в области науки, уже практикуют награждение не отдельных ученых, а целых научных коллективов. Нобелевской премией, однако, могут быть награждены только два или три человека. Это порождает порой конфликтные ситуации. В этом случае уместно задать вопросы: насколько один какой-то человек незаменим в данном исследовании и кто сделал решающий шаг к открытию? И самым трудным в работе Нобелевских комитетов является именно вопрос выбора: среди больших научных коллективов найти тех, кто внес основной вклад.

Одним из важных источников информации Нобелевских комитетов при определении лауреатов служит исследование публикаций. Во многих странах принято вычислять так называемый «индекс цитирования». Этот индекс показывает, сколько раз за истекший год цитировалась та или иная работа. Статистика свидетельствует, что крупные ученые, будущие лауреаты Нобелевской премии, в годы, предшествующие награждению, цитировались в 40 раз чаще, чем средний исследователь. Потенциальные кандидаты на премию отличаются также и большой продуктивностью. Так, например, Хар Гобинд Корана, генетик, удостоенный Нобелевской премии в 1968 г., за предшествующие три года опубликовал свыше 50 работ. Однако лишь в пяти из них его имя стояло на первом месте, а вклад его в остальные публикации необходимо было специально исследовать.

Подобный альтруизм в отношении к более молодым сотрудникам, выражающийся в последовательности указания фамилий, присущ обычно только действительно крупным ученым. Очень выразителен в этом отношении пример Ивана Петровича Павлова. В начале века, заинтересовавшись работами его лаборатории, ученые из Каролинского института направляют одного из своих коллег в Петербург. Шведский профессор убеждается там, что работы сотрудников базируются на общих идеях, высказываемых руководителем лаборатории Иваном Павловым, имя которого вообще не фигурирует в публикациях. Это специальное исследование вклада русского ученого дало основание Нобелевскому комитету по медицине и физиологии наградить И. П. Павлова премией в 1904 г.

Будущих лауреатов Нобелевской премии можно распознать не только по большой научной продуктивности и высокой степени цитирования, но и по некоторым деталям их биографий. Обычно это люди, талант которых проявляется очень рано. Они не только наделены выдающимися способностями, но и отличаются большой целеустремленностью. Они заканчивают высшие учебные заведения в 19—20 лет и лет в 25 становятся докторами наук. Они обычно учатся в крупных научных центрах и выбирают себе в руководители известного ученого.

В свою очередь известные ученые также выбирают себе в ученики талантливых студентов. Этот двусторонний выбор ведет к созданию своеобразных династий в науке, в которых знания, традиции и опыт передаются из поколения в поколение. Известный английский биохимик Ханс Кребс, рассказывая о себе, писал, что он был учеником крупного биохимика Отто Варбурга, лауреата Нобелевской премии за 1931 год; Варбург в свою очередь был учеником Адольфа Байера, известного своими успехами в химическом синтезе и удостоенного Нобелевской премии в 1905 г. Байер был учеником крупного химика середины прошлого века А. Кекуле, который учился у Ю. Либиха; Либих в свою очередь был студентом Ж. Л. Гей-Люссака, ученика К. Л. Бертолле. Такая интересная генеалогия дает возможность проследить переход от учителя к ученику в течение почти двух веков. Сам Ханс Кребс стал лауреатом Нобелевской премии по физиологии и медицине в 1953 г. Этот процесс лучше всего иллюстрируется словами Пола Самуэльсо-

на, лауреата Нобелевской премии по экономике: «Первое условие для получения Нобелевской премии — наличие хорошего учителя».

Некоторые научные центры послужили колыбелью целой плеяды нобелевских лауреатов. Так, из Кавендишской лаборатории, руководство которой один за другим осуществляли Джозеф Джон Томсон (с 1884 по 1919 г.), Эрнест Резерфорд (с 1919 по 1937 г.) и Уильям Лоуренс Брэгг (с 1938 по 1953 г.), 17 человек получили Нобелевскую премию. Лауреатами этой премии стали шесть сотрудников Энрико Ферми. Эрнест Лоуренс и Нильс Бор имеют в списке своих учеников по четыре лауреата и т. д.

Вместе с тем есть нобелевские лауреаты, которые, очевидно, в силу особенностей своего характера не воспитали известных ученых. Например, Перси Бриджмен, известный своими исследованиями по физике сверхвысоких давлений, избегал заниматься со студентами и давал консультации только в крайнем случае. В своей лаборатории в Гарвардском университете он почти всегда работал один. Рекорд в этом отношении принадлежит Полю Дираку, который не имел ни одного аспиранта.

Попадая в благоприятные условия, некоторые талантливые молодые люди рано проявляют себя и быстро получают признание. Джеймс Уотсон, один из создателей модели структуры ДНК, отвергнутый Гарвардским университетом и Калифорнийским технологическим институтом, отправился в 1947 г. в малоизвестный университет штата Индиана, где, однако, работал Герман Мёллер. Там был и Сальвадор Лурия, который направил молодого Уотсона к Максудельбрюку на специализацию. Так, по счастливому стечению обстоятельств Джеймс Уотсон получил отличную квалификацию и, попав в конечном счете в Кавендишскую лабораторию, смог вместе с Фрэнсисом Криком сделать решающий шаг к одному из крупнейших научных открытий.

Можно назвать и других исследователей, которые столь рано проявили себя и были удостоены Нобелевской премии еще в молодом возрасте. Так, почти все создатели современной квантовой теории в 20-е годы были молодыми людьми. Луи де Бройлю, Вернеру Гейзенбергу, Полю Дираку не было и 30 лет, когда они сделали свои открытия и вскоре после этого стали лауреатами Нобелевской премии. Максудельбрюку, однако, пришлось ждать

Нобелевской премии 22 года. Он объясняет это весьма сдержанным отношением к его открытиям в области квантовой механики М. Планка, А. Эйнштейна и других известных ученых.

Вместе с тем известны ученые, которые до старости сохранили творческую активность и получили Нобелевскую премию за открытия, сделанные в преклонном возрасте. Так, Отто Хан открыл явление деления ядер урана нейтронами, когда ему было почти 60 лет. Невил Мотт получил премию за работы, проведенные в таком же возрасте.

В среднем же возраст нобелевских лауреатов составляет примерно 39 лет: у физиков — 36 лет, у химиков — 39, а у медиков — 41 год. Рекорд молодости принадлежит Уильяму Лоуренсу Брэггу — сыну Уильяма Генри Брэгга, ставшему лауреатом Нобелевской премии в 25-летнем возрасте за открытия, сделанные совместно с отцом. Они вдвоем получили Нобелевскую премию по физике в 1915 г. Старейшим лауреатом до сих пор остается Джон Хасбрук Ван Флек. В 1977 г. в почтенном возрасте (88 лет) он стал одним из лауреатов Нобелевской премии по физике*.

«Рекорд» по ожиданию Нобелевской премии принадлежит Фрэнсису Роусу. В 1966 г. он был удостоен премии по медицине за открытие, сделанное им 55 лет назад. В список ученых, получивших Нобелевские премии длительное время спустя после сделанных ими открытий, можно добавить Ханса Бете (28 лет), Петра Капицу (почти полвека) и других. Все они, к счастью, жили довольно долго. Освальд Теодор Эйвери, создатель современной молекулярной генетики, не имел такого счастья. В возрасте 67 лет он доказал, что ДНК — вещество наследственности. Это — одно из крупнейших открытий за всю историю биологии. Пока Нобелевский комитет собирался отметить это открытие, Эйвери умер — и его имя так и не попало в список лауреатов Нобелевской премии. Этот факт есть одно из свидетельств того, что многие талантливые ученые, сделавшие важные открытия, так и не оказались лауреатами Нобелевской премии.

* В 1983 г. Нобелевская премия по физиологии и медицине была присуждена Барбаре Макклиток за открытие подвижных элементов генома. Она родилась в 1902 г. и, таким образом, стала старейшей женщиной — лауреатом Нобелевской премии.—Прим. ред.

С 1901 г. по 1984 г. Нобелевскую премию получили 366 ученых, в том числе 125 — по физике, 101 — по химии, 139 — по медицине и физиологии, а в 1970 г. генетик Норман Борлоуг был удостоен Нобелевской премии Мира за выведение высокоурожайных сортов пшеницы.

За этот период в мире работал почти миллион ученых. Как видим, нобелевских лауреатов ничтожно мало. И поскольку число ученых растет, а количество присуждаемых премий остается неизменным, растет и число тех, кто не получил и не получит этого высокого отличия, хотя, возможно, и заслуживает его. Такое положение дел напоминает ситуацию, сложившуюся во Французской академии и описанную французским ученым Альбером Усеем в его книге «История 41-го кресла во Французской академии», изданной в 1886 г. в Париже. Французская академия с момента основания имеет только 40 мест, и это количество не изменилось и поныне, хотя число ученых прогрессивно возрастало. С увеличением общего количества ученых растет и число талантливых исследователей. Академиков, однако, остается 40, а это значит, что все труднее тому или иному известному ученому стать академиком, т. е. неуклонно возрастает число тех, кто занимает «41-е кресло».

Аналогично обстоит дело и с присуждением Нобелевских премий. Нобелевские комитеты обычно держат в секрете имена кандидатов, проигравших соревнование, но в 1962 г. Йоран Лилестранд, официальный историк Каролинского института, назвал имена 69 ученых, которых считают достойными Нобелевской премии. Кроме Эйвери в этот список включены также канадский патологоанатом Ганс Селье, сформулировавший так называемую концепцию стресса, венгерский терапевт Шандор Кораньи, внесший большой вклад в исследование функций почек, и другие. В области физики в этой связи можно упомянуть Арнольда Зоммерфельда, в химии — Гильберта Льюнса и т. д.

Из-за ограниченного количества премий Нобелевские комитеты обычно сосредоточивают свое внимание на какой-либо области исследований. Отобрав несколько лауреатов в этой области, переходят к другой области знаний, хотя в первой, возможно, и остаются работы, заслуживающие премии. Это одна из причин пополнения «41-го кресла» учеными, которые имеют выдающиеся достижения, но не сделали их в «подходящий» момент.

Другая причина неуклонного роста группы «не признанных» Нобелевскими комитетами крупных ученых значительно более серьезна. Ее истоки кроются в самом завещании Альфреда Нобеля. В конце XIX в. физика и химия наряду с медициной и физиологией, быть может, действительно были важнейшими областями науки; однако с тех пор получили развитие и такие научные отрасли, о которых Нобель и его современники не имели даже представления. Пренебрежение такими сферами науки, как астрофизика, комплекс наук о Земле, и другими областями знания в настоящее время послужило весьма серьезным основанием для критики Нобелевской премии как таковой, ибо тем самым ставится под сомнение ее универсальность как критерия научных достижений и показателя уровня развития науки в целом.

Эта критика заставила Нобелевские комитеты в последние годы изменить свою тактику. Уже в 1967 г. Ханс Бете получил премию по физике за открытие цикла термоядерных реакций, являющихся источником энергии звезд.

В 1969 г. Ханнес Альфвен стал лауреатом Нобелевской премии за исследования в области магнитной гидродинамики и ее приложений в астрофизике. Окончательное «признание» астрофизики Нобелевским фондом произошло в 1974 г., когда два радиоастронома, Мартин Райл и Энтони Хьюиш, получили премию по физике. В 1978 г. наряду с Петром Капицей лауреатами стали Арно Пензиас и Роберт Вильсон, также радиоастрономы, открывшие микроволновое фоновое излучение.

Еще при создании Нобелевского комитета по физиологии и медицине велась дискуссия о том, что понимать под словом «физиология». Один из ботаников Шведской академии наук в Стокгольме предложил, чтобы оно понималось в самом широком смысле и включало физиологию растений, животных и всех других организмов, т. е. почти всю биологию. Он, однако, оказался в одиночестве; большинством голосов медики Каролинского института приняли решение о толковании понятия «физиология» в его узком смысле, связанном преимущественно только с медициной.

Все же эта формулировка позволяет включить большую часть биохимии и молекулярной биологии. В 1973 г. произошел «прорыв» с другого направления — премия по физиологии была дана зоологам Карлу фон Фришу,

Конраду Лоренцу и Николасу Тинбергену. В 30-е годы эти ученые создали этологию — науку о поведении животных в естественных условиях. Исследования такого рода в значительной степени можно связывать с психологией, ибо они вносят в нее свежие идеи.

Есть еще много областей знания, оставшихся за пределами сферы охвата Нобелевской премией. Одним из примеров могут служить науки о Земле: геология, геофизика, океанология, метеорология пока еще не вмещаются в формулировки Нобелевских комитетов. Может быть, эксперты из Стокгольма ждут, пока геологи начнут предотвращать землетрясения, а метеорологи — управлять климатом: тогда-то они и признают, что эти открытия приносят пользу человечеству. Тем временем американские океанологи учредили премию Альбатроса, которая присуждается ежегодно; при этом весьма удачно пародируется церемония в Стокгольме.

Но, несмотря на все свои недостатки и ограничения, Нобелевские премии позволяют в общих чертах глубоко проследить развитие науки XX в. Залогом тому являются добросовестность Нобелевских комитетов, удачные методы выбора кандидатов и высокая квалификация шведских ученых. Это сделало Нобелевскую премию самой почетной в мире. Прочитируем вновь Петра Капицу: «Значение Нобелевской премии как самой большой научной награды в международном масштабе общепризнано. Это следует рассматривать как замечательное достижение шведских ученых, ибо присуждение такой премии требует большой мудрости».

II ЗАГАДОЧНЫЕ ЛУЧИ

В конце XVIII в. некоторые физики стали заниматься изучением электричества. Исследование этого нового явления во всех его аспектах было одним из главных направлений развития физической науки в XIX в.

Прежде всего были изучены закономерности прохождения электрического тока через твердые тела, что привело к развитию электротехники. Затем были исследованы особенности прохождения электричества через жидкости. К концу века была создана теория электролитической диссоциации, имеющая большое значение для объяснения химических реакций. Гораздо труднее оказались эксперименты, связанные с прохождением электричества через газы. Ученые наблюдали самые разнообразные эффекты, но не могли объяснить их.

В 1855 г. немецкий физик Юлиус Плюккер сконструировал специальную трубку, которую заполнял различными газами, исследуя их спектры. Необходимо было найти такой способ нагревания газа, чтобы он начал светиться. Плюккер решил использовать для этого электрический разряд. Наблюдая спектры, он заметил, что во время электрического разряда стекло трубки начинает флуоресцировать. Так были открыты (1859) и впервые описаны катодные лучи.

Подобными исследованиями в 60-е годы прошлого века занялся и немецкий ученый Иоганн Гитторф. Он сконструировал специальные трубки (трубки Гитторфа) для исследования электрических разрядов в разреженных газах. Гитторф также наблюдал флуоресценцию, открытую Плюккером, и в 1869 г. описал свойства нового вида лучей. Только два года спустя английский физик Кромвелл Флитвуд Варли высказал предположение, что эти лучи состоят из небольших электрически заряженных частиц, испускаемых катодом.

Эта идея получила подтверждение в 1879 г., когда

английский физик Уильям Крукс поместил в модифицированную вакуумную трубку «экран» — мальтийский крест из слюды. Обнаружилось, что крест перекрывал путь катодным лучам и отбрасывал тень на флуоресцирующий экран. Двигая вблизи трубки магнит, Крукс заметил, что тень перемещается; на основании этого он сделал вывод, что катодные лучи представляют собой поток отрицательно заряженных частиц. Не все ученые, однако, согласились с мнением Крукса. За три года до него немецкий физик Эуген Гольдштейн для объяснения природы катодных лучей предложил волновую гипотезу. Она основывалась на результатах Генриха Герца, который изучал прохождение этих лучей через тонкие пластинки из золота, серебра или алюминия. Физики того времени не могли даже и помыслить, что материальные частицы способны беспрепятственно проходить через вещество.

В 1892 г. Генрих Герц посоветовал своему ассистенту Филиппу Ленарду разделить катодную трубку алюминиевой фольгой на две части и таким образом исследовать катодные лучи в двух отдельных пространствах с различным давлением газов. Развивая эту идею, Ленард изготовил катодную трубку с окошком из фольги и установил, что это позволяет вывести катодные лучи за пределы трубки. Изобретение Ленарда было использовано в многочисленных экспериментах, позволивших исследовать природу и свойства катодных лучей, за что ученый был удостоен в 1905 г. Нобелевской премии по физике.

Решающие эксперименты по разгадке тайны катодных лучей были проведены английским физиком Джозефом Джоном Томсоном в 1897 г. Томсон пропускал катодные лучи между двумя электрически заряженными металлическими пластинками, подвергая их одновременно воздействию как магнитного, так и электрического поля. Это дало возможность вычислить скорость частиц, а впоследствии и отношение их массы к заряду. Томсон установил, что частицы, составляющие катодные лучи, несут элементарный электрический заряд («атом» отрицательного электричества), который примерно в 1837 раз легче атома (точнее, ядра) водорода. Частица катодных лучей была названа электроном, что берет свое начало от греческого названия янтаря; название «электрон» было предложено ирландским физи-

ком Джорджем Стонеем еще в 1891 г. За открытие электрона Джозеф Джон Томсон был удостоен в 1906 г. Нобелевской премии по физике.

Так, от исследования катодных лучей физики пришли к открытию первой элементарной частицы — электрона. Использование вакуумных трубок привело и к открытию нового вида электромагнитного излучения, которое в конце прошлого века произвело сенсацию в мире. Это были лучи, случайно обнаруженные Вильгельмом Рентгеном. Открытие Рентгена поистине потрясло ученый мир. Только за один год было опубликовано свыше тысячи работ о новых лучах. Известный французский математик и физик Жюль Анри Пуанкаре, имевший привычку щедро раздавать свои идеи в среде ученых, предложил проверить, не излучают ли рентгеновские лучи соли урана, которые, как было замечено, флуоресцируют под действием солнечного света. Стекло рентгеновской трубки флуоресцировало зеленым светом, что напоминало свечение кристаллов урана после того, как их подержали на солнце. Это внешнее сходство натолкнуло Пуанкаре на мысль о возможной связи между флуоресценцией и рентгеновскими лучами.

Проверкой этой гипотезы занялся французский физик Антуан Анри Беккерель. В его семье исследования флуоресценции имели давние традиции. Еще его дядя Антуан Сезар Беккерель, известный ученый и член Парижской академии, проводил эксперименты в этой области. Его отец, Александр Эдмон Беккерель, также академик и даже президент Парижской академии, был автором основополагающих трудов по фосфоресценции и классифицировал это явление в зависимости от различных внешних воздействий.

Опыты Анри Беккереля были исключительно просты. Он брал фотопластинку, заворачивал ее в черную бумагу и клал на нее кристаллики урана. Выставив пластинку на некоторое время на солнце, он затем проявлял ее и с удовлетворением обнаруживал на ней силуэты кристалликов. На первый взгляд это можно было рассматривать как подтверждение гипотезы о том, что кристаллы урана, флуоресцирующие под действием солнечного света, испускают рентгеновские лучи. Однако Беккерель, будучи ученым очень высокой квалификации, решил поставить и контрольный опыт. Он положил кристаллики урана на фотопластинку, не об-

лучая их предварительно на солнце, и установил, что, несмотря на это, они излучают, не флуоресцируя. Дальнейшие эксперименты подтвердили, что такой эффект вызывается самим ураном, содержащимся в кристаллах. Беккерель обнаружил, что «урановые лучи» ионизируют воздух и делают его электропроводным. Это позволило исследовать их с помощью электроскопа.

Открытие естественной радиоактивности дало физикам возможность проникнуть в новый мир. В конечном счете это привело к представлениям о сложности структуры атома и к овладению атомной энергией. За открытие естественной радиоактивности Анри Беккерель получил в 1903 г. Нобелевскую премию по физике. Вместе с ним были награждены два других исследователя естественной радиоактивности — французские физики Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри.

Используя тот факт, что радиоактивное излучение урана ионизирует воздух, Мария Склодовская-Кюри применила в своих исследованиях электроскоп; она поставила задачу — выяснить, не обладают ли подобными свойствами и другие вещества. В 1898 г. Склодовская-Кюри одновременно (и независимо) с немецким физиком Эрхардом Карлом Шмидтом установила, что элемент торий также радиоактивен. Наряду с этим она заметила, что некоторые соединения урана и тория имеют более сильное излучение, нежели это можно было предположить, исходя из процентного содержания в них названных элементов. Это указывало на возможность существования неизвестных радиоактивных субстанций.

Мария и Пьер Кюри провели химический анализ некоторых минералов, содержащих уран, и, переработав тонны руды, в июле 1898 г. открыли новый химический элемент. Он был назван полонием — в честь Польши, родины Марии Склодовской-Кюри. В декабре того же года был открыт еще один элемент, который из-за сильного излучения получил название «радий».

Супруги Кюри по праву считаются пионерами современной атомной физики. Сам термин «радиоактивность» был предложен Марией Склодовской-Кюри. Пьер Кюри в 1901 г. обнаружил биологическое воздействие радиации, а в 1903 г. сформулировал закон уменьшения радиоактивности и ввел понятие «период полураспада». Он предложил использовать явление радиоактивности для определения абсолютного возраста земных пород. В том

же году Пьер Кюри совместно с А. Лабордом обнаружил самопроизвольное выделение тепла солями радия, установив, что 1 г радия выделяет 100 кал тепла в час. Это указывало на то, что в атоме сосредоточена огромная энергия. К сожалению, Пьер Кюри погиб в 1906 г. от несчастного случая, едва достигнув 47 лет. Исследования были продолжены Марией Склодовской-Кюри, которая в 1910 г. вместе с французским химиком А. Дебьерном выделила металлический радий в чистом виде. Она определила атомный вес радия и указала его место в периодической системе элементов, за что в 1911 г. была удостоена второй Нобелевской премии — на этот раз по химии.

Законы излучения

В конце XVII в. Исаак Ньютон с помощью трехгранной стеклянной призмы разложил белый свет на семь цветов (в спектр). Этот эффектный эксперимент положил начало исследованиям света, которые два столетия спустя привели к важным последствиям в физике. Благодаря усовершенствованию оптических приборов в начале XIX в. были получены довольно хорошие спектры света различных источников. Постепенно накопленные данные были обобщены в 1859 г. Густавом Робертом Кирхгофом и Робертом Вильгельмом Бунзенем, которые выдвинули гипотезу о наличии связи между спектрами и свойствами атомов.

В 1868 г. Эйльхард Мичерлих высказал предположение, что спектры несут информацию о процессах, происходящих в самом атоме. В дальнейшем обнаруженные в спектрах закономерности все более убеждали физиков в справедливости этого предположения. В 1885 г. Иоганн Бальмер установил простую зависимость между длинами волн линий видимой части спектра атома водорода, которую он выразил математической формулой (формула Бальмера). Позднее, в 1890 г., Иоганнес Роберт Ридберг ввел в спектроскопию свою хорошо известную константу R (постоянная Ридберга), выражающую взаимосвязь между различными сериями спектральных линий элемента.

Классическая физика не могла объяснить эти закономерности, так как ученым не была ясна природа излучения. В конце прошлого века эти процессы рассматривались с позиций термодинамики. Сначала, в 1879 г.,

Йозеф Стефан экспериментально установил, что энергия, излучаемая нагретым телом, пропорциональна четвертой степени его абсолютной температуры. Этот закон теоретически вывел в 1884 г. Людвиг Больцман. Над проблемой излучения начал работать и немецкий физик Вильгельм Вин, с 1890 г. ассистент Германа Гельмгольца в Физико-техническом институте в Берлине. В 1893 г. Вин опубликовал результаты своих исследований спектрального распределения излучения нагретого тела. Вин математически описывает общеизвестный факт, что с увеличением температуры свечение тела изменяется от красного до синевато-белого (т. е. максимум излучения смещается в область коротких волн). Эта закономерность получила в науке название «закон смещения Вина». В 1896 г., исходя из классических представлений, ученый вывел закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела (закон излучения Вина).

Эти открытые экспериментально закономерности были вершиной достижений классической физики в теории излучения нагретого тела. Исследования немецкого ученого подготовили почву для революционных изменений, наступивших в области физики в начале XX в., и в знак признания его заслуг в 1911 г. Вильгельму Вину была вручена Нобелевская премия по физике — за открытие закона теплового излучения.

Законами излучения в конце прошлого века занимался и другой известный ученый — Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей), который в 1900 г. опубликовал результаты своих исследований распределения энергии в спектре излучения. Его данные, однако, не согласовались с выводами Вина, сделанными для другой (коротковолновой) части спектра. В науке заговорили о так называемой «ультрафиолетовой катастрофе», так как именно в этом диапазоне спектра отмечалось несоответствие между результатами Вина и Рэрея. Это было одним из тех небольших облачков, которые в конце XIX в. появились на чистом горизонте классической физики.

Чтобы как-то согласовать противоречивые выводы, крупный немецкий физик-теоретик того времени Макс Планк высказал смелое предположение. В 1900 г., после 6 лет работы над проблемой излучения абсолютно черного тела, он предположил, что атомы излучают энергию определенными порциями, квантами, причем энергия каждого кванта пропорциональна частоте волны, т. е.

цвету излучаемого света. Это ознаменовало рождение квантовой теории. Благодаря этому допущению Планк теоретически вывел закон распределения энергии в спектре абсолютно черного тела.

Экспериментаторы сразу же приняли новую теорию и вскоре нашли ей многочисленные подтверждения. Для теоретиков, однако, это было большим ударом. Начиная еще с работ Ньютона и Лейбница, создателей дифференциального исчисления, оперирующего с бесконечно малыми величинами, физики были твердо убеждены в беспредельной «делимости» предметов и явлений. И вдруг оказалось, что излучение носит атомистический характер и не может происходить произвольно. Даже сам Планк сдержанно принимал свое открытие, воспринимая его скорее как необходимость.

Следующий шаг на пути утверждения идеи квантов был сделан в 1905 г. Альбертом Эйнштейном. В то время как Планк принимал, что излучение происходит порциями, Эйнштейн показал, что и свет имеет квантовую структуру и представляет собой поток световых квантов (фотонов). Это по существу было возрождением старой корпускулярной теории света Ньютона. Опираясь на эти идеи, Эйнштейн сумел объяснить ряд явлений, в том числе и фотоэлектрический эффект.

Фотоэффект (явление взаимодействия между светом и веществом, которое выражается в освобождении электронов из вещества под действием электромагнитного излучения) был открыт в 1887 г. Генрихом Герцем. Вскоре на основе экспериментов было дано его описание русским физиком Александром Столетовым. Эти два ученых, по существу, наблюдали так называемый внешний фотоэффект, при котором фотоны выбивают электроны из вещества. Наряду с этим существует еще и внутренний фотоэффект (открытый в 1873 г. американским физиком У. Смитом), при котором выбитые из атомов электроны остаются внутри вещества и регистрируются по повышению электропроводности.

Представление Эйнштейна о свете как о потоке частиц позволило объяснить фотоэффект передачей энергии фотонов электронам атома. Прошло, однако, немало времени, прежде чем новые взгляды утвердились в науке. Планк стал лауреатом Нобелевской премии только в 1918 г., т. е. почти два десятилетия спустя после того, как вывел свой знаменитый закон излучения и предло-

жил гипотезу квантов. Альберт Эйнштейн получил Нобелевскую премию по физике в 1921 г. В то время он был уже всемирно известным физиком, автором знаменитой теории относительности, и поэтому в мотивации награждения наряду с открытием законов фотоэффекта упоминается и о его заслугах в теоретической физике.

Объяснение, данное Эйнштейном фотоэффекту, не сразу получило признание физиков, так как отсутствовали подтверждавшие его экспериментальные данные. Лишь в 1910—1914 гг. американский физик Роберт Эндрус Милликен провел в Чикагском университете первые опыты, подтвердившие новые представления о свете. Милликен создал оригинальный прибор, который позволял измерять количество электронов (и их энергию), выбитых из металлов при освещении их светом различной длины волны (т. е. различного цвета). Этот интересный прибор дал возможность прежде всего определить так называемую постоянную Планка, устанавливающую связь между энергией и частотой кванта. Кроме того, Милликен экспериментально проверил уравнения Эйнштейна для фотоэффекта в видимой и ультрафиолетовой областях спектра.

Талантливому экспериментатору Роберту Милликену принадлежит еще одно крупное достижение, которое принесло ему широкую известность. Используя оригинальную аппаратуру и разработанный им метод капель, он провел огромное количество опытов, позволивших ему точно измерить электрический заряд электрона («атома» электричества). За это открытие, а также за исследование фотоэффекта Милликен получил в 1923 г. Нобелевскую премию по физике.

В 60-е годы XIX в. в физике произошло крупное событие: английский физик Джеймс Клерк Максвелл объединил явления электричества, магнетизма и света, создав теорию электромагнитного поля. Так возник новый раздел физики, получивший название электродинамики. Идея Максвелла были развиты дальше и поставлены на новую основу нидерландским физиком-теоретиком Хендриком Антоном Лоренцем. Объединив электромагнитную теорию Максвелла с представлениями об атомистическом характере электричества, он создал классическую электронную теорию. Электрические, магнитные и оптические явления теория Лоренца объясняла как движение дискретных электрических зарядов.

Основы электронной теории Лоренц заложил в 1880 г., а окончательно она оформилась к 1909 г., после того как был открыт электрон. Согласно этой теории, атомы состоят из электронов и положительно заряженных частиц, которые их нейтрализуют. При движении этих зарядов возникают электрические и магнитные поля. Исходя из этих представлений, Лоренц объяснил ряд электрических и оптических явлений и даже предсказал явления, которые тогда не наблюдались. В частности, он указал, что спектральные линии излучения (которое обусловлено движением электронов) должны расщепляться под действием электрических и магнитных полей, поскольку поля влияют на движение электронов. Предсказание Лоренца было подтверждено в августе 1896 г. его соотечественником, молодым нидерландским физиком Питером Зеemanом.

В своем эксперименте Зеeman поместил пламя газовой горелки между полюсами электромагнита. При добавлении обычной поваренной соли пламя окрашивалось в желтый цвет — спектральная линия излучения натрия. При включении магнитного поля спектральные линии расширялись в полном соответствии с теорией Лоренца. В этот же период времени Томсон исследовал катодные лучи и данные, полученные им в опытах, никак не связанных с экспериментами Зеемана, послужили убедительным свидетельством в пользу реального существования электронов.

Идеи Лоренца и открытия Зеемана были крупным шагом вперед в изучении теории излучения. Уже в 1902 г. их работы получили признание Нобелевского комитета, принявшего решение о присуждении двум нидерландским ученым премии по физике.

Согласно теории Лоренца, электрическое поле должно также воздействовать на свет. Экспериментальное доказательство этого вывода значительно задержалось по чисто техническим причинам.

Влияние электрического поля на спектральные линии натриевого пламени нельзя было изучать, поместив пламя между двумя электродами. Поскольку пламя проводит ток, электрическое поле при этом вообще исчезает. Лишь в 1913 г. Йоханнес Штарк, чтобы обойти эту трудность, создал другую экспериментальную установку, используя свойства так называемых каналовых лучей. Это своего рода антипод катодных лучей. Если в катоде

электронно-лучевой трубки проделать отверстия, то через них проходят частицы, которые представляют собой положительные ионы, излучающие свет. Направляя каналовые лучи в электрическое поле, Штарк обнаружил, что при этом происходит расщепление спектральных линий излучения, как и предсказывала теория Лоренца. По аналогии с уже известным «эффектом Зеемана» это явление получило название «эффект Штарка». В 1919 г. Иоханнес Штарк получил за свое открытие Нобелевскую премию по физике.

Исследования законов излучения дали очень ценную информацию о внутреннем строении атома и привели к созданию различных его моделей. Но чтобы сделать правильный выбор между этими моделями, требовались и другие экспериментальные методы, которые стали возможны только в начале нынешнего столетия.

Модели атома

Концепция атома возникла впервые в древней Греции. Демокрит и другие древнегреческие философы высказывали мысль, что все тела в окружающем нас мире состоят из мельчайших частиц, которые далее не могут делиться и являются основными «кирпичиками» вещества. Отсюда и название «атом», что значит по-гречески «неделимый».

Наука открыла атом лишь в начале XIX в.* Первая современная теория о том, что вещество состоит из ограниченного числа частиц, была создана в 1803 г. английским ученым Джоном Дальтоном. Так, вслед за философами атомом занялись химики. Прошло еще 100 лет, прежде чем физики смогли показать, что эта «неделимая» частица представляет собой довольно-таки сложную систему, таящую в себе немало загадок природы. Исследования ряда ученых в конце XIX и начале XX вв. показали, что электричество и свет имеют дискретный характер, т. е. состоят из частиц. Эти представления легли в основу различных моделей атома, которые все более точно воссоздавали его подлинную структуру.

* М. В. Ломоносов еще в середине XVIII в. считал, что окружающий нас мир состоит из весомой материи и эфира. «Все тела, — утверждал Ломоносов, — состоят из „корпускулов“ (молекул), содержащих „элементы“ (атомы)», — *Прим. ред.*

Прежде всего в 1903 г. Дж. Дж. Томсон предложил свою модель атома в виде «пудинга с изюмом», согласно которой атом представляет собой положительно заряженную сферу с вкрапленными в нее электронами. Суммарный отрицательный заряд электронов равен положительному заряду сферы; поэтому в целом атом электрически нейтрален. Модель атома Томсона в какой-то степени позволяла объяснить процессы излучения, рассеяния и поглощения света, и в течение ряда лет она была весьма популярна. Это пример того, как модель, не имеющая ничего общего с действительностью, тем не менее «работает» — дает возможность объяснить некоторые реально наблюдаемые явления.

Примерно в то же время французский ученый Жан Батист Перрен предложил планетарную модель атома. В этой модели наблюдаемые свойства атомов объяснялись орбитальным движением электронов. Подобную модель предложил в 1904 г. и японский физик Хантаро Нагаока. Это так называемая «модель Сатурна», в которой электроны образуют кольцо, вращающееся вокруг центрального положительно заряженного ядра, подобно тому как кольца обращаются вокруг планеты Сатурн. Эти первые модели атома были весьма умозрительными и не «продержались» долго. Только после появления новых экспериментальных данных стало возможным установить подлинную структуру атома.

В 1906 г. английский ученый Эрнест Резерфорд исследовал взаимодействие между альфа-частицами и веществом. С этой целью проводились опыты, в которых тонкие пластинки из золота и других металлов «обстреливались» альфа-частицами. Эксперименты были поручены новозеландскому физическому Эрнесту Марсдену, работавшему у Резерфорда в Манчестерском университете. В 1909 г. Марсден вместе с Хансом Гейгером (другим ассистентом Резерфорда) обнаружил, что изредка (примерно в одном случае из 8000) альфа-частицы рассеивались при соударении с мишенью на очень большой угол, словно сталкивались с массивной преградой. Результаты были настолько неожиданными, что Марсден долго не решался сообщить о них Резерфорду, считая, что здесь скрыта какая-то ошибка. Резерфорд действительно был очень удивлен и потом часто вспоминал, что это выглядело столь же невероятным, как если бы летящий снаряд отскочил от листа бумаги.

К 1911 г. было накоплено уже достаточно подобных экспериментальных данных, что позволило Резерфорду предложить его хорошо известную «планетарную модель» атома, основанную уже на прямых результатах наблюдений. Впервые были сделаны оценки размеров атома и находящегося в центре его небольшого положительно заряженного ядра, на котором, собственно, и рассеивались столь сильно альфа-частицы. Модель атома Резерфорда была такова: вокруг ядра, размером примерно в 100 тысяч раз меньше самого атома, вращаются, как планеты вокруг Солнца, отрицательно заряженные электроны. Но «планетарная модель» Резерфорда также объясняла далеко не все, потому что она основывалась на представлениях классической физики. Согласно последним представлениям, вращающийся электрон должен был бы непрерывно излучать энергию и, довольно быстро израсходовав ее, упасть на ядро. Модель Резерфорда находилась лишь в одном шаге от истины — и этот шаг был сделан датским физиком Нильсом Бором.

В 1913 г. Бор, объединив идеи квантования энергии, выдвинутые Планком и Эйнштейном, с моделью атома Резерфорда, выдвинул гипотезу, что электроны движутся вокруг ядра только по таким орбитам, на которых они не излучают и не поглощают энергию. Далее он показал, что излучение и поглощение происходят только квантами в момент перехода электрона с одной орбиты на другую. Теория Бора позволяла легко вывести постоянную Ридберга и успешно объясняла другие результаты, полученные в экспериментальной спектроскопии. Уже на следующий год были проведены спектральные измерения в ультрафиолетовой области, которые подтвердили справедливость новой модели атома.

Модель Бора была первой квантовой моделью атома. Она положила начало новой эпохи в развитии атомной теории, объединив в себе результаты, полученные при исследованиях радиоактивности, оптических и электромагнитных явлений. Новая модель атома сразу же обнаружила свою плодотворность в спектроскопии и теории химической связи. Она ознаменовала собой отход от классических представлений и начало широкого внедрения квантовых идей в современную науку. За создание квантовой теории атома Нильс Бор был удостоен в 1922 г. Нобелевской премии по физике.

Кванты в действии

В период 1913—1917 гг. был проведен ряд экспериментов, подтверждающих гипотезу Макса Планка о квантовании энергии и квантовую модель атома Нильса Бора. Они были осуществлены немецкими физиками Джеймсом Франком и Густавом Герцем.

Эти ученые исследовали взаимодействие электронов с атомами, в частности происходящее при столкновении движущегося с определенной скоростью электрона с атомом вещества. В экспериментальной установке Франка и Герца пучок электронов проходил через газ. Газ начинал светиться, испуская свет определенной длины волны. Эксперимент позволял проводить точное измерение скорости электронов, а следовательно, и их энергии. Исследуя количественные результаты, ученые показали, что, для того чтобы вызвать излучение атома при столкновении, электрон должен обладать определенной минимальной энергией. Они определили, что эта энергия равна произведению постоянной Планка на частоту светового излучения. Определение этой постоянной новым и независимым способом явилось еще одним доказательством дискретности уровней энергии атомов и подтвердило теорию атома Бора. За это открытие Густав Герц и Джеймс Франк были удостоены в 1925 г. Нобелевской премии по физике.

Исследование излучения абсолютно черного тела привело Планка к идее квантования. Теория фотоэффекта, предложенная Эйнштейном, углубила это представление, показав, что квантами в сущности являются фотоны (частицы света). Фотоны проявляют себя при различных эффектах, один из которых был открыт американским физиком Артуром Холли Комптоном в 1923 г.

При фотоэффекте фотон взаимодействует с электроном вещества, отдавая ему свою энергию, что приводит к высвобождению электрона из атома. При эффекте Комптона фотон взаимодействует со свободным или слабосвязанным электроном, передавая ему только часть своей энергии. В результате такого взаимодействия происходит перераспределение энергии между фотоном и электроном, что изменяет траекторию частиц. Эффект Комптона наблюдается тогда, когда энергия фотона достаточно велика по сравнению с энергией электрона в атоме, так как в этом случае электрон может считаться свободной

частицей. Столь высокой энергией обладают фотоны рентгеновского излучения. В своих опытах Комптон установил, что при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом происходит упругое рассеяние его на свободных электронах вещества, сопровождающееся увеличением длины волны (эффект Комптона), и построил теорию этого явления.

Открытие Комптона стало новым убедительным доказательством реальности квантов. За это достижение он стал в 1927 г. одним из лауреатов Нобелевской премии по физике.

В то время как фотоэффект и эффект Комптона — это явления, наблюдаемые лишь в специальных условиях, так называемое комбинационное рассеяние света встречается значительно чаще. В 1928 г. индийские физики Чандрасекхара Венката Раман и Кариаманиккам Кришнан из Калькуттского университета исследовали спектральный состав света после прохождения его через различные жидкости. Они установили, что наряду с основными спектральными линиями наблюдаются и новые линии, смещенные в красную и синюю стороны. Независимо от индийских ученых и даже несколько раньше их аналогичные исследования провели с кристаллами советские физики Л. И. Мандельштам и Г. С. Ландсберг. Советские ученые опубликовали свои результаты после продолжительных экспериментов, тогда как Раман сразу же послал короткое сообщение в английский журнал *Nature*. Это обеспечило ему приоритет, и сегодня комбинационное рассеяние света часто называют «эффектом Рамана».

Суть этого явления состоит в следующем. Кванты оптического диапазона поглощаются молекулами вещества, вызывая их возбуждение. Возбужденная молекула излучает квант с меньшей энергией, т. е. возникает вторичное излучение, смещенное в красную область спектра. Если другой фотон попадает в ту же самую молекулу в момент, когда она еще находится в возбужденном состоянии, то вторичное излучение будет иметь большую энергию. Это вторичное излучение смещено в синюю область спектра.

Комбинационное рассеяние света объясняет многие явления природы; этот эффект оказался ценным методом для изучения строения молекул. Сегодня спектроскопия рассеянного света широко применяется в химии и моле-

кулярной биологии для качественного и количественного анализов. За свое открытие Раман получил в 1930 г. Нобелевскую премию по физике.

Развитие квантовых представлений

В 1921 г. американский физик Клинтон Джозеф Дэвиссон, работавший тогда в Научно-исследовательском центре фирмы «Белл телефон», обнаружил интересное явление, которое наблюдалось при отражении электронов от поверхности никелевой пластинки. Результаты исследований показывали, что электроны рассеиваются под определенным углом. Это явление удалось объяснить лишь через несколько лет, когда идеи квантовой физики получили новое, более глубокое развитие.

В начале 20-х годов теоретики стали понимать, что квантовая теория, созданная в начале века, весьма ограничена по своему смыслу и применению. Требовалось ее дальнейшее развитие на основе новых принципов. В 1923 г. французский физик Луи де Бройль в своей докторской диссертации «Исследования теории квантов» выдвинул идею о волновых свойствах материи, которая и легла в основу современной квантовой механики. Развив глубже представления Эйнштейна о двойственной природе света, он распространил их и на вещество, объединив формулу Планка (согласно которой энергия пропорциональна частоте излучения) с формулой Эйнштейна, связывающей энергию и массу ($E=mc^2$), получил соотношение, показывающее, что любой материальной частице определенной массы и скорости можно приписать соответствующую длину волны.

Луи де Бройль защитил докторскую диссертацию в ноябре 1924 г., изложив тем временем свои идеи в ряде статей. На следующий год молодой немецкий физик Вальтер Эльзассер высказал предположение, что теоретические разработки де Бройля могут быть доказаны при исследовании отражения электронов от кристалла. Но такой опыт был осуществлен Дэвиссоном еще в 1921 г. Американский ученый также следил за публикациями де Бройля, и в начале 1925 г. он приступил к исследованиям углового распределения рассеянных электронов. Наконец, 6 января 1927 г., Дэвиссон вместе с Лестером Джермером получил четкую картину рассеяния электронов, хорошо согласующуюся с теорией.

В то же самое время профессор Абердинского университета Джордж Паджет Томсон, сын известного Джозефа Джона Томсона, независимо от группы Дэвиссона открыл явление дифракции электронов. Лишь месяц спустя после своих американских коллег он также получил убедительные доказательства волнового характера этих частиц. Картины рассеяния электронов, полученные Дэвиссоном и Томсоном, были очень похожи на изображения, получаемые при дифракции рентгеновского излучения, причем эксперименты в этих двух исследованиях ставились по-разному. В то время как Дэвиссон изучал отражение медленных электронов от кристаллов никеля, Томсон исследовал прохождение быстрых электронов через металлическую фольгу. По дифракционным картинам можно было вычислить длину волны, соответствующую движущимся электронам.

Идеи Луи де Бройля раскрыли новые свойства вещества, о которых ранее даже и не подозревали ученые. В 1929 г., через шесть лет после первых публикаций, де Бройль получил Нобелевскую премию по физике за открытие волновой природы электронов.

Дэвиссон и Д. П. Томсон разделили в 1937 г. Нобелевскую премию по физике за экспериментальное открытие интерференционных явлений в кристаллах, облучаемых электронами. Наряду с большим теоретическим значением эти открытия представляли практическую ценность. Достаточно упомянуть электронную оптику, в частности электронный микроскоп, который является одним из основных приборов в современных биологических исследованиях.

Работы Луи де Бройля привлекли внимание австрийского физика-теоретика Эрвина Шрёдингера. В течение года (с конца 1925 до конца 1926 г.) он опубликовал несколько работ, в которых была развита теория, получившая название «волновая механика». Выводы Шрёдингера, и в особенности известное уравнение его имени, играют в изучении атомных процессов такую же фундаментальную роль, как законы Ньютона в классической механике.

Если провести аналогию между оптикой и механикой, то можно указать на следующее: классическая оптика принимает, что световые лучи распространяются прямолинейно, и только при исследовании некоторых явлений, таких, как дифракция или интерференция, обнаруживается волновая природа света; точно так же классическая

механика, основанная на законах Ньютона, хорошо описывает явления макромира, но при исследовании микрообъектов проявляются уже волновые свойства материи. Кроме этой оптико-механической аналогии Шрёдингер установил связь между созданной им волновой механикой и матричной механикой, разработанной в тот же период Вернером Гейзенбергом, Максом Борном, Паскуалем Иорданом и Полем Дираком.

Молодой немецкий физик Вернер Гейзенберг в 1925 г., в возрасте всего лишь 24 лет, предложил так называемую матричную механику, в основу которой был положен очень удобный математический аппарат. Однако большую известность Гейзенбергу принес его знаменитый принцип неопределенности, сформулированный в 1927 г., когда ученый стал профессором теоретической физики Лейпцигского университета. Этот принцип, представляющий собой фундаментальное положение квантовой теории, гласит, что информация, которую мы можем получить относительно микрообъектов, ограничена самими методами наблюдения. Если мы решим, например, определить положение (координаты) частицы, то для этого нам придется облучить ее фотонами. Но вследствие взаимодействия с фотонами частица изменит свое положение, так что полученный результат будет «неточным». Принцип неопределенности Гейзенберга утверждал неприменимость законов классической механики в квантовой теории. В новой, волновой квантовой механике необходимы были иные понятия, нежели в классической механике. Так, в модели атома вместо электронных орбит (фигурирующих в классической модели атома Бора) были введены так называемые электронные облака, в пределах которых электрон находится с определенной степенью вероятности.

Дальнейшее развитие квантовая теория получила в исследованиях английского физика Поля Дирака. В 1928 г. он создал релятивистскую теорию движения электрона, применив в квантовой механике соотношения теории относительности. Дирак сумел объединить релятивистские представления с представлениями о квантах и спине (собственном моменте вращения микрочастицы). Из теории Дирака вытекал интересный вывод о возможности существования положительно заряженного «электрона» — и очень скоро, всего лишь через 4 года, был открыт позитрон.

Создателями квантовой механики были молодые та-

лантливые исследователи. Они внесли в физику новые оригинальные идеи, так что их научная деятельность полностью отвечала критериям Нобелевского фонда. И не удивительно, что большинство из них довольно скоро стали лауреатами Нобелевской премии. В 1933 г. Нобелевская премия по физике была присуждена Вернеру Гейзенбергу за создание квантовой механики и открытие в связи с этим аллотропных форм водорода, а также Эрвину Шрёдингеру и Полю Дираку — за создание новых плодотворных вариантов квантовой теории.

Когда Шрёдингер впервые опубликовал свое уравнение, немецкий физик Макс Борн дал статистическую интерпретацию входящей в него волновой функции, показав, что интенсивность шрёдингеровских волн следует рассматривать как меру вероятности того, что частица находится в определенном месте. Другая заслуга Борна состоит в том, что он вместе с П. Йорданом создал математический аппарат новой квантовой теории (матричной механики). За фундаментальный вклад в квантовую механику, а также за статистическую интерпретацию волновой функции Макс Борн в 1954 г. (много лет спустя после своих открытий!) стал лауреатом Нобелевской премии по физике, разделив ее с Вальтером Боте. Наряду с другими результатами Борна нельзя не упомянуть о разработанных им методах вычисления деформации электронных оболочек атома. Для Борна и его школы было характерно широкое использование квантовой механики в различных областях физики атома и твердого тела.

С теоретическим исследованием электронов в атоме связаны и работы известного швейцарского физика-теоретика Вольфганга Паули. В 1924 г. этот талантливый молодой ученый сформулировал один из важнейших принципов теоретической физики — так называемый принцип Паули. Это было время, когда еще господствовала старая квантовая теория, согласно которой электроны в атоме вращаются вокруг ядра по определенным траекториям. Принцип Паули утверждал, что на одной орбите не может одновременно находиться более двух электронов, да и то только в том случае, если их спины противоположно направлены. В современной формулировке этот принцип звучит так: две тождественные частицы не могут находиться в одном квантовом состоянии.

Из принципа Паули следует, что в любом слое электронной оболочки атома может находиться только опре-

деленное число электронов. Этот принцип позволил строго объяснить расположение химических элементов в таблице Менделеева. Принцип Паули имеет большое значение для ядерной физики и физики элементарных частиц, где с его помощью удалось объяснить составной характер ядер и элементарных частиц. За свое крупное открытие Вольфганг Паули в 1945 г. получил Нобелевскую премию по физике.

Рентгеновские лучи

В декабре 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген, директор Физического института при Вюрцбургском университете, открыл новый вид лучей. Впоследствии историки науки установили, что это излучение, возникающее в катодно-лучевой трубке, многократно наблюдалось прежде.

Во второй половине XIX в. катодные трубки были во всех сравнительно крупных физических лабораториях, и очень странно, что до Рентгена никто не замечал этих лучей. Еще в 1876—1880 гг. Эуген Гольдштейн изучал катодные лучи, а в 1895—1898 гг. наблюдал свечение некоторых солей под их воздействием. Десять лет спустя Джозеф Томсон, проводя свои опыты с катодными лучами, также заметил, что стекло, помещенное более чем в метре от трубки, фосфоресцирует. Однако он не обратил на это внимания. Физики того времени по опыту хорошо знали, что около работающей катодной трубки нельзя оставлять фотоматериалы, ибо они засвечиваются. Эти и некоторые другие факты свидетельствуют о том, что ученые находились на пороге открытия. Последний, решающий, шаг был сделан Рентгеном в 1895 г. Желая улучшить условия наблюдения свечения в катодной трубке, он затемнил лабораторию. Тогда-то Рентген и заметил случайно, что картонный экран, покрытый флуоресцирующим минералом, во время работы катодной трубки начинает светиться.

Известна мысль, высказанная Пастером, что случайность помогает только подготовленному уму. Рентген сразу же поставил серию экспериментов и подробнейшим образом описал свойства вновь открытых лучей. Он установил, что они распространяются на большое расстояние и проникают через многие вещества. Далее он выяснил, что в отличие от катодных эти лучи не преломляются,

не отражаются и не отклоняются в магнитном поле. Всего за несколько месяцев Рентген изучил настолько основательно новое излучение, что понадобилось 20 лет, чтобы добавить что-либо к его выводам.

Рентгеновские лучи были интересны сами по себе, но настоящую сенсацию они произвели, когда выяснилась их способность проникать через тело человека и давать изображение его скелета. В конце прошлого века это было невероятным открытием. Известность Рентгена достигла таких масштабов, что в 1901 г. ему первому среди физиков была присуждена Нобелевская премия.

Сразу же после открытия рентгеновских лучей возник старый спор, который в то время сопутствовал открытию любого вида излучения: является это излучение потоком частиц или электромагнитными волнами? В 1899 г. нидерландские физики Г. Хага и К. Х. Винд пропустили пучок рентгеновских лучей через узкую щель и обнаружили слабый дифракционный эффект. Отсюда они сделали вывод о волновой природе рентгеновских лучей и оценили длину волны этого излучения: она была порядка одного ангстрема (одной стомиллионной сантиметра). Для сравнения укажем, что видимый свет имеет длину волны порядка нескольких тысяч ангстрем. В 1904 г. английский физик Чарлз Баркла занялся проверкой гипотезы английского физика Джорджа Стокса о том, что если рентгеновские лучи являются электромагнитными волнами, то они должны поляризоваться, причем поляризация должна зависеть от способа их образования в катодной трубке. Поляризация действительно была обнаружена, и это было воспринято как серьезный аргумент в пользу волновой природы рентгеновских лучей.

В то же самое время, однако, выявились и некоторые факты, свидетельствующие о корпускулярном характере рентгеновских лучей. В 1908 г. Уильям Генри Брэгг исследовал процесс возникновения заряженных частиц под действием рентгеновского излучения. Он, в частности, наблюдал возникновение при этом потока электронов, на основании чего сделал вывод, что рентгеновские лучи представляют собой поток частиц, ибо подобный эффект могут вызвать только частицы. Эти опыты склонили чашу весов в сторону корпускулярной теории, и такое положение сохранилось до 1912 г., когда неожиданно было представлено блестящее доказательство волновых свойств рентгеновских лучей.

В Мюнхенском университете, где продолжал работать Рентген, профессор Арнольд Зоммерфельд поручил своему сотруднику Макс фон Лауэ написать для энциклопедии статью на тему «Волновая оптика». Это побудило Лауэ внимательно изучить теорию дифракции света. В то же самое время один из учеников Зоммерфельда, Пауль Эвальд, работал над диссертацией по оптическим свойствам кристаллов. Часто консультировавший его Лауэ пришел к мысли, что расстояние между атомами в кристаллических решетках — того же порядка, что и предполагаемая длина волны рентгеновских лучей. В этом случае при прохождении лучей через кристалл должно было бы наблюдаться явление дифракции.

Проверкой предположения Лауэ занялись молодые исследователи Вальтер Фридрих и Пауль Книппинг. После нескольких экспериментов им удалось получить фотографии сложных дифракционных картин. Так, в 1912 г. была сфотографирована дифракционная картина, возникающая при прохождении рентгеновских лучей через кристалл сульфата меди. Это открытие вызвало большой резонанс в научных кругах и явилось убедительным подтверждением волновой природы рентгеновского излучения. Инициатор этих исследований Макс фон Лауэ за открытие дифракции рентгеновских лучей получил в 1914 г. Нобелевскую премию.

Однако толкование рентгеновской дифракционной картины оказалось делом довольно сложным. Лауэ занимался этим вопросом, но с весьма небольшим успехом. Эту проблему разрешили английский физик Уильям Лоренс Брэгг (сын У. Г. Брэгга) и независимо русский кристаллограф Георгий Викторович Вульф. В 1913 г. они вывели формулу, описывающую условия интерференционного отражения рентгеновских лучей от кристаллов (формула Брэгга — Вульфа). С помощью этой формулы можно определить отклонение рентгеновского луча при прохождении через вещество. Указанная формула, связывающая длину волны рентгеновского излучения с периодом кристаллической решетки кристалла, позволяет, с одной стороны, используя рентгеновские лучи определенной длины волны, исследовать структуру вещества, а с другой — используя такие кристаллы, как поваренная соль, структура которой известна, можно исследовать сами рентгеновские лучи. Обширные эксперименты такого рода, проведенные отцом и сыном Брэггами, положили

начало рентгеноструктурному анализу и принесли в 1915 г. этим ученым Нобелевскую премию по физике. У. Л. Брэгг, которому тогда было только 25 лет, долго и плодотворно работал в этом направлении. В период 1938—1953 гг., возглавляя знаменитую Кавендишскую лабораторию, У. Л. Брэгг всячески способствовал использованию рентгеноструктурного анализа в зарождающейся молекулярной биологии. И действительно, этот новый метод сыграл важную роль в открытии структуры ДНК («двойная спираль») и определении пространственного строения некоторых белковых молекул.

Интересные исследования с рентгеновским излучением осуществил в начале века Чарлз Баркла. Он первым в 1904 г. экспериментально осуществил поляризацию рентгеновских лучей, доказав их волновую природу, а в 1906 г. открыл так называемое характеристическое рентгеновское излучение. Обычно рентгеновское излучение имеет непрерывный спектр. Оно возникает при резком торможении быстрых электронов при соударении с мишенью. При высоком напряжении (свыше 10 кВ), однако, наряду с излучением, имеющим непрерывный спектр, возникает рентгеновское излучение определенной длины волны. Это излучение Баркла назвал характеристическим, потому что его спектр зависел от характера вещества мишени.

Замеченное явление в то время не удавалось объяснить теоретически. На практике его использовали для получения рентгеновских лучей с определенными свойствами, что было необходимо для рентгеноструктурного анализа. Важность открытия стала ясной через десять лет, после того как отец и сын Брэгги показали возможность исследования рентгеновских спектров с помощью кристаллов с известным строением. В то время Нильс Бор предложил квантовую модель атома, и характеристическое рентгеновское излучение стали объяснять квантовыми переходами электронов с внешних оболочек атома на внутренние. Значение открытия Баркля все более возрастало, и наконец в 1917 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике, которую, однако, он получил лишь в следующем году, после окончания первой мировой войны. Исследование Барклой рентгеновских лучей методом Брэггов положило начало рентгеновской спектроскопии. Ценный вклад в эту область внесли французский физик Морис де Бройль (старший

брат Луи де Бройля) и английский физик Генри Мозли.

Мозли первым начал исследовать спектры рентгеновского излучения химических элементов. Он открыл закон (закон Мозли), связывающий частоту спектральных линий с порядковым номером излучающего элемента в периодической таблице Менделеева. Это открытие имело большое значение для установления физического смысла атомного номера элемента. Мозли показал, что характеристическое рентгеновское излучение создается внутренними электронами (находящимися вблизи ядра) атома. Оно дает такую же информацию о внутренних электронах атома, как обычный свет о внешних электронах.

Генри Мозли было всего лишь 26 лет, когда он в 1913 г. опубликовал свою работу, навеки вписавшую его имя в науку. Он погиб два года спустя при высадке английского десанта в проливе Дарданеллы; это произошло тогда, когда уже был подписан и выслан приказ о его демобилизации.

Незавершенная Мозли работа была продолжена шведским физиком-экспериментатором Карлом Манне Георгом Сигбаном. Он разработал новые методы получения детальных рентгеновских спектров и исследовал рентгеновские спектры почти всех химических элементов. Это позволило получить исчерпывающие данные о структуре электронных оболочек атомов.

Сигбан изготовил дифракционную решетку для исследования длинноволнового рентгеновского излучения. Тем самым он ликвидировал пробел между жестким (коротковолновым) рентгеновским излучением, которое исследуется с помощью кристаллических решеток, и оптическим ультрафиолетовым излучением, исследуемым с помощью обычной оптической дифракционной решетки. Исследования шведского ученого показали, как дополняются электронные оболочки атома при переходе от более легких элементов к тяжелым. Его наблюдения позволили определить, сколько электронов находится в соответствующей оболочке того или иного элемента. За обширные и детальные исследования в области рентгеновской спектроскопии Карл Манне Георг Сигбан был удостоен в 1924 г. Нобелевской премии по физике.

Случилось так, что 57 лет спустя такая же награда была вручена Каю Сигбану — сыну Карла Сигбана. Увлекаясь с раннего возраста физикой, Кай Сигбан также занялся исследованием рентгеновского излучения, в част-

ности изучением электронов, выбиваемых рентгеновскими лучами из вещества. В 1951 г., будучи уже профессором, молодой шведский ученый положил начало новому методу электронной спектроскопии и использовал его для химического анализа. Основная заслуга этого исследователя состоит в том, что он сконструировал прибор для исследования энергетических спектров электронов, выбиваемых из атомов рентгеновскими лучами. Разработанный им рентгеновский электронный спектрометр оказался исключительно ценным прибором для современной химии. Максимумы электронных спектров соответствуют энергиям связи электронов на внутренних оболочках атомов, и это дает возможность исследовать структуру молекул. Метод отличается высокой чувствительностью, что позволяет ограничиваться для анализа поверхностным слоем вещества толщиной не более 50—100 Å (ангстрем). Это, между прочим, дает возможность исследовать процессы коррозии, адсорбции и другие поверхностные химические явления. Приборы для электронной спектроскопии являются непременной составной частью оснащения любой современной лаборатории, занимающейся химическим анализом. За развитие метода электронной спектроскопии Кай Сигбан был удостоен в 1981 г. Нобелевской премии по физике.

Первый эффект, вызванный рентгеновскими лучами (свечение флуоресцирующего экрана), Вильгельм Рентген наблюдал в ноябре 1895 г. В декабре он сделал предварительное сообщение об этом открытии, где, в частности, упоминалось, что лучи дают возможность получить изображение скелета человека. Первой рентгенограммой был рентгеновский снимок руки госпожи Рентген, на котором особенно четко выделялось золотое кольцо. Идея о применении рентгеновских лучей в медицине была встречена с энтузиазмом, и уже 20 января 1896 г. в Дартмуте (шт. Нью-Гэмпшир, США) врачи наблюдали с помощью рентгеновских лучей перелом руки пациента. Почти во всех университетских лабораториях того времени имелись катодно-лучевые трубки, которые немедленно были приспособлены для медицинских целей. Довольно быстро была создана и специальная рентгеновская аппаратура для врачебных нужд — было положено начало рентгенологии. Все это, однако, уже относилось к чисто инженерной работе, не интересовавшей теоретиков. В течение десятилетий рентгеновская диагностика

оставалась практически на неизменном уровне. Такое положение сохранялось до 1963 г., когда Аллан Кормак, физик из Кейптауна, разработал компьютерный метод рентгеновской томографии. В то время еще не было, однако, достаточно совершенных компьютеров, поэтому идея Кормака реализовалась лишь в 1969 г. Это сделал английский инженер Годфри Хаунсфилд, создав первый действующий аппарат.

При сканирующей томографии тонкий пучок рентгеновских лучей проходит через тело человека и регистрируется детектором. Поскольку ткани тела поглощают излучение, интенсивность пучка уменьшается. На практике используются тысячи детекторов, показания которых автоматически записываются на магнитную ленту. Компьютер обрабатывает данные, и на его выходе получается цветное телевизионное изображение, показывающее детальное строение внутренних органов. Обычные рентгеновские аппараты способны зарегистрировать разницу в поглощении рентгеновских лучей (или, по существу, разницу в плотности тканей) порядка $1/50$. Компьютерный томограф улавливает разницу в поглощении порядка $1/1000$. Его шкала охватывает диапазон плотностей от тысячи до тысячной доли плотности воды, что позволяет регистрировать поглощение рентгеновских лучей различными веществами — от воздуха до кости. Единица плотности, характеризующая степень поглощения веществом рентгеновских лучей, получила название «хаунсфилд». Например, коэффициент поглощения печени лежит в пределах 30—60, селезенки 45—70. Очаги воспаленных тканей и опухоли более прозрачны для рентгеновских лучей, нежели здоровые ткани. Обычным рентгеновским аппаратом эта разница почти не улавливается, а при исследованиях с помощью компьютерного томографа она отчетливо видна; этот аппарат позволяет обнаруживать опухоли размером с булавочную головку.

Компьютерная томография произвела подлинную революцию в методах медицинской диагностики. Она резко увеличила возможность ранней диагностики, что, безусловно, повышает шансы на вылечивание. Врачи очень высоко оценили метод компьютерной томографии, и, считаясь с общественным мнением, Нобелевский комитет при Каролинском институте вынужден был присудить в 1979 г. премию по медицине физику и инженеру — Аллану Кормаку и Годфри Хаунсфилду.

III ИЗОТОПЫ

В 1902—1903 гг. английский исследователь новозеландского происхождения Эрнест Резерфорд вместе со своим сотрудником Фредериком Содди разработал теорию радиоактивного распада и установил закон превращения радиоактивных элементов. Эта теория связывала радиоактивные превращения с двумя известными тогда видами естественной радиоактивности — альфа- и бета-лучами, которые были открыты Резерфордом в 1899 г.

Исследуя эти лучи, английский ученый установил, что альфа-лучи состоят из ядер гелия, а бета-лучи представляют собой поток электронов. В соответствии с этим было обнаружено, что при испускании радиоактивным элементом альфа-лучей образуется новый элемент, стоящий в периодической таблице на две клетки левее, а при бета-распаде возникает элемент, стоящий на одну клетку правее исходного. Подробные исследования показали, что в ходе таких превращений природные радиоактивные элементы претерпевают серию распадов и порождают целую группу новых элементов. Работы Резерфорда в значительной степени стимулировали развитие этой новой области науки, и в 1908 г. ему была присуждена Нобелевская премия по химии. По этому поводу ученый не раз шутил, что из всех превращений, которые ему довелось наблюдать, самым удивительным и неожиданным было его собственное превращение из физика в химика.

Решение дать физику премию по химии было принято после совместного обсуждения этого вопроса Нобелевскими комитетами по физике и химии. Эксперты пришли к выводу, что работы Резерфорда чрезвычайно важны именно для химии, ибо как бы воплощают в себе осуществление старой мечты алхимиков о превращениях элементов. Это один из многих примеров в истории присуждения Нобелевских премий, когда исследования того или иного

ученого оказывается невозможным вмести́ть в рамки традиционного разделения наук.

В конце первого десятилетия нашего века при исследовании процессов радиоактивного распада были собраны интересные данные, в корне изменившие представление о химическом элементе, утвердившееся в XIX в., согласно которому считалось, что все атомы данного элемента одинаковы и неделимы. После того как обнаружилось, что атомы элемента могут распадаться, было установлено, что не все они одинаковы.

При распаде радиоактивного элемента образуется целое семейство новых элементов. Было установлено, что некоторые из этих веществ настолько сходны по своим свойствам, что не могут быть разделены химическим путем. Этот вопрос исследовал Фредерик Содди, сотрудник Резерфорда в Мак-Гиллском университете в Монреале, где и была создана теория радиоактивного распада. В 1913 г. Содди независимо от Казимежа Фаянса сформулировал правило смещения при радиоактивном распаде (закон Содди — Фаянса).

Фредерик Содди показал, что атомы одного и того же элемента, имеющие одинаковый порядковый номер в таблице Менделеева (т. е. одинаковый электрический заряд ядра), могут иметь различную массу. Поскольку такие атомы обладают одинаковыми химическими свойствами и занимают одно и то же место в периодической таблице, Содди назвал их «изотопами» (от греч. *iso* — одинаковый и *topos* — место). Двумя годами раньше, в 1911 г., Резерфорд предложил планетарную модель атома, согласно которой атом состоит из расположенного в центре ядра, вокруг которого по определенным орбитам обращаются электроны. Однако тогда предполагалось, что электроны, по-видимому, имеются и в самом ядре, частично нейтрализуя заряд протонов. Через 20 лет, когда был открыт нейтрон и стал известен состав атомного ядра, существование изотопов получило свое логическое и простое объяснение. Атомы одного и того же химического элемента имеют в ядре одинаковое число протонов и столько же электронов, обращающихся вокруг ядра, вследствие чего атом электрически нейтрален. Но эти атомы могут различаться по числу нейтронов в ядре, чем и объясняется различие в их атомных массах, которое тем не менее почти не сказывается на их химических свойствах. Как говорил сам Фредерик Содди, изотопы

одинаковы «снаружи», но различны «внутри». За большой вклад в исследование атомов Фредерик Содди был удостоен в 1921 г. Нобелевской премии по химии.

Согласно уставу Нобелевского фонда, вручение премии может задержаться на год. Именно так произошло в 1921 г. На следующий год был объявлен новый лауреат, и Содди получил премию одновременно с другим английским физиком — Фрэнсисом Уильямом Астоном, которому в 1922 г. была присуждена Нобелевская премия по химии за разработку методов разделения изотопов; Астон сконструировал масс-спектрограф, открыл большое число стабильных изотопов и изучил их особенности.

Химическая тождественность изотопов (т. е. невозможность отличить их химическим путем) на протяжении длительного времени вносила путаницу в исследования химических элементов. Еще в 1815 г. англичанин Уильям Праут высказал оригинальную мысль, что атомы всех химических элементов построены из атомов водорода. Он заметил, что атомная масса любого элемента приблизительно кратна атомной массе водорода, которую можно принять за единицу. Однако несколько десятилетий спустя, когда точность измерений существенно возросла. Йенс Якоб Берцелиус, Жан Серве Стас и другие известные химики установили, что атомные массы отнюдь не измеряются целыми числами. Например, атомная масса хлора равна 35,5, и, поскольку невозможно представить, что атом хлора состоит из 35,5 атома водорода, замечательнейшая догадка Праута была отвергнута.

Долгое время считалось, что после обширных исследований, проведенных в 60-х годах прошлого века Жаном Стасом, уже ничего нельзя добавить к имеющимся данным по атомным массам. Но в дальнейшем выяснилось, что его методика была недостаточно совершенной. В конце прошлого века определением атомных масс занялся американский химик Теодор Уильям Ричардс, используя для этой цели значительно более чистые вещества и реактивы; эти исследования привели к переоценке численных значений атомных масс ряда элементов. За свою работу Ричардс был удостоен в 1914 г. Нобелевской премии по химии, которая, однако, была вручена ему через год. Данные Ричардса сыграли важную роль при изучении изотопов.

Открытие изотопов позволило объяснить, почему атом-

ные массы химических элементов не выражаются целыми числами. Разумеется, в ядре не может содержаться половина протона, и нецелочисленное значение атомной массы, в сущности, показывает, что любой природный элемент представляет собой смесь изотопов с различными атомными массами. После того как удалось разделить изотопы, выяснилось, что атомная масса каждого из них действительно выражается целым числом, показывающим общее число протонов и нейтронов в ядре.

Пионером в создании методов разделения изотопов был Фрэнсис Уильям Астон. В 1913 г. он предложил для этого метод газовой диффузии. Хотя изотопы химически идентичны, они различаются по своей массе, что влияет на скорость их диффузии и некоторые другие физико-химические характеристики. Метод газовой диффузии сегодня широко используется в химической технологии для получения радиоактивных изотопов, используемых в атомной энергетике.

Более важным открытием Астона является, однако, электромагнитный метод разделения изотопов. Он основан на простой идее: отклонение ионизованных атомов (ионов) в электрическом или магнитном поле должно зависеть от их массы. В 1919 г. Астон сконструировал свой первый масс-спектрограф. В этом приборе пучок ионов, пройдя через электрическое и магнитное поля, падал на фотопленку, на которой записывался так называемый масс-спектр. Этот прибор произвел революцию в исследовании изотопов, так как их разделение отныне свелось к простой лабораторной операции. За работы в области исследования изотопов Астон получил в 1922 г. Нобелевскую премию по химии.

Благодаря исследованиям Астона ученые пришли к одному довольно интересному открытию, толчком к которому послужили не особенно точные результаты, полученные с помощью первых масс-спектрографов. В 1929 г. Джиок и Джонстон обнаружили, что кислород имеет изотопы. Это явилось большим ударом для всей химии, так как за атомную единицу массы в химии тогда была принята $1/16$ массы атома кислорода. Это заставило внести поправки в численные значения атомных и молекулярных масс, и оказалось, что атомная масса водорода оказывается различной в зависимости от того, определяется она химическим путем или методом Астона. Ученые стали подозревать, что и водород имеет изотопы.

Этим вопросом занялся молодой американский исследователь Гарольд Клейтон Юри. В начале 30-х годов он теоретически доказал, что если жидкий водород испаряется при низкой температуре, то в оставшейся жидкости постепенно возрастает доля «тяжелого» водорода. Действительно, в дальнейших опытах, произведя испарение 4 л водорода, Юри смог получить несколько кубических сантиметров его тяжелого изотопа.

Если нейтрон добавляется к атому с большой атомной массой, то новый изотоп с химической точки зрения не отличается от первоначального. Однако если нейтрон добавляется к атому с атомной массой, равной единице, то масса атома удваивается, и эту разницу уже можно заметить химическими методами. Действительно, Гарольд Юри показал, что тяжелый водород (который он назвал дейтерием) существенно отличается по своим свойствам от обычного водорода. Продолжая свои теоретические исследования, Юри установил, что при электролизе воды в жидком остатке накапливается так называемая тяжелая вода — соединение дейтерия с кислородом. Юри Э. Уошберн из Бюро стандартов в Вашингтоне разработал эффективные методы для получения тяжелого водорода, а известный химик Гильберт Ньютон Льюис впервые получил чистую тяжелую воду.

За открытие тяжелого водорода (дейтерия) Гарольд Клейтон Юри в 1934 г. получил Нобелевскую премию по химии. Возникла весьма пикантная ситуация, ибо как раз в то время Астон пересмотрел свои данные по масс-спектрографии водорода: оказалось, что различие результатов не столь велико, чтобы предполагать существование изотопов этого элемента. Вот интересный пример того, как ошибка в науке может стимулировать открытие.

Меченые атомы

Широкому применению изотопов в разного рода исследованиях во многом способствовало открытие, сделанное Дьёрдем (Георгом) Хевеши, одним из ассистентов Резерфорда. Он родился в 1885 г. в Будапеште, окончил Фрейбургский университет, работал в Цюрихском политехникуме, а в 1912 г. начал работать у Резерфорда в Манчестерском университете. Там и зародилась идея исполь-

зования радиоактивных изотопов для того, чтобы метить химические элементы. В 1915 г. Хевеши вместе с австрийским химиком Фридрихом Адольфом Панетом подробно разработал этот вопрос.

Первоначально метод меченых атомов был применен для изучения механизма химических реакций. Используя излучение радиоактивного изотопа как индикатор, можно было установить, в какие молекулы переходит меченый атом. Впоследствии Хевеши успешно использовал радиоактивные изотопы и в физиологии — для исследования химических процессов, протекающих в живых организмах. Добавление малых количеств меченых атомов в пищу лабораторных животных или почву вблизи растений позволяло проследить путь атомов в сложных системах реакций обмена веществ организма.

Многие годы широкое внедрение меченых атомов в химические и биологические исследования сдерживалось тем, что природных радиоактивных изотопов очень мало; к тому же необходимы были такие меченые атомы, которые своим излучением не могут сильно повредить клетку, а являются биогенными элементами, т. е. в естественной форме входят в состав организмов. Перелом в этой области наступил после открытия Фредериком и Ирен Жолио-Кюри искусственной радиоактивности. Это крупное открытие было сделано в январе 1934 г. Облучая алюминиевую фольгу альфа-частицами, французские исследователи обнаружили, что после облучения мишень сама становится источником излучения. Анализ показал, что получают новые изотопы, которые в большинстве своем радиоактивны. В следующем, 1935 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри получили Нобелевскую премию по химии за открытие искусственной радиоактивности.

Возможность создания радиоактивных изотопов по желанию исследователя вдохнула новую жизнь в метод меченых атомов. Хевеши был вынужден работать с радиоактивным свинцом, являющимся продуктом естественного распада урана. После того как стало возможным получать радиоактивный углерод, азот, фосфор и т. д., меченые атомы нашли широкое применение в медицине, физиологии и, конечно же, в химии. Большая заслуга в этом принадлежала Дьёрдо Хевеши, и в 1943 г. он был удостоен Нобелевской премии по химии.

С радиоактивными изотопами связано одно из замечательных открытий нашего века: Земля имеет свои ра-

дисактивные «часы». Все началось с простого исследования, целью которого было определить относительное содержание в живых организмах радиоактивных и обычных изотопов углерода.

В 1939 г. было обнаружено, что космические лучи, попадая в земную атмосферу, создают потоки вторичных частиц. В результате этого происходит превращение нерадиоактивного азота-15 в радиоактивный углерод-14. Указанный процесс идет непрерывно, но, несмотря на это, количество радиоактивного углерода в атмосфере минимально. В момент возникновения эти атомы, имеющие очень высокую энергию, сразу же вступают в реакцию с кислородом, образуя двуокись углерода или углекислый газ. Последний усваивается растениями и от них переходит к животным. Таким образом, в биосфере в целом поддерживается постоянная концентрация углерода-14.

Все это было установлено к 1946 г. группой исследователей, в которую входил и американский физик Уиллард Фрэнк Либби. Ученый задался вопросом: что происходит с радиоактивным углеродом после смерти организма? Поскольку обмен веществ прекращается, углерод-14 в организм более не поступает. А содержащийся в организме изотоп начинает распадаться: в соответствии с периодом полураспада углерода-14 его количество уменьшается вдвое за 5600 лет. Очевидно, по относительному содержанию углерода-14 в ископаемых останках и живых организмах можно судить о возрасте останков.

Идея очень проста, но для создания точного и удобного метода датирования потребовались большие усилия. Современный метод радиоуглеродной геохронологии (определение геологического возраста органических объектов по содержанию в них радиоуглерода-14) позволяет определять возраст объектов в пределах 200—50 000 лет. Атомы изотопа выделяются с помощью масс-спектрографа, а для анализа достаточно нескольких граммов вещества. На сегодня это один из основных методов датирования в археологии.

Попытка определения возраста древних останков с помощью углерода-14 оказалась настолько успешной, что это подтолкнуло на поиски других радиоактивных изотопов, удобных для этих целей. Сейчас в распоряжении ученых имеются радиоактивные часы для Вселенной, измеряющие периоды времени в миллионы и миллиарды

лет. Создана прочная основа для датирования археологических, геологических и космических событий.

За свое замечательное открытие Уиллард Фрэнк Либби был удостоен в 1960 г. Нобелевской премии по химии. При вручении премии отмечалось, что редко открытие, сделанное в области химии, способно оказать столь широкое влияние на мышление и представления людей.

Мечта алхимиков

В 30-е годы нынешнего столетия многие ученые занимались исследованиями по искусственному превращению химических элементов. Первые успешные эксперименты такого рода были проведены Резерфордом еще в 1919 г. Он осуществил первую искусственную ядерную реакцию, превратив азот в кислород.

В начале 30-х годов Ирен и Фредерик Жолио-Кюри, используя альфа-частицы высокой энергии, получили большое число радиоактивных изотопов. Почти в то же время итальянский физик Энрико Ферми сообщил о результатах бомбардировки атомов медленными нейтронами. Попадая в ядро атома, нейтрон вызывает альфа- или бета-распад или просто присоединяется к другим нейтронам ядра. В зависимости от этого образуются различные элементы и изотопы. Ферми установил, что реакция идет более успешно при бомбардировке медленными нейтронами. Он нашел способ замедления нейтронов, пропуская их через такие богатые протонами вещества, как вода, парафин и т. д., и теоретически объяснил этот процесс.

Энрико Ферми с сотрудниками занимались получением новых, так называемых трансурановых элементов — стоящих в периодической таблице за ураном; с этой целью производилось облучение урана нейтронами. К счастью, эти попытки не принесли тогда ожидаемых результатов — в противном случае мы, возможно, имели бы атомную бомбу перед второй мировой войной. За открытие искусственной радиоактивности, обусловленной нейтронами, и другие достижения в исследовании искусственного превращения атомов Энрико Ферми получил в 1938 г. Нобелевскую премию по физике. В это же время в Берлине под руководством Отто Гана проводились решающие эксперименты по расщеплению атома урана.

К 1937 г. немецкий физик Отто Ган и его сотрудница Лизе Майтнер также занимались получением новых элементов. Вначале они считали, что эти исследования помогут продолжить периодическую таблицу, внося в нее новые элементы. В 1938 г. Ган и его ассистент химик Фриц Штрасман неожиданно обнаружили среди продуктов распада, полученных при бомбардировке нейтронами урана и тория, элемент барий. Одновременно с ними во Франции Ирен Жолио-Кюри, работавшая с югославским физиком Павле Савичем, открыла среди продуктов деления ядра урана лантан — элемент, который, как и барий, расположен в середине таблицы Менделеева.

В начале 1939 г. Отто Ган высказал предположение, что под ударами нейтронов ядро урана расщепляется на два ядра. Это явилось полной неожиданностью для ученых и произвело сенсацию в научном мире.

Дальнейшие исследования показали, что в процессе расщепления урана выделяется гигантское количество энергии. Почти одновременно и независимо друг от друга Энрико Ферми, Фредерик Жолио-Кюри и Лео Сцилард установили, что при распаде урана возникают 2—3 новых нейтрона. Ферми сразу же догадался, что в этом скрывается возможность осуществления цепной самоподдерживающейся реакции деления. И всего лишь через два года он реализовал свой замысел, построив первый атомный реактор. 2 декабря 1942 г. в Чикагском университете была осуществлена первая цепная реакция деления урана. Это был день, когда человек овладел атомной энергией. Через 12 лет в Советском Союзе (в городе Обнинске) начала действовать первая в мире атомная электростанция, которая использовала тепло, полученное в атомном реакторе. 16 июня 1945 г. в пустыне штата Нью-Мексико (США) было проведено испытание первой атомной бомбы. Физики выпустили джинна из бутылки.

Расщепление атома привело к созданию оружия невиданной разрушительной силы, но оно указывало и путь к решению энергетических проблем человечества. Именно учитывая эту грандиозную перспективу, Нобелевский комитет принял решение присудить Отто Гану Нобелевскую премию по химии за 1944 г.

Все эти открытия были сделаны в ходе опытов, направленных на получение трансурановых элементов. Эксперименты Резерфорда и других пионеров в этой области проводились с естественными источниками заряжен-

ных частиц — природными радиоактивными изотопами. Лишь в 1932 г. английский физик Джон Дуглас Кокрофт и ирландский физик Эрнест Томас Синтон Уолтон сконструировали так называемый каскадный генератор для ускорения заряженных частиц. Электрическое поле напряжением 700 тыс. эВ (электронвольт) сообщало частицам энергию, достаточную для проникновения в ядра легких элементов и начала ядерных реакций. Однако, несмотря на то что каскадный генератор явился большим достижением инженерного искусства, его возможности были ограничены. Требовалась принципиально новая идея.

Такую идею выдвинул в 1929 г. Эрнест Орlando Лоуренс, работавший в Калифорнийском университете в Беркли. Он разработал конструкцию магнитного резонансного ускорителя — циклотрона, где заряженные частицы двигались по спирали между полюсами большого электромагнита, поле которого изменялось синхронно с движением частиц. Первый циклотрон, построенный Лоуренсом в 1931 г., создавал разность потенциалов в 10 млн. В, что в 15 раз превышало напряжение в генераторе Уолтона и Кокрофта, тогда как напряжение, подаваемое на дуанты, составляло всего лишь несколько сотен тысяч вольт.

Почти одновременно с Лоуренсом шведский физик Густав Адольф Изинг также предложил способ ускорения заряженных частиц повторяющимися импульсами, однако при этом предполагалось, что частицы движутся по прямой. Этот замысел лег в основу конструкций линейных ускорителей.

Это один из примеров того, что большинство крупных открытий обычно делается не одним, а одновременно — и часто независимо — несколькими исследователями. Но, как мы уже говорили, Нобелевская премия индивидуальна. Возможно, было бы более правильным считать, что награждение одного ученого является символическим признанием усилий всего «невидимого коллектива» исследователей, большинство из которых остаются неизвестными широкой публике.

Циклотрон Лоуренса открыл новую эпоху в ядерной физике. Принципиально новый принцип ускорения заряженных частиц, предложенный в 1944 г. советским физиком Владимиром Иосифовичем Векслером и в 1945 г. независимо американским физиком Эдвином Маттисоном

Макмилланом, позволил значительно увеличить возможности ускорителей, и на сегодня главным ограничением здесь являются финансовые затраты. Сейчас в мире построены гигантские ускорители, в которых частицы получают энергию порядка миллиардов эВ. Строительство еще более мощных ускорителей — вопрос только времени.

За свое открытие Лоуренс был удостоен в 1939 г. Нобелевской премии по физике. Кокрофт и Уолтон в 1951 г. также стали лауреатами Нобелевской премии по физике. С помощью их каскадного ускорителя были осуществлены превращения ряда атомов легких элементов.

В мае 1940 г. Эдвин Макмиллан и его молодой ассистент Филипп Абельсон на циклотроне Лоуренса бомбардировали урановую мишень нейтронами. Химический анализ мишени показал наличие неизвестного элемента. Так был получен первый трансурановый элемент. Его назвали нептунием — по названию планеты Нептун, которая находится в Солнечной системе за планетой Уран. В таблице Менделеева новый элемент был внесен под номером 93. Одновременно с ними нептуний получили также Отто Ган и Лизе Майтнер, но в слишком малых количествах, чтобы его можно было исследовать химическим путем. К концу того же года Макмиллан вместе с Гленном Теодором Сиборгом открыли еще один элемент, получивший номер 94. Следуя той же логике, ученые назвали его плутонием (планета Плутон находится за Нептуном). Исследования нового элемента показали, что он, подобно урану, под действием медленных нейтронов может порождать цепную реакцию и, следовательно, пригоден как ядерное топливо.

Занятия современной алхимией пришлось по душе Гленну Сиборгу, и он с увлечением продолжил свои исследования. Спустя некоторое время были разработаны тончайшие методы химического анализа веществ, получаемых в ничтожно малых количествах. В 1942 г. Сиборг развил далее идею Макмиллана о том, что трансурановые элементы образуют группу, подобную так называемым редкоземельным элементам из группы лантана. Новое семейство элементов оказалось в группе актиния. Сходство между актиноидами и лантаноидами явилось еще одним блестящим подтверждением периодической таблицы химических элементов.

При участии Сиборга был синтезирован ряд транс-

урановых элементов. В 1951 г. он и Макмиллан стали лауреатами Нобелевской премии по химии за открытие плутония. Сиборг и после этого продолжал активно заниматься работой по синтезу трансураниевых элементов. Последним элементом, в синтезе которого он принял активное участие, был элемент под номером 101 (менделевий), полученный в 1955 г.

В дальнейшем группа трансураниевых элементов продолжала пополняться. Были получены элементы под номерами 102 (нобелий), 103 (лоуренсий) и 104 (курчатовий). Последнее время этот раздел радиохимии пребывает в застое. Но ученые не теряют надежды, что удастся синтезировать и другие элементы и что где-то в области элемента под номером 114 будет обнаружен «остров стабильности».

Модели ядра

В первое десятилетие нашего века физики уже довольно много знали об элементарном носителе электрического заряда — электроны. Из химических экспериментов и физических исследований каналовых лучей было известно, что наименьшим носителем положительного заряда является ион водорода. Это было установлено Вином в 1898 г. и окончательно доказано в 1914 г., когда Резерфорд открыл частицу, названную им протоном.

Из этих двух типов частиц, связанных силами электромагнитного взаимодействия, физики строили модели не только атомов, но и атомного ядра. Было установлено, что массы атомных ядер обычно превышают общую массу протонов, которые должны были бы находиться в ядре, чтобы обеспечить электрическую нейтральность атома (положительный заряд протонов должен компенсировать отрицательный заряд электронов в атоме). Ученые высказали предположение о существовании внутриядерных электронов, которые нейтрализуют часть заряда протонов. Эта схема, между прочим, была использована для объяснения бета-распада, при котором ядра «выбрасывают» электроны.

Первая модель атомного ядра была весьма искусственной, но в арсенале физики того времени просто не было ничего более подходящего. Вскоре были получены данные, которые уже не удавалось объяснить с помощью такой модели. К их числу относится так называемая «азот-

ная катастрофа». Некоторые характеристики ядер азота, в частности их спин, невозможно было объяснить на основе старой модели. В теории наступил кризис. Он был преодолен лишь в начале 30-х годов, когда было доказано, что в атомном ядре кроме протонов есть и другие частицы (но не электроны).

В 1919 г., облучая азот альфа-частицами, Резерфорд получил кислород. Эта была первая ядерная реакция по искусственному превращению элементов. Одиннадцать лет спустя в подобном эксперименте Вальтер Боте вместе со своим сотрудником Г. Бекером, облучая альфа-частицами различные элементы, получили исключительно сильное вторичное излучение, которое они приняли за жесткие гамма-лучи. Особенно сильный эффект наблюдался при использовании мишени из бериллия. В то время ученые находились под впечатлением открытия Артура Комптона, который установил, что рентгеновские лучи выбивают из вещества электроны. Поэтому, когда в 1932 г. супруги Жолио-Кюри, исследуя прохождение излучения бериллия через вещества, богатые водородом, наблюдали образование интенсивных потоков протонов, они истолковали это как чрезвычайно сильный эффект Комптона, при котором рентгеновский квант, имеющий очень большую энергию, отрывает протон от атома. Однако английский исследователь Джеймс Чедвик предложил новое объяснение наблюдаемым явлениям.

Этот ученик и сотрудник Резерфорда также исследовал образование протонов под действием излучения бериллия и пришел к выводу, что наблюдаемый эффект трудно объяснить воздействием гамма-квантов. Вместе с тем все трудности исчезали, если предположить, что излучение бериллия состоит из частиц с массой, равной единице (т. е. массе протона), но не имеющих электрического заряда. Так были открыты нейтроны, существование которых Резерфорд предсказывал еще в 1920 г. Результаты экспериментов, проведенных Чедвиком в Кавендишской лаборатории в Кембридже, были опубликованы им в 1932 г.

Открытие нейтрона стало поворотным пунктом в истории современной ядерной физики. Теоретикам пришлось отказаться от модели атомного ядра, состоящего из протонов и электронов, связанных электромагнитными силами. Это представление, господствовавшее почти полвека, уступило место новой концепции; новые

(нейтральные) частицы требовали поиска новых сил взаимодействия. За открытие нейтрона Джеймс Чедвик был удостоен в 1935 г. Нобелевской премии по физике.

Сразу же после открытия нейтрона возник вопрос, какие силы удерживают эту частицу в ядре вместе с протоном. Предлагались модели взаимодействия, основанные на переходах нейтронов в протоны и обратно с испусканием позитронов, электронов и нейтрино. Однако выяснилось, что эта модель, в которой опять-таки все объяснялось электромагнитным взаимодействием, не соответствовала действительности. Решение проблемы оказалось иным.

Японский физик Хидэки Юкава одним из первых понял, что здесь ученые столкнулись с новым видом взаимодействия. В 1935 г. он, развивая идеи И. Е. Тамма и Д. Д. Иваненко об обменном характере ядерных сил, выдвинул гипотезу, описывающую характер взаимодействия между протонами и нейтронами в ядре. Было очевидным, что новое взаимодействие значительно сильнее электромагнитного. Его сущность определила и само его название — сильное взаимодействие.

В отличие от уже известных гравитационного и электромагнитного взаимодействий сильное взаимодействие, согласно теории Юкавы, должно возникать только на очень малых расстояниях — порядка диаметра атомного ядра. На основе квантовой теории Юкава вычислил, что квантом сильного взаимодействия должна быть частица с массой, в 200—300 раз превышающей массу электрона. Поскольку в те годы такой частицы не было известно, теория Юкавы не получила особого признания. Однако в 1937 г. Карл Дейвид Андерсон и С. Неддермейер из Калифорнийского технологического института, а также Стрийт и Стивенсон из Гарвардского университета открыли неизвестную частицу примерно в 200 раз тяжелее электрона. По своим характеристикам она весьма напоминала гипотетическую частицу Юкавы — квант сильного взаимодействия. Так как новая частица во многом, за исключением массы, была похожа на электрон, Андерсон назвал ее просто тяжелым электроном. Поскольку масса этой частицы занимала промежуточное положение между массами электрона и протона, ее назвали затем мезотроном, а потом мезоном.

Однако окончательные доказательства того, что найдена именно «частица Юкавы», отсутствовали. Война по-

мешала этим исследованиям, и вопрос был решен лишь в 1947 г., когда группа исследователей под руководством Сесила Франка Пауэлла доказала, что существуют мезоны нескольких видов и одним из них действительно является квант сильного взаимодействия. Так теория Юкавы о существовании нового типа взаимодействия, связывающего тяжелые частицы в атомном ядре, получила свое подтверждение, и в 1949 г. Хидэки Юкава стал лауреатом Нобелевской премии по физике *.

Магические числа

В 1928 г. американский физик-теоретик Г. А. Гамов, разрабатывая теорию альфа-распада, ввел представление о ядре как о своеобразной капле, частицы в которой тесно связаны между собой силами притяжения. В 1936 г. Нильс Бор и Джон Уилер, развивая идеи Гамова, создали капельную модель ядра. Аналогия довольно-таки наглядна. Между молекулами в капле воды силы притяжения действуют, как и ядерные силы, на очень коротких расстояниях. Если каплю воды опустить в другую жидкость такой же плотности, то она принимает сферическую форму. Это объясняется поверхностным натяжением, которое создается силами притяжения, действующими между молекулами на поверхности капли. Эти силы притяжения и придают капле форму сферы, которая имеет минимальную площадь.

В исключительно малом объеме атомного ядра находится значительное число протонов и нейтронов. Они связаны между собой сильным ядерным взаимодействием. Поверхностный слой нуклонов остается неуравновешенным, и поэтому можно говорить, что в ядре также существует своего рода поверхностное натяжение. В реальных условиях эта картина усложняется взаимным отталкиванием электрически заряженных протонов. Поскольку ядра имеют различное число протонов и нейтронов, сильное и электромагнитное взаимодействия накладываются и в конечном счете ядро приобретает неправильную форму. Некоторые ядра имеют довольно удлиненную форму, и даже такое слабое воздействие, как попадание в ядро извне еще одного нейтрона, может нарушить

* С. Ф. Пауэлл получил Нобелевскую премию по физике в 1950 г.— *Прим. ред.*

равновесие и привести к разделению ядра на части. Эта теория, довольно хорошо объясняющая деление атомов, была предложена Бором и Уилером в 1939 г.

Капельная модель ядра сыграла большую роль в экспериментальной физике и многие годы пользовалась большой популярностью среди ученых. Накапливались, однако, факты, которые не могли найти объяснения в рамках этой простой схемы. Уже в 1934 г. молодой немецкий физик Вальтер Эльзассер установил, что ядра, в которых число нуклонов, протонов или нейтронов равно 2, 8, 20, 50, 82 или 126, обладают особой стабильностью. Поскольку физики не находили объяснения этому явлению, эти числа были названы «магическими». Наиболее устойчивыми оказались ядра, в которых число нуклонов было «дважды магическим». К ним относятся, например, ядра гелия-4 (2 нейтрона и 2 протона), кислорода-16 (8 протонов и 8 нейтронов) и свинца-208 (82 протона и 126 нейтронов). Эти факты наряду с другими дали основание американскому физiku А. Бартлету предложить оболочечную модель ядра. Эта идея, однако, существенно опережала свое время и поэтому не нашла тогда поддержки. В 1949 г. представления физиков об атомном ядре значительно углубились, и оболочечная модель ядра, предложенная Марией Гёпперт-Майер и независимо Йоханнесом Хансом Даниелем Йенсенем, привлекла всеобщее внимание ученых.

Согласно их теории, нуклоны движутся в ядре по определенным орбитам, подобно электронам в атоме. И так же как строение электронной оболочки и ее постепенное заполнение служат основой периодической системы элементов, магические числа в сочетании с оболочечной моделью ядра привели к созданию периодической системы ядер. Магическое число показывает, какое максимальное число нуклонов может быть в следующем слое. Сначала эта теория принималась с трудом. Физики не могли допустить, что в сверхплотном ядре протоны и нейтроны движутся независимо друг от друга и сохраняют какую-то упорядоченность. Но оболочечная модель хорошо объясняла некоторые явления, в частности связанные с устойчивостью атома, и в 50-е годы получила признание большинства ученых. За создание оболочечной модели ядра Мария Гёпперт-Майер и Йоханнес Йенсен были удостоены в 1963 г. Нобелевской премии по физике.

Вместе с ними был награжден и американский физик

венгерского происхождения Юджин Поль Вигнер. Его научная деятельность связана с квантовой механикой и электродинамикой, с физикой ядра и элементарных частиц. Еще в 1933 г. он доказал, что ядерные силы должны иметь небольшой радиус действия. Впоследствии он публикует и другие работы, связанные с взаимодействием между нуклонами. Вигнер участвовал в работе группы Ферми, которая в 1942 г. пустила первый американский атомный реактор. В конце 40-х и в 50-е годы он публикует важные работы по физике элементарных частиц. За большой вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц, особенно за применение фундаментальных принципов симметрии, Вигнеру была присуждена в 1963 г. Нобелевская премия по физике.

История науки знает много примеров того, как среди ученых периодически распространяется увлечение сначала одной теорией, а затем ее противоположностью. Обычно это заканчивается созданием некой «гибридной» теории, которая объединяет в себе положительные качества предыдущих точек зрения и знаменует новый, более высокий уровень знаний.

Так было и с представлениями об атомном ядре. На смену капельной модели Гамова, Бора и Уилера пришла оболочечная модель, которая ставила поведение протонов и нейтронов в атомном ядре в очень жесткие рамки. Но уже в 1952 г. датские физики Оге Бор, сын Нильса Бора, и Бенжамин Моттельсон разработали так называемую коллективную модель ядра. Немного раньше их, в 1950 г., подобные идеи (сфероидальная модель ядра) высказал американский физик Джеймс Рейнуотер. Согласно коллективной модели, ядро действительно состоит из оболочек, которые постепенно заполняются при переходе к каждому следующему элементу периодической системы. На поверхности ядра эта упорядоченность, однако, нарушается — плотность частиц уменьшается и создаются условия для неустойчивости. Именно в этой области, около поверхности, ядра деформируются; в результате возникают своего рода волны, с которыми связаны ядерное гамма-излучение и радиоактивность.

Данные о структуре ядра были получены путем бомбардировки мишеней субатомными частицами, ускоренными до очень высоких энергий. Картина рассеяния дает представление о распределении протонов и нейтронов внутри ядра. Наряду с этим применялся также метод

мезоатомов. В 1953 г. Рейнуотер решил воспользоваться тем обстоятельством, что мю-мезон (который в сущности является тяжелым электроном), попадая в атом, достигает ядра и даже проникает в него. При этом возникает рентгеновское излучение, позволяющее получить информацию о различных структурах ядра. Таким образом было, например, установлено, что ядра имеют «стратосферу» — область вблизи поверхности, в которой плотность частиц в 20 раз меньше, чем в центре.

В 1958 г. Оге Бор и Бенжамин Моттelson совместно с Дэвидом Пайнсом построили сверхтекучую модель ядра. Это значительно обогатило их теорию, приблизив ее к реальности. За большие заслуги в развитии ядерной физики О. Бор, Б. Моттelson и Дж. Рейнуотер были награждены в 1975 г. Нобелевской премией по физике.

IV КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Основной метод, которым пользуются физики для исследования структуры материи,— это бомбардировка вещества заряженными частицами высоких энергий. Таким способом удается преодолеть силы отталкивания и получить информацию о внутреннем строении атома. Первым крупным открытием, сделанным таким образом, является наблюдение Резерфордом рассеяния альфа-частиц атомами различных элементов, которое привело к открытию атомного ядра. В 30-е годы были построены ускорители частиц, с помощью которых было сделано много новых открытий. Однако далеко не сразу новая техника достигла желаемого совершенства. Между тем физики обнаружили мощный естественный источник заряженных частиц, позволивший получить ценные сведения о строении атома. Речь идет о космических лучах.

В начале текущего столетия ученые уже немало знали об альфа-, бета- и гамма-лучах — трех разновидностях естественной радиации. Было установлено, что радиоактивные элементы довольно широко распространены в земной коре и создают естественный радиоактивный фон. Ученые считали совершенно логичным, что по мере подъема над земной поверхностью поток радиации должен уменьшаться. Это нашло подтверждение в исследованиях немецкого физика Т. Вульфа, который, поднявшись в 1910 г. на Эйфелеву башню, измерил там радиоактивный фон с помощью электроскопа новой модели.

Всего через год, в 1911 г., молодой австрийский физик Виктор Франц Гесс решил исследовать это явление на больших высотах, используя воздушный шар. В семи полетах на высоте до 5 км Гесс установил, что действительно сначала радиоактивность уменьшается, но с высоты примерно 600 м она начинает расти. В 1912 г. он опубликовал результаты своих весьма точных измерений, из которых следовало, что в земную атмосферу

проникает мощная радиация. Открытие австрийского ученого вызвало бурные дискуссии в научной среде. Некоторые видные физики считали, что повышенная радиация на больших высотах объясняется какими-то атмосферными процессами или же облаками пыли, поднимающимися с поверхности Земли.

Внеземное происхождение лучей было окончательно доказано известным американским физиком-экспериментатором Робертом Эндрусом Милликеном. Он использовал воздушные шары с самозаписывающими электроскопами, которые достигали высоты до 15 км и летали там в течение длительного времени. Позднее Милликен провел новый эксперимент. Поскольку источник радиации искали в космосе, Милликен установил детекторы в озерах, расположенных на разной высоте над уровнем моря, и, исследуя поглощение лучей слоем воды, окончательно доказал их внеземное происхождение. Он дал этой радиации название «космические лучи» и попытался связать их происхождение с процессами образования химических элементов (теория, которая впоследствии была отвергнута).

Проникающая сила космических лучей значительно больше естественной радиации минералов или потоков заряженных частиц, полученных на первых небольших ускорителях. Физики решили воспользоваться этим естественным «ускорителем» частиц, и на протяжении почти двух десятилетий исследования с помощью космических лучей служили важнейшим источником информации о строении атома.

В 1928 г. Поль Адриен Морис Дирак построил релятивистскую теорию движения электрона. Из теории Дирака следовала возможность существования положительно заряженного электрона. В то время уже широко велись исследования космических лучей, и в 1932 г. американский физик Карл Дейвид Андерсон открыл частицу с массой электрона, но с положительным электрическим зарядом. Это наблюдение было сделано с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле. Новая частица была названа положительным электроном, или позитроном. При дальнейших исследованиях этой частицы обнаружилось, что при столкновении ее с электроном происходит их аннигиляция (исчезновение частиц) и возникает гамма-излучение. Был открыт и обратный процесс — рождение электронно-позитронной пары из гам-

ма-излучения. Так была доказана справедливость идеи Эйнштейна о связи массы и энергии.

Открытие позитрона явилось блестящим подтверждением чисто теоретического предсказания. Оно продемонстрировало также большое значение космических лучей как источника частиц высокой энергии, позволяющих изучать строение вещества. Эти результаты были высоко оценены Нобелевским комитетом по физике, который в 1936 г. принял решение о присуждении премии Виктору Францу Гессу за открытие космических лучей и Карлу Дейvidу Андерсону за открытие позитронов в этих лучах.

Позитрон был открыт в результате тщательного изучения тысяч фотографий следов (треков) частиц, которые были получены с помощью камеры Вильсона. Действие камеры основано на конденсации перенасыщенного пара на ионах, образующихся вдоль траекторий заряженных частиц. Этот замечательный прибор, сыгравший огромную роль в экспериментальной ядерной физике, был создан в 1912 г. английским ученым Чарлзом Томсоном Рисом Вильсоном, именем которого он и был назван.

Еще в конце прошлого века, после открытия естественной радиации, наметились основные методы ее исследования. Антуан Анри Беккерель использовал для этой цели фотопластинки, супруги Жолио-Кюри — электроскоп. В 1903 г. Уильям Крукс, будучи уже в весьма солидном возрасте (он родился в 1832 г.), создал прибор для регистрации отдельных альфа-частиц. Спинтарископ Крукса (с ним любил работать Резерфорд) представлял собой пластинку из сернистого цинка, на которой под ударами альфа-частиц возникали вспышки (сцинтилляции); от греческого «спинтар» (вспышка) и происходит название прибора. Главный прибор для исследования заряженных частиц был построен позже и действовал по совершенно иному принципу.

Основные интересы члена Лондонского королевского общества Чарльза Вильсона были сосредоточены на исследовании процессов конденсации водяных паров и образования облаков в атмосфере. Он разработал теорию, согласно которой каждый заряженный ион становится центром конденсации водяных паров воздуха. Поскольку наблюдать образование облаков «в натуре» — задача вряд ли выполнимая, Вильсон сконструировал камеру, в которой с помощью поршневого насоса можно было рез-

ко изменять объем и давление, создавая таким образом условия для конденсации пара.

Интерес к ионам неизбежно привел Вильсона к исследованию радиоактивности, ибо естественная раднация — один из важнейших факторов ионообразования в атмосфере. Оставалось сделать всего лишь один шаг, чтобы найти связь между этими явлениями. Вильсон установил, что радиоактивное излучение, проходя через камеру, вызывает образование ионов, которые становятся видимыми благодаря конденсирующимся вокруг них капелькам воды. Таким образом, невидимая частица оставляет в камере реально наблюдаемый след из водяных капелек, который можно сфотографировать.

Хотя и с известным опозданием, Чарлзу Томсону Рису Вильсону, создателю прибора, сыгравшего огромную роль в ядерной физике, в 1927 г. была присуждена Нобелевская премия по физике, которую он разделил с Артуром Комптоном. Они были награждены одновременно, поскольку эффект Комптона наблюдался в камере Вильсона.

С помощью камеры Вильсона Карл Андерсон открыл в 1932 г. позитрон. Камера была помещена в магнитное поле, которое вызывало искривление траектории заряженных частиц; это позволяло быстро и точно идентифицировать их. Через определенный интервал времени делались фотоснимки, на которых затем искали следы новых частиц. Были просмотрены тысячи фотографий, прежде чем на нескольких из них удалось обнаружить следы позитронов. Английский физик Патрик Мейнард Стюарт Блэкетт существенно усовершенствовал камеру Вильсона, что позволило ему достичь значительных результатов без больших затрат времени и фотоматериалов.

В 1932 г. Блэкетт вместе с итальянским физиком Джузеппе Станиславо Оккиалини соединил камеру Вильсона со счетчиками Гейгера — приборами, способными регистрировать даже отдельные частицы. Блэкетт установил один счетчик над камерой, а другой — под ней; электрическая схема была построена таким образом, что фотографирование производилось только в тот момент, когда оба счетчика одновременно давали сигнал, — это означало, что одна и та же частица прошла через них и, следовательно, в камере образовался ее след.

Такая автоматика значительно упростила исследования и дала возможность сделать много новых открытий.

С помощью своей камеры Блэкетт вместе с Оккиалини также наблюдали позитроны, причем намного более отчетливо, нежели Андерсон. Впоследствии их аппаратура позволила открыть некоторые другие элементарные частицы. За свой оригинальный вклад в экспериментальную ядерную физику Патрик Блэкетт был удостоен в 1948 г. Нобелевской премии по физике.

Новый метод регистрации частиц с использованием двух и более счетчиков, когда регистрация производится только при их одновременном включении, был предложен учеником Макса Планка, немецким физиком Вальтером Вильгельмом Георгом Боте. Так называемый метод совпадений, разработанный им в 1924 г. в Физико-техническом институте Берлинского университета, давал возможность выделить электрический импульс, порожденный отдельной частицей. В 1929 г. Боте использовал этот метод при исследовании космических лучей. В 1938 г. французский физик Пьер Виктор Оже, поставив несколько счетчиков в одну линию, точно определил направление прихода космических лучей и открыл широкие атмосферные ливни (потоки вторичных частиц, возникающие в атмосфере под действием космических лучей высокой энергии).

В 1954 г. Вальтер Боте стал лауреатом Нобелевской премии по физике (30 лет спустя после сделанного им открытия!) за исследования космических лучей. Он разделил награду с Максом Борном, другим крупнейшим физиком, награжденным за теоретические работы в области квантовой механики, выполненные еще в 20-х годах.

В 1937 г. в космических лучах была открыта новая частица, названная мезоном. Она значительно повысила интерес к теории Юкавы о сильном взаимодействии. Исследования в этом направлении были продолжены в 1946 г. английским физиком Сесилом Франком Пауэллом и его сотрудниками — бразильским физиком Чезаре Мансуэто Джулио Латтесом и Джузеппе Оккиалини.

Эти ученые исследовали космические лучи, используя новый метод регистрации треков частиц с помощью специальных фотопластинок с толстым эмульсионным слоем. Этим методом было открыто несколько видов мезонов; в частности, кроме тяжелого электрона Андерсона (мю-мезона) был обнаружен заряженный пи-мезон (пион). В 1948 г. Пауэлл вместе с Э. Гарднером впервые

получил мезоны искусственным путем, подтвердив свое открытие.

Уточненные данные показали, что мю-мезон, масса которого в 207 раз превосходит массу электрона, в действительности является частицей, не связанной с сильным взаимодействием. Переносчиками этого взаимодействия оказались пи-мезоны — частицы, которые живут лишь стомиллионную долю секунды, и поэтому их невозможно наблюдать с помощью камеры Вильсона. Масса пи-мезона примерно в 270 раз больше, чем у электрона.

Фотографический метод Сесила Пауэлла, с помощью которого фиксировали след частицы непосредственно на фотоэмульсии, позволил экспериментально доказать справедливость теории сильного взаимодействия Юкавы. В 1950 г. английский ученый стал лауреатом Нобелевской премии по физике за введенный им метод исследования частиц и открытие мезонов.

В последние годы космические лучи интересуют преимущественно астрофизиков. Для исследований в микромире используется другая техника. Вместе с тем ввиду непомерного удорожания ускорительной техники «небесный ускоритель» вновь начинает завоевывать популярность. В составе космических лучей встречаются частицы такой огромной энергии, какую не в состоянии обеспечить ни один ускоритель, построенный человеком. Правда, обнаружение таких частиц — явление чрезвычайно редкое, и подобные исследования требуют довольно много времени, однако это позволяет получать уникальные данные о микромире.

Элементарные частицы

Представление об атоме как о наименьшей, неделимой структурной частице вещества претерпело с конца прошлого столетия принципиальные изменения. Физики установили, что он представляет собой сложную структуру, состоящую из более мелких частиц.

Прежде всего был открыт электрон, который сравнительно легко отрывается от атома и, кроме того, участвует в процессах излучения света. В 1897 г. Джозеф Джон Томсон окончательно идентифицировал электрон и определил основные его характеристики. Тогда же было установлено, что элементарным носителем положительного заряда является ион водорода, который Резерфорд наз-

вал в 1914 г. протоном. Спустя шесть лет Резерфорд предсказал существование нейтрона, открытого Чедвиком в 1932 г. В том же году был обнаружен и предсказанный Дираком позитрон. Тем временем опыты Комптона показали, что фотон также можно рассматривать как частицу (эта мысль была высказана Эйнштейном еще в 1905 г.).

Чтобы объяснить некоторые особенности бета-распада, Вольфганг Паули в 1931 г. постулировал существование нейтральной частицы, чрезвычайно слабо взаимодействующей с веществом. Итальянский физик Энрико Ферми назвал ее «нейтрино» («маленький нейтрон»). Лишь в 1959 г. Фредерик Райнес и Клайд Лоррен Коуэн смогли обнаружить нейтрино.

В 1936 г. группа ученых, среди которых был и Андерсон, открыли первый мезон. Десять лет спустя Пауэлл, Латтес, Оккиалини и Мюирхед показали, что наряду с мю-мезонами существуют пи-мезоны. Именно последние, как потом обнаружилось, и связаны с ядерными взаимодействиями.

В 1944 г. Владимир Иосифович Векслер в Советском Союзе и Эдвин Маттисон Макмиллан в США предложили новые модели ускорителей, так называемые синхротроны, которые позволяли ускорять частицы до значительно более высоких энергий. Благодаря этим достижениям физики получили более широкие возможности для исследований, нежели при работе с космическими лучами. При соударении ускоренных частиц с мишенью возникали частицы, о существовании которых ученые и не предполагали. Так, в 1947 г. были открыты K -мезоны и гипероны.

Обнаружилось, что продолжительность жизни этих частиц в миллиарды раз превышает предсказанную теоретически. Это казалось очень странным, отсюда новые частицы и получили свое название — «странные», а их соответствующее свойство — странность. Позднее выяснилось, что странные частицы рождаются парами; разлетаясь в разные стороны, они не могут больше взаимодействовать. Этим и объясняется большая продолжительность их жизни. Если бы странные частицы оставались вместе, то они исчезали бы значительно быстрее, в точном соответствии с теорией.

С K -мезонами в 50-е годы была связана проблема тау-и тета-частиц. Обе они относятся к K -мезонам, причем тау-частица распадается на три пи-мезона, а тета-

частица — на два. В остальном эти два K -мезона одинаковы. Теоретики исходили из предположения, что одна из частиц имеет отрицательную четность, а другая — положительную. Этот вопрос был решен двумя физиками китайского происхождения, работавшими в Брукхейвенской национальной лаборатории США. Ли Цзундао и Янг Чжэньнин пришли к выводу, что четность не сохраняется в слабых взаимодействиях. В этом процессе вновь образовавшиеся частицы разлетаются в определенных направлениях. От их пространственной ориентации зависит и характер распада.

Это открытие вызвало настоящую сенсацию среди физиков, которые раньше принимали за аксиому, что взаимодействия в микромире характеризуются определенной пространственной симметрией. Нарушение этой симметрии указывало на какие-то новые, неизвестные свойства элементарных частиц. Нобелевский комитет по физике, оценив важность этого открытия, уже в 1957 г., всего год спустя после опубликования Ли и Янгом их результатов, присудил им Нобелевскую премию.

Из уравнений волновой механики Дирака вытекает существование не только положительного «электрона», но и отрицательного «протона». После открытия позитрона физикам стало ясно, что наряду с веществом должно существовать и антивещество, состоящее из античастиц. Антипротон, однако, удалось обнаружить лишь через 20 лет после открытия позитрона. Это сделали в 1955 г. Эмилио Джинно Сегре и Оуэн Чемберлен вместе с К. Вигандом и Т. Ипсилантисом на новом ускорителе (безатроне), построенном специально для поиска антипротона. Это было замечательным достижением, ибо теперь в принципе уже можно было бы получить антиводород. В 1956 г. на том же ускорителе был обнаружен и антинейтрон; он отличается от нейтрона лишь направлением магнитного момента.

Эти открытия значительно расширили представления о веществе и поставили вопрос: почему Вселенная построена из вещества и нет ли в ней областей, состоящих из антивещества? От ответа на него будет зависеть, какую модель эволюции Вселенной следует избрать. За открытие антипротона Чемберлен и Сегре были удостоены в 1959 г. Нобелевской премии по физике.

Эмилио Сегре осуществил немало интересных научных исследований и открытий, принесших ему известность.

Некоторые из его коллег высказали сожаление, что Нобелевская премия была присуждена ему за открытие антипротона, т. е. за результат, который, по их мнению, доступен любому при наличии такой машины, как бетатрон; они полагали, что Сегре был достоин этой награды и за другие, более фундаментальные результаты.

Исследование частиц, число которых благодаря использованию ускорителей непрерывно возрастало, требовало новых методов их наблюдения и идентификации. Вслед за камерой Вильсона и ее усовершенствованной Блэкеттом модели, счетчиками Гейгера — Мюллера * и ядерными фотозмульсиями Пауэлла пришел новый метод наблюдений, основанный на эффекте Черенкова. Явление, скрывающееся под этим названием, было давно известно ученым: свечение кристаллов и жидкостей под действием излучения наблюдалось неоднократно. Еще в 20-е годы предпринимались попытки объяснить его механизм, но проблема была решена лишь после тщательных исследований советского ученого, начатых в 1932 г.

Сначала Павел Алексеевич Черенков, 28-летний аспирант академика Сергея Ивановича Вавилова, занимался исследованием люминесценции растворов урановых солей под действием гамма-лучей. В 1934 г. Черенков заметил, что наряду с обычной люминесценцией, вызываемой гамма-лучами, возникает свечение иного характера. В 1936 г. он установил фундаментальное свойство этого излучения — его направленность.

Фактический материал, полученный Черенковым, позволил двум советским физикам, Игорю Евгеньевичу Тамму и Илье Михайловичу Франку, создать в 1937 г. теорию эффекта Черенкова. Оказалось, что излучение возникает при прохождении частицы через кристалл или жидкость со скоростью, превышающей скорость света в данной среде. Свет распространяется со скоростью 300 000 км/с только в вакууме. В воде, например, скорость света составляет лишь 200 000 км/с, и законы физики вполне допускают возможность движения какой-либо частицы со скоростью большей, чем эта. Электромагнитные волны, образующиеся при таком

* Ханс Гейгер в 1908 г. определил заряд электрона и вместе с Э. Резерфордом изобрел счетчик заряженных частиц, который в 1928 г. был им усовершенствован вместе с В. Мюллером. — *Прим. ред.*

сверхсветовом движении частицы, имеют форму конуса, в вершине которого находится частица; зная угол у вершины конуса, можно определять скорость ее движения.

Черенков, будучи прежде всего экспериментатором, предложил использовать открытый им эффект для регистрации заряженных частиц. Этим методом и был зарегистрирован антипротон. Подготавливается грандиозный международный эксперимент, в котором планируется установить черенковские счетчики на дне моря для регистрации частиц высоких энергий, в том числе и нейтрино. Открытие Черенкова и предложенная Таммом и Франком теория этого эффекта принесли им в 1958 г. Нобелевскую премию по физике.

С появлением новых сверхмощных ускорителей стало ясно, что камера Вильсона свои возможности исчерпала. На смену ей пришел новый прибор, сконструированный в 1952 г. американским физиком Доналдом Артуром Глазером. Его пузырьковая камера состоит из резервуара с жидким водородом, находящимся при температуре, близкой к точке кипения. Проходя через него, заряженные частицы нарушают равновесие, и вдоль их пути образуются пузырьки газа. Хорошо известно, что жидкости имеют плотность значительно выше, чем газы. Чтобы создать такой эффект, как и в жидком водороде, заряженная частица должна пройти в газе в тысячу раз большее расстояние. На практике это означает, что след длиной 10 см в пузырьковой камере равнозначен 100-метровому следу в камере Вильсона.

Такое тысячекратное увеличение возможностей позволяет значительно более длительное время следить за движением частиц и их превращениями. Современные пузырьковые камеры так велики, что фотокамера не в силах охватить их во всю глубину; поэтому для получения траекторий частиц иногда применяется голография, дающая трехмерное изображение траекторий даже очень короткоживущих частиц.

Доналд Глазер, исследователь очень широкого диапазона, занимавшийся изучением элементарных частиц, космических лучей, молекулярной биологии, за создание пузырьковой камеры получил в 1960 г. Нобелевскую премию по физике.

Первая большая пузырьковая камера была сконструирована американским физиком Луисом Уолтером Альваресом. Он усовершенствовал конструкцию камеры,

приспособив ее для количественных измерений. В 1955 г. в Радиационной лаборатории им. Э. О. Лоуренса в Беркли Альварес начал проводить обширные эксперименты и открыл десятки новых, неизвестных элементарных частиц. К 1960 г. это изобилие частиц стало беспокоить физиков — казалось маловероятным, чтобы было так много элементарных «кирпичиков» вещества.

Большая часть частиц, открытых Альваресом, имела исключительно короткую продолжительность жизни. Было установлено, что их образование объясняется резонансными явлениями. Например, нуклон, соединяясь с пи-мезоном, образует систему, которая ведет себя как новая частица, но быстро распадается. Сейчас известны сотни частиц-резонансов, и большая заслуга в этом принадлежит группе Альвареса. За обширные исследования, которые велись на протяжении более 10 лет, этот ученый получил в 1968 г. Нобелевскую премию по физике.

Уже в 50-е годы стали накапливаться данные, ставящие под сомнение концепцию об элементарности известных тогда частиц. Заговорили об их структуре. В этой области работал Роберт Хофстедтер, профессор Станфордского университета. В 1955 г. он начал эксперименты по исследованию структуры нуклонов с помощью большого линейного ускорителя в Станфорде. Пучок электронов энергией в 1 млрд. эВ использовался для бомбардировки протонов и нейтронов. Картина рассеяния очень напоминала ту, которую в свое время наблюдал сотрудник Резерфорда Марсден при изучении рассеяния альфа-частиц золотой фольги. Тогда, в 1911 г., в результате этих экспериментов было установлено, что атом имеет ядро. Эксперименты Хофстедтера показали, что протон и нейтрон также имеют «ядро», окруженное облаком из пи-мезонов, так называемой «мезонной шубой». За открытие внутренней структуры нуклонов Роберт Хофстедтер был удостоен в 1961 г. Нобелевской премии по физике, разделив ее с Рудольфом Мёссбауэром, открывшим известный эффект, названный его именем.

Большое число частиц, обнаруженных в 50-е годы, заставило ученых заняться поиском системы для их классификации. Предполагалось, что протон и нейтрон следует рассматривать как фундаментальные частицы, из которых построены остальные. В свете этого пи-мезон, например, представляли как протон и нейтрон в связанном состоянии.

Эти представления были развиты в 1956 г. Сёити Сака-той, который принял за фундаментальные частицы протон, нейтрон и лямбда-нуль-гиперон. Эти частицы иногда называют сакатанами.

Через несколько лет оказалось, что Саката действительно уловил определенные закономерности в мире частиц. Его теория получила дальнейшее развитие и, по существу, была поставлена на новую основу Марри Гелл-Маном и Джорджем Цвейгом. В 1964 г. они выдвинули гипотезу субчастиц, из которых построены нуклоны, мезоны и гипероны. Это — одно из самых последних и важнейших событий в физике, которое заслуживает самостоятельного рассмотрения.

Кварки. Великое объединение

В начале 60-х годов к нескольким элементарным частицам, которые физики считали составными частями атома, добавилось еще около 200. Это повергло ученых в уныние. Пытаясь найти выход из создавшегося положения, ученые стали разрабатывать теории, в которых предполагалось, что большинство известных элементарных частиц построены из субчастиц. Они и были признаны истинно элементарными.

Одной из таких теорий, которая впоследствии получила всеобщее признание, является гипотеза кварков. Она была предложена в 1964 г. Марри Гелл-Маном, профессором Калифорнийского технологического института, и независимо Джоржем Цвейгом, молодым сотрудником того же института. В свете этой теории протон и нейтрон представляют собой различные комбинации двух типов кварков (так называемых «ароматов»), обозначаемых латинскими буквами *u* и *d*. Эти обозначения происходят от английских слов *up* и *down* (что значит «верх» и «низ») и связаны с определенными квантовыми характеристиками кварков. Нейтрон и протон состоят из трех кварков: протон — из *uud*, а нейтрон — из *udd*; *u*-кварк имеет электрический заряд $\frac{2}{3}$, *d*-кварк $-\frac{1}{3}$. Эти комбинации кварков как раз и дают заряд протона, равный 1, и нейтрона — 0.

Чтобы объяснить строение странных частиц, был введен третий *s*-кварк (от английского слова *strange*, что значит «странный»). Странные частицы не могут превращаться в протоны и нейтроны, поэтому для их характе-

ристики Гелл-Ман ввел в 1953 г. новое квантовое число — странность, он же открыл закон сохранения странности.

Согласно кварковой модели, мезоны также являются составными частицами, состоящими из кварка и антикварка.

Названные выше частицы относятся к группе адронов (их модель предложил в 1969 г. Дж. Цвейг), которые участвуют в сильных взаимодействиях. Таким образом, их большое разнообразие удалось свести всего к трем типам кварков. Кроме них к числу истинно элементарных частиц (т. е. не имеющих внутренней структуры) относятся так называемые лептоны: электрон, мюон, а также электронное и мюонное нейтрино. Гипотеза кварков ознаменовала собой начало нового этапа в развитии физики микромира. Ее значение столь же велико, как и открытия структуры атома в начале века. Экзотическое название *quark* («кварк») было заимствовано Гелл-Маном из книги известного английского писателя Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану». Между прочим, в английском и немецком языках название «кварк» имеет особый вид простокваши*.

Создание кварковой модели с самого начала произвело огромное впечатление, и большинство физиков не сомневались, что присуждение Гелл-Ману Нобелевской премии — это лишь вопрос времени. Тем не менее в Стокгольме не торопились, и лишь через 5 лет, в 1969 г., Гелл-Ману была присуждена Нобелевская премия по физике.

Еще в 1964 г., когда Гелл-Ман и Цвейг постулировали существование 3 кварков, Джеймс Бьёркен и Шелдон Глэшоу предложили дополнить систему Гелл-Мана — Цвейга четвертым кварком, который дал возможность строить новые комбинации и описывать состояние новых частиц. Введение еще одного кварка позволило разрешить многие проблемы, мучившие теоретиков, и, быть может, именно испытываемое чувство удовлетворения побудило физиков назвать связанное с этим кварком новое квантовое число очарованием. Сам же кварк был назван очарованным; он обозначается латинской буквой *c* (от английского *charm*, что значит «очарование»). Одним из следствий введения *c*-кварка явилось предсказание существования нового типа мезонов, состоящих из *c*-кварка и

* В разговорном немецком языке слово *quark* означает также «чепуха». — Прим. ред.

соответствующего антикварка. Эти частицы, относящиеся к группе адронов, были открыты в 1974 г. одновременно двумя группами исследователей.

Одна из групп, возглавляемая профессором Массачусетского технологического института Сэмюэлом Тингом, после нескольких лет исследования открыла частицу, которая была названа джи-частицей. Открытие было сделано при изучении процессов взаимодействия гамма-излучения с веществом (т. е. с адронами) и адронов с адронами. При этом образуется пара электрон — позитрон. В частности, эксперименты, проведенные весной 1974 г., в ходе которых исследовалось взаимодействие протонов с атомными ядрами мишени, указывали на возможность существования массивной частицы с эквивалентной энергией 3,1 ГэВ ($1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$). Для сравнения можно сказать, что выраженная в единицах энергии масса пи-мезона составляет 140 МэВ, а протона — 939 МэВ.

Параллельно в Станфордском университете (шт. Калифорния) работала группа под руководством Бертона Рихтера. На большом линейном ускорителе исследовалось образование адронов при столкновении позитронов и электронов больших энергий. При энергии порядка 3,2 ГэВ была открыта частица, которая распадалась на нуклоны. Рихтер назвал ее пси-частицей.

Так, в результате работы двух групп в науку вошла новая частица. Обе группы опубликовали свои результаты одновременно — в декабре 1974 г. Было установлено, что частица относится к классу мезонов и состоит из *c*-кварка и его античастицы. Вскоре было открыто несколько видов таких частиц, и они получили общее название «пси-частицы». Она состоит из двух кварков, связанных так же, как позитрон и электрон в позитронии. Оказалось, что эта частица относится к новому семейству частиц, получивших название «очарованные». Позитрон и электрон связаны в атоме позитрония электромагнитным взаимодействием, которое описывается в квантовой электродинамике. Два кварка в очарованной частице связываются посредством так называемого цветного взаимодействия, которое изучается квантовой хромодинамикой. Новая квантовая характеристика «цвет» была введена Гелл-Маном и Цвейгом, чтобы удовлетворить принципу Паули. (Разумеется, здесь цвет является лишь условным наименованием, используемым для «маркировки» кварков, и не имеет ничего общего с обычными цветами).

Согласно этому принципу, две (или более) тождественные частицы с полуцелым спином, входящие в одну физическую систему, не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии. Однако предсказанная Гелл-Маном теоретически и впоследствии обнаруженная экспериментально частица омега-минус-гиперон, состоящая из трех s -кварков, оказалась именно такой системой. Чтобы спасти положение, ввели новое квантовое число — цвет. Если принять, что три s -кварка отличаются по цвету, то все становится на свои места.

Цвет можно рассматривать как аналог электрического заряда. Считается, что кварки связаны между собой специфическим цветным взаимодействием, носителем которого является частица, названная глюоном (от английского *glue*, т. е. «клей»). По аналогии с квантовой электродинамикой эта новая область квантовой теории поля получила название квантовой хромодинамики.

Открытия Рихтера и Тинга явились убедительным свидетельством в пользу гипотезы кварков и хромодинамики. Поэтому уже в 1976 г. Нобелевский комитет присудил этим двум исследователям премию по физике. Таким образом, награждение состоялось спустя менее двух лет после опубликования результатов исследований.

Какова же современная картина классификации элементарных частиц? Выяснилось, что к четырем уже названным кваркам следует добавить еще b -кварк (от англ. *beauty*, что значит «красота») и t -кварк (от англ. *truth* — «истина»). Эти шесть кварков различаются между собой по характеристикам, называемым ароматами, и группируются в три семейства, причем каждое из них встречается в трех цветах: красном, желтом и синем. Шесть «ароматов» по три цвета составляют, таким образом, 18 элементарных частиц; кроме того, существует семейство лептонов, куда входят электрон, мюон и тау-частица, а также электронное, мюонное и тау-нейтрино, т. е. лептонов всего шесть. Если их добавить к 18 кваркам, то фундаментальных частиц становится 24, а с учетом их античастиц — 48. Это, пожалуй, слишком много, чтобы их можно было считать совершенно элементарными.

Разрабатываются новые модели, согласно которым даже эти частицы состоят из субчастиц. Но эти модели весьма гипотетичны, поскольку в настоящее время наука не располагает экспериментальными данными, которые могли бы подтвердить или опровергнуть их. Гигантские

ускорители уже достигли предела своих возможностей, а строительство еще более мощных — очень трудное и дорогостоящее дело. Это побуждает физиков обратить взгляд в космос. Во Вселенной вещество может находиться в таких состояниях, когда проявляются его фундаментальные свойства. Может быть, внимательно прислушиваясь к сигналам, идущим из Вселенной, мы получим возможность понять нечто большее о мире, в котором живем.

Связь исследований микромира с изучением Вселенной — одно из самых поразительных явлений в современной физике. Это — поистине замечательное объединение.

В современной физике на повестке дня стоят и другие объединения. Речь идет о силах, действующих в окружающем нас мире. Еще в XVII в. Ньютон описал гравитационное взаимодействие, управляющее движением небесных тел. В XIX в. Максвелл объединил электричество и магнетизм, создав единую теорию электромагнитного взаимодействия. В 30-е годы нашего столетия, после открытия нейтрона, заговорили о сильном (ядерном) взаимодействии, связывающем нуклоны в атомном ядре, а исследования бета-распада привели к понятию слабого взаимодействия. Стали предприниматься попытки их объединения.

Альберт Эйнштейн 35 лет своей жизни посвятил созданию единой теории электромагнитного и гравитационного взаимодействий. Он начал свою работу тогда, когда еще не были известны другие виды взаимодействий, существующие в микромире. Эйнштейн не достиг успеха. Однако в последнее десятилетие другие исследователи сумели объединить электромагнитное и слабое взаимодействия, создав единую теорию электрослабого взаимодействия. Над этой проблемой работали многие ученые, среди которых выделяются имена Стивена Вайнберга, Шелдона Глэшоу и Абдуса Салама — лауреатов Нобелевской премии по физике за 1979 г.

Попытки создать теорию слабого взаимодействия ученые стали предпринимать в 50-х годах — после того, как Ричард Фейнман, Юлиус Швингер и Синъитиро Томонага создали современную квантовую электродинамику. К 1948 г. независимо друг от друга они разработали теорию, связывающую квантовую механику с релятивистскими представлениями, которая позволила объяснить

экспериментальные результаты, полученные в спектроскопии и других исследованиях атомов. В частности, японский физик Томонага создал в 1946 г. теорию, математический аппарат которой давал возможность довольно точно рассчитывать процессы электромагнитного взаимодействия электронов и фотонов.

Американский физик Р. Фейнман известен не только работами в области квантовой электродинамики, но и знаменитыми диаграммами Фейнмана, которые позволяют наглядно объяснить возможные превращения частиц.

Ю. Швингер из Гарвардского университета вычислил аномальный магнитный момент электрона и объяснил так называемый «лэмбовский сдвиг» в спектре водорода, открытый Уиллисом Лэмбом — одним из лауреатов Нобелевской премии по физике за 1955 г. Ю. Швингер был учителем Шелдона Глэшоу, о котором речь пойдет дальше.

За создание релятивистской квантовой электродинамики Фейнман, Швингер и Томонага были удостоены в 1965 г. Нобелевской премии по физике.

После того как эта задача в общих чертах была решена, ученые занялись слабыми взаимодействиями. К 1958 г. благодаря работам Ричарда Фейнмана, Марри Гелл-Мана, Роберта Маршака и Эннакала Ченди Джорджа Сударшана была разработана универсальная теория слабых взаимодействий. Еще тогда, возвращаясь к некоторым идеям Ферми 30-х годов, Швингер высказал мысль о возможности объединения слабых и электромагнитных взаимодействий. Примерно к тому же периоду относятся и первые работы А. Салама, С. Вайнберга и Ш. Глэшоу.

В современных теориях ядерных взаимодействий квантовые представления приводят к выводу о существовании объектов двух классов: частиц вещества и частиц — квантов поля, которые переносят взаимодействие. Еще Юкава, теоретически предсказавший существование квантов сильного взаимодействия, пытался ввести подобные представления и для слабого взаимодействия. Работы Янга Чжэньнина и Роберта Миллса (1954 г.) позволили развить эту идею дальше. Теперь решением проблемы занялись многие ученые, и в 1961 г. Шелдон Глэшоу сумел создать теорию слабого взаимодействия. Помимо описания слабого взаимодействия стало возможным установить его связь с электромагнитным взаимодействием. В электро-

динамике взаимодействие передается нейтральным фотоном. Согласно новой объединенной теории, электрослабое взаимодействие передается четырьмя частицами, три из которых (два так называемых промежуточных векторных бозона и один нейтральный бозон) имеют довольно большую массу, а четвертой является фотон. Необходимость большой массы частиц — переносчиков слабого взаимодействия вытекает из того, что это взаимодействие осуществляется на очень коротких расстояниях, тогда как не имеющий массы фотон обуславливает дальнедействующее электромагнитное взаимодействие. Но чтобы подтвердить экспериментально существование бозонов, необходимы сверхмощные ускорители. В ряде известных научных центров началось их конструирование, и некоторые из них вступят в строй в ближайшие годы. Одновременно физики и инженеры, стремясь расширить возможности уже существующей техники, приступили к ее усовершенствованию.

Еще в 60-е годы советский физик Герш Ицкович Будкер, работавший в Институте ядерной физики Сибирского отделения АН СССР указал, что возможности ускорителя существенно возрастут, если вместо бомбардировки ускоренными частицами неподвижной мишени использовать соударение встречных пучков частиц; в частности, он предложил использовать столкновение протонов с антипротонами. Главная проблема при этом состояла в получении достаточно однородных пучков частиц, движущихся с одинаковой скоростью. В 1956 г. голландский инженер Симон ван дер Меер, работавший в ЦЕРН (Европейский центр ядерных исследований), сконструировал датчики, которые позволяли следить за состоянием потока частиц. При возникновении каких-либо неоднородностей в пучке немедленно производится соответствующая корректировка режима ускорителя и таким образом достигается однородность пучков. Проект начал претворяться в жизнь в 1978 г., когда итальянский физик Карло Руббиа предложил использовать для этой цели сооружающийся большой ускоритель протонов (протонный суперсинхротрон), важным элементом которого стал накопитель, разработанный Ван дер Меером.

С помощью этой аппаратуры через несколько лет подготовительных работ наконец удалось добиться желаемого успеха. В январе 1983 г. были обнаружены промежуточные векторные бозоны W^+ и W^- , а в мае удалось за-

регистрировать и нейтральные Z^0 -бозоны, которые наблюдаются в десять раз реже. В подготовке и проведении этого сложнейшего эксперимента участвовало несколько десятков человек: физиков, инженеров и техников; однако особый, принципиальный вклад внесли в нее Карло Руббиа, который спланировал и привел в движение весь проект, и Симон ван дер Меер, сконструировавшей необходимую аппаратуру. В 1984 г., менее чем через полтора года после открытия, эти два ученых были удостоены Нобелевской премии по физике.

Объединенная теория слабого и электромагнитного взаимодействий возвестила о новом этапе в развитии современной физики, отмеченном стремлением к унификации различных представлений и открытию более фундаментальных свойств материи. Разработка объединенной теории позволит углубить наши знания о кварках. Следующим этапом развития физики микромира должно стать создание единой теории сильных и электрослабых взаимодействий.

В более отдаленном будущем ученые надеются создать общую теорию, в которой должны слиться воедино электромагнетизм, гравитация, сильное и слабое взаимодействия, — таким образом, возможно, удастся осуществить мечту Эйнштейна о великом объединении всех сил природы.

Новые представления о строении частиц и их взаимодействии позволили внести ясность в вопрос о симметрии в микромире. Длительное время считалось, что физическое взаимодействие характеризуется так называемой пространственной четностью, т. е. оно симметрично по отношению к операции зеркального отражения; иными словами, если изменить направление движения всех объектов на противоположные (взять зеркальное отражение процесса), то ничего не изменится. Это интуитивное представление было разрушено в 1956 г., когда Ли Цзундао и Янг Чжэньнин показали, что в слабых взаимодействиях пространственная четность нарушается.

Другим типом симметрии, который физики принимали, исходя из интуитивных соображений, была симметрия между частицами и античастицами, называемая симметрией относительно операции зарядового сопряжения. Предполагалось, что, если в ядерной реакции все частицы заменить их античастицами, то конечный результат не изменится. Экспериментальные данные, однако, опро-

вергли и это мнение. Тогда, чтобы спасти положение, теоретики предположили, что в слабых взаимодействиях сохраняется комбинированная четность*, т. е., чтобы законы симметрии здесь выполнялись, необходимо вместе с зеркальным отражением произвести замену всех частиц их античастицами, иначе говоря, совершить оба преобразования одновременно. И действительно, в этом случае результаты опытов подкрепляли теорию, и «дúхи» на некоторое время успокоились.

Выводы Ли и Янга базировались на данных распада K -мезонов. Решающая информация о так называемых тау- и тета-частицах, указывающая на их идентичность, была получена в 1956 г. Вэллом Фитчем из Принстонского университета. В 1961 г. этот же исследователь открыл нейтральный K -мезон, или, точнее, его античастицу. Эти два микрообъекта отличаются только одним из квантовых чисел — странностью. Согласно теории, получаемый пучок нейтральных K -мезонов должен состоять приблизительно из одинакового числа частиц и античастиц. В то время как имеющие малую продолжительность жизни нейтральные K -мезоны быстро распадаются на два пи-мезона, это, согласно закону сохранения комбинированной четности, не распространяется на их античастицы. Эксперименты такого рода были проведены в 1964 г. в Принстоне Вэллом Фитчем и Джеймсом Кронином. Поначалу экспериментальные данные согласовались с теорией, но затем в 0,2% случаев наблюдался распад более устойчивых античастиц.

Это было катастрофой для теории. Последний принцип симметрии — закон комбинированной четности — оказался нарушенным. Результаты Кронина и Фитча были оглашены в августе 1964 г. на XII Международной конференции по физике высоких энергий, происходившей в Дубне. Впоследствии были обнаружены и другие процессы, где нарушается пространственно-зарядовая симметрия. Стало очевидным, что открыто некое фундаментальное свойство слабых взаимодействий.

В соответствии с современными теориями, объясняющими электромагнитные и слабые взаимодействия обменом фотонами и бозонами, нарушение симметрии обусловлено именно последними (квантами слабого взаимодей-

* Одновременно (и независимо) с Ли и Янгом закон сохранения комбинированной четности предложил советский ученый академик Лев Давыдович Ландау. — *Прим. ред.*

ствия). Такое нарушение не могло получиться в системе из двух пар кварков (ud и sc), и поэтому в 1973 г. Кобаяси и Маскава предположили существование третьей пары кварков (bt). В 1975 г. был открыт тяжелый тау-лептон, состоящий из этой пары кварков, а в 1977 г. — ипсилон-мезон (Y), состоящий из двух связанных b -кварков. Шестой t -кварк открыт летом 1984 г. в ЦЕРН той же группой исследователей, которая обнаружила промежуточные векторные бозоны. Он был замечен при распаде W -частиц.

Современная физика, ставящая своей целью объяснить все многообразие явлений в рамках одной теории, уже нашла взаимосвязь между нарушениями комбинированной четности и эволюцией Вселенной. Астрофизические исследования показывают, что во Вселенной практически нет антивещества. Встречающиеся единичные античастицы, по всей вероятности, имеют вторичное происхождение. Предполагается, однако, что на очень ранних стадиях возникновения Вселенной, когда только образовались частицы, число нуклонов и антинуклонов было почти одинаковым. Из этого «почти» и возник мир, в котором мы живем. Частицы и античастицы аннигилировали, в результате чего возникло излучение — фотоны. Если бы число античастиц и частиц было одинаковым, то во Вселенной сегодня не было бы вещества, а только одни фотоны. К счастью, мир «с самого начала» был слегка асимметричен. В свете подобных представлений приходится признать нарушение комбинированной четности.

Начало таким теоретическим рассуждениям было положено сенсационным открытием Фитча и Кронина в 1964 г. Нобелевский комитет по физике проявил в последние годы замечательную последовательность в своих решениях. В 1978 г. были награждены Арно Аллан Пензиас и Роберт Вудров Вильсон — за открытие реликтового фонового электромагнитного излучения, которое возникло еще в момент рождения Вселенной. В 1979 г. Нобелевская премия по физике была присуждена Вайнбергу, Глэшоу и Саламу за создание объединенной теории слабых и электромагнитных взаимодействий, а в 1980 г. Нобелевскую премию получили Вэл Логдон Фитч и Джеймс Уотсон Кронин за открытие нарушения комбинированной пространственно-зарядовой симметрии. Эти три открытия, сделанные в различных областях науки, — новые зернышки в мозаике, воссоздающей все более законченную картину мира.

V РАДИОВОЛНЫ

В середине прошлого столетия исследования в области электричества, магнетизма и оптики достигли больших высот, что позволило объединить все существующие представления в одну теорию, получившую название электродинамики. Это сделал известный английский физик Джеймс Клерк Максвелл. Экспериментальную проверку новой теории осуществил немецкий ученый Генрих Рудольф Герц.

В 1887 г. он построил опытную установку, с помощью которой доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве, подтвердив тем самым предсказания теории Максвелла. В своих опытах Герц пользовался сконструированным им генератором электромагнитных колебаний (вибратором Герца); эти колебания улавливались другим прибором — резонатором. Герц провел обширные исследования свойств электромагнитных волн и подтвердил их сходство со светом. Однако у Герца не возникло мысли, что посредством этих волн можно передавать информацию, подобно тому как это делается с помощью электрических сигналов в телеграфном кабеле. Тем не менее несколько лет спустя эта идея получила распространение в мире ученых. Русский физик Александр Степанович Попов опубликовал в 1895 г. результаты своих исследований относительно возможности передачи сообщений с помощью электромагнитных волн *. В том же году 20-летний итальянец Гульельмо Маркони (человек, не имеющий специальной теоретической подготовки и получивший

* А. С. Попов в 1889 г. впервые указал на возможность использования электромагнитных волн для передачи сигналов на расстояние. В 1894 г. он сконструировал генератор электромагнитных колебаний и когерер — элемент приемника, а также изобрел приемную антенну. 24 мая 1896 г. он передал первую в мире радиограмму, состоящую из двух слов: «Генрих Герц». — *Прим. ред.*

лишь домашнее образование), вдохновленный работами Герца, начал свои эксперименты.

Занимаясь техническим усовершенствованием своей установки, Маркони постепенно пришел к выводу, что для радиопередатчика необходимы заземление и антенна. Увеличивая антенну, он непрерывно увеличивал и дальность передачи: от 2,5 км в 1895 г. она возросла в 1897 г. до 18 км. В это время Маркони перебрался в Англию и подал заявку на патент; в 1897 г. он получил патент на применение электромагнитных волн для беспроводной связи (А. С. Попов свое открытие не патентовал). Получив финансовую поддержку правительства, Маркони осуществил в 1902 г. связь через Атлантический океан — на расстояние в 3400 км. Это был успех не только итальянского изобретателя. Профессор физики Страсбургского университета Карл Фердинанд Браун изобрел в 1898 г. колебательный контур значительной емкости и с малым затуханием. Вскоре после этого он изготовил кристаллический детектор, который быстро нашел применение в первых радиоприемниках. Браун изобрел несколько типов антенн и предложил много других технических усовершенствований, которые способствовали развитию радиосвязи.

В начале нашего века существование радио стало фактом. В 1909 г. Нобелевский комитет по физике принял решение о награждении Маркони и Брауна. Это было признанием больших технических достижений, которые стали возможны благодаря теоретическим открытиям, сделанным в предшествующие несколько десятилетий. К сожалению, работы А. С. Попова — истинного изобретателя радио — остались малоизвестными на Западе. Он умер в 1906 г., так и не попав в поле зрения Нобелевского комитета.

В то время, когда Маркони и Браун были удостоены Нобелевской премии, в Кембридже работал Оуэн Уилланс Ричардсон. В знаменитой Кавендишской лаборатории он исследовал явление термоэлектронной эмиссии (испускание электронов нагретыми телами). Ранее Дж. Дж. Томсон установил, что металлы при сильном нагревании испускают электрически заряженные частицы. В 1901 г. Ричардсон вывел термодинамическую формулу зависимости плотности термоэлектронной эмиссии от температуры поверхности катода. Эти исследования довольно скоро перестали быть чисто теоретическими и

нашли широкое применение при конструировании электронных ламп для радиотехники. Между прочим, первая электронная лампа была создана самим Ричардсоном в 1901 г. — в известном смысле это можно рассматривать как дату рождения современной электроники.

С того времени радиотехника и радиосвязь стали бурно развиваться, и через 20 лет после изобретения радио появилось телевидение. Кинескоп, который создает телевизионное изображение, является отдаленным потомком электронно-лучевой трубки, созданной Брауном в 1897 г. Впечатляющие успехи радио и телевидения вновь привлекли внимание Нобелевского комитета по физике, и по решению его членов в 1928 г. Нобелевская премия была присуждена Ричардсону.

На протяжении нескольких десятилетий электронные лампы считались вершиной достижений инженерной мысли. Все более сложные их модификации, которые связывались во все более сложные системы, и привели в конце концов в 1946 г. к появлению первого компьютера. Два года спустя открытие, сделанное в американской научно-исследовательской фирме «Белл телефон лабораторис», коренным образом изменило положение. Джон Бардин и Уолтер Браттейн открыли транзисторный эффект и изготовили первый полупроводниковый прибор — транзистор. Одновременно теорией этого процесса занимался сотрудник той же лаборатории Уильям Брэдфорд Шокли.

Даже самые первые, еще очень несовершенные транзисторы были во всех отношениях значительно удобнее электронных ламп и быстро начали их вытеснять. Теория транзисторного эффекта сама по себе имела большое значение для теоретической физики. По этим причинам Нобелевский комитет принял решение присудить Нобелевскую премию по физике за 1956 г. трем названным ученым — за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта. За прошедшие три десятилетия полупроводниковая техника принципиально усовершенствовалась и привела к возникновению современной микроэлектроники. Без сомнения, изобретение транзистора явилось одним из крупнейших открытий нашего века, которое сделало возможной автоматизацию многих процессов и внесло коренные изменения в жизнь людей. Это во многом было предопределено изобретением радио и развитием радиотехники. Исследования радио-

волн привели также к интересным открытиям, имеющим серьезные последствия.

В первое время после изобретения радио выдвигались самые различные гипотезы о распространении радиоволн. В 1902 г. английский физик Оливер Хевисайд предположил, что в верхней части атмосферы имеется ионизированный слой, отражающий радиоволны. Это дает возможность принимать в Европе радиосигналы, например, из далекой Новой Зеландии. Радиоволны, последовательно отражаясь от атмосферы и земной поверхности, обходят вокруг всего земного шара. Однако это относится только к радиоволнам определенного диапазона. Ультракороткие радиоволны не отражаются от ионизированного слоя атмосферы, и поэтому телевизионный сигнал можно принимать лишь в зоне прямой видимости.

В 1924 г. было убедительно доказано существование ионосферы и определено расстояние до нее от поверхности Земли. Это сделал английский физик Эдуард Виктор Эплтон из Кавендишской лаборатории, основываясь на исключительно простой идее. Исходя из того, что излучаемый радиосигнал и сигнал, отраженный от высоких слоев атмосферы, проходят различное расстояние, он предположил, что между ними должна происходить интерференция — наложение волн, в результате чего волны взаимно усиливают или гасят друг друга. Это явление хорошо знакомо радиослушателям: иногда радиопередачи хорошо принимаются с больших расстояний, а порой мы слабо слышим даже близкие радиостанции.

Измерив силу сигнала, Э. Эплтон путем простых математических расчетов установил, что ионосфера находится на высоте около 90 км. К 1927 г. он изучил различные ионосферные слои. Обобщив многочисленные данные, Эплтон разработал магнитно-ионную теорию высоких слоев атмосферы. Согласно этой теории, ионы образуются под действием солнечного света и космических лучей и сильно влияют на магнитное поле Земли. Именно этими факторами определяются структура ионосферы и качество радиосвязи.

Исследования Э. Эплтона имели важное значение для радиосвязи, а также для физики земной атмосферы и околоземного пространства. За свой вклад он получил в 1947 г. Нобелевскую премию по физике.

Радиоастрономия

Оказалось, что беспрепятственное прохождение ультракоротких волн через земную атмосферу имеет исключительно большое значение для современной астрофизики. Сегодня исследование небесных тел с помощью радиотелескопов — это, по существу, еще одно «окно» во Вселенную. Как и многие другие открытия, радиоастрономия родилась также случайно.

В 1929 г. фирма «Белл телефон лабораторис» поручила молодому инженеру Карлу Янскому исследовать помехи на трансатлантическом канале радиосвязи. В его распоряжение был предоставлен чувствительный радиоприемник, который затем дополнили большой антенной для определения направления шумов. После длительного наблюдения выяснилась в общих чертах картина радиопомех. Большинство из них, как оказалось, вызываются грозами. Однако на эти помехи накладывался еще какой-то загадочный радишум, идущий с неба.

Янский прежде всего установил, что интенсивность этого «шума» изменяется с периодом в 23 ч 56 мин (за это время делают полный оборот звезды на небесной сфере). К декабрю 1932 г. он уже мог сообщить, что максимальная интенсивность космического излучения наблюдается в той части небесной сферы, которая, по данным астрономов, находится в центре Галактики. Это открытие было встречено с большим интересом широкой общественностью, но, как ни странно, специалисты не обратили на него внимания. Единственным человеком, который занялся изучением этого вопроса с точки зрения астрономии, был американский радиолобитель Гроут Ребер. В 1936 г. он собственноручно изготовил почти десятиметровый радиотелескоп-рефлектор и к 1944 г. составил первую радиокарту неба. На протяжении почти десятилетия этот исследователь-любитель оставался единственным радиоастрономом в мире.

В середине 40-х годов идея о существовании космических радионисточников по-прежнему вызывала сомнения у специалистов, и статья Ребера с первыми радиокартами неба была напечатана в *Astrophysical Journal* после больших колебаний. Вскоре, однако, положение изменилось. Во время второй мировой войны возник новый вид техники — радиолокаторы. После войны с помощью таких устройств, быстро приспособленных

для научных исследований, стали проводить первые наблюдения уже профессиональные астрономы. Одним из пионеров в этой области был англичанин Мартин Райл.

В 1952 г. Райл предложил вместо одной большой антенны использовать несколько малых. Сопоставление сигналов давало возможность синтезировать с помощью компьютера изображение, какое получалось бы при использовании радиотелескопа диаметром, равным расстоянию между антеннами. Этот так называемый метод интерферометрии оказался необычайно плодотворным. Вскоре начали использовать системы антенн, расположенных на большом расстоянии друг от друга — даже на различных континентах.

Так были созданы радиоинтерферометры, которые позволяют определять угловые размеры небесных объектов с точностью, далеко превосходящей возможности оптических телескопов.

Исследования Мартина Райла сыграли важную роль в развитии радиоастрономии. Его большие заслуги получили высокую оценку в 1974 г., когда он был назван одним из двух лауреатов Нобелевской премии по физике. Профессор Райл был избран членом Лондонского королевского общества и ряда иностранных академий, в том числе и Академии наук СССР. Интересно отметить, что после шумного признания его успехов он был назначен королевским астрономом — впервые эта почетная должность, имеющая глубокие традиции, была дана радиоастроному.

Другим лауреатом Нобелевской премии по физике в 1974 г. стал английский радиоастроном Энтони Хьюиш. Под его руководством были открыты пульсары, которые относятся к числу самых интересных объектов во Вселенной.

Хьюиш и возглавляемая им группа проводили исследования мерцаний сигналов радиоисточников с малыми угловыми размерами. Их основным инструментом был довольно грубый, но достаточно хороший радиотелескоп, построенный студентами из Кембриджа под руководством двух радиоинженеров. На его изготовление было затрачено 10 тыс. фунтов стерлингов — такова цена открытия пульсаров.

В июле 1967 г. была начата расширенная программа исследований. Вскоре аспирантка Джоселин Белл обна-

ружила необычные радиосигналы. В сентябре неизвестный источник был зарегистрирован еще несколько раз; при этом выяснилось, что он излучает импульсы регулярно с интервалом немногим более секунды. Первой мыслью Хьюиша было, что это какая-то помеха, идущая из ближайших окрестностей. Тщательно проверив все результаты, исследователи окончательно пришли к выводу: сигналы действительно идут из космоса. Судя по характеру импульсов, Хьюиш решил, что источник имеет очень малые размеры (приблизительно порядка размера планеты). Возникло подозрение, не являются ли эти строго периодические сигналы посланием какой-то цивилизации — «маленьких зеленых человечков».

На протяжении всего декабря 1967 г. ученые пытались выяснить, не вращается ли этот источник радиоволн вокруг какого-то небесного тела. Ответ был отрицательным. Следовательно, сигналы не были делом рук «зеленых человечков». Тогда Хьюиш и его сотрудники углубились в литературу, посвященную эволюции звезд. Они предполагали, что пульсары, как уже были названы эти радиоисточники, — это определенный этап в эволюции звезд. Тем временем к февралю 1968 г., когда Хьюиш подготовил публикацию об открытии, были замечены еще три пульсара.

Хьюиш считал, что пульсары — звезды типа белых карликов. Вскоре, однако, было доказано, что пульсары представляют собой нейтронные звезды. С точки зрения наших обычных, земных представлений, это невероятные объекты. Согласно современным теориям, они возникают в результате взрывов сверхновых звезд. Огромное давление приводит к образованию тела с плотностью атомного ядра, состоящего исключительно из нейтронов. Размеры этого остатка бывшей звезды очень невелики (порядка нескольких десятков километров в диаметре) и ученые в шутку называли нейтронные звезды «белыми горошинками».

Одним из замечательных достижений радиоастрономии является открытие космического микроволнового фонового излучения — отдаленного эха Большого взрыва, в результате которого, как предполагается современной теорией, возникла Вселенная. Эта теория берет свое начало в 20-х годах и исходит из общих идей о нестационарности Вселенной, которые в свою очередь вытекают из теории относительности Эйнштейна. Сам он, однако,

был неудовлетворен такими следствиями своей теории и создал модель стационарной Вселенной, введя в соответствующие уравнения специальные коэффициенты. Но некоторые ученые склонялись к концепции динамичной Вселенной. В 1922 г. молодой советский ученый Александр Александрович Фридман создал математическую модель нестационарной (расширяющейся) Вселенной. К концу 20-х годов Эдвин Хаббл, исследуя далекие космические объекты, обнаружил, что их световое излучение смещено к красному концу спектра. Это наблюдение было объяснено доплеровским эффектом — смещением спектра излучения удаляющегося тела в красную область. Результаты Хаббла явились экспериментальным подтверждением теории Фридмана о расширении Вселенной.

В 40-е годы американский физик-теоретик Г. А. Гамов с сотрудниками предложили модель «горячей Вселенной». Из этой теории вытекало существование реликтового излучения, образовавшегося в момент Большого взрыва. Уменьшаясь с расширением Вселенной, эффективная температура этого излучения должна была составлять в современную эпоху лишь несколько градусов выше абсолютного нуля (абсолютный нуль равен $-273,16^{\circ}\text{C}$).

Этим низким температурам соответствуют фотоны с очень небольшой энергией, которая как раз соответствует радиодиапазону в спектре электромагнитного излучения. Реликтовое радиоизлучение было открыто в 1965 г. двумя молодыми исследователями — Арно Пензиасом и Робертом Вильсоном из фирмы «Белл телефон лабораторис» в Холмделе (штат Нью-Джерси). Измерения производились с помощью специальной высокочувствительной рупорной антенны, построенной в 1960 г. для связи с ретрансляционным спутником «Эхо». В 1963 г. эта космическая программа была закрыта, и ученые решили использовать антенну для радиоастрономических наблюдений. Прежде чем приступить к работе, они внимательно изучили свойства самой антенны. С этой целью они измеряли фоновое излучение в различных точках небесной сферы. Вскоре Пензиас и Вильсон обнаружили, что во всех направлениях присутствует какой-то радиосум с температурой около трех градусов по абсолютной шкале температур.

В это время в Принстонском университете Роберт

Дикке и Джон Пибблс работали над моделью Большого взрыва. В 1965 г., когда Пензиас и Вильсон заканчивали измерения, эти два теоретика огласили свои результаты на научном конгрессе в Нью-Йорке. Ознакомившись с ними, Пензиас и Вильсон сразу поняли, что им не избавиться от радишума в антенне, ибо это и есть фоновое излучение, заполняющее Вселенную. Они познакомили Дикке и его сотрудников с собственными данными, результатом чего явились два сообщения в *Astrophysical Journal*; одно — наблюдателей из Холмдела об открытии фонового излучения, а второе — теоретиков из Принстона, объяснявшее это явление.

Так как Пензиасу и Вильсону удалось опубликовать свои результаты в солидном научном журнале, на них сразу обратили внимание. (Случись им напечататься в каком-нибудь техническом издании, как это было с Янским, их открытие, возможно, долгое время оставалось бы незамеченным.) Когда в 70-х годах Нобелевский комитет по физике принял решение включить в рассмотрение и исследования в области астрофизики, радиоастрономы также получили шанс быть отмеченными. И два их представителя, сумевшие «услышать» далекое эхо Большого взрыва, стали в 1978 г. лауреатами Нобелевской премии. Эту награду Арно Пензиас и Роберт Вильсон разделили с крупным советским ученым Петром Леонидовичем Капицей.

Астрофизика

Возникновением теории Большого взрыва отмечается новый этап в развитии науки нашего столетия. Эволюционный подход утверждается во многих сферах познания. В различных науках накапливаются данные о том, как возникла Вселенная, как образовались химические элементы, из которых состоят галактики и звезды, как возникли планеты и живые существа. Создается целостная картина развития мира, которая объединяет разные области знания.

Важным моментом в картине эволюции Вселенной является образование звезд. Изучением физических процессов, происходящих в звездах, занимались многие ученые, среди которых особо следует отметить Ханса Альбрехта Бете, который объяснил природу внутри-

звездной энергии. В 30-е годы этот ученый занимался изучением ядерных реакций — одной из новых и модных тогда областей науки. Исследуя взаимодействие между протонами и нейтронами, он установил, как при их объединении может образоваться ядро тяжелого водорода (дейтерия). Хотя Бете и не проявлял особого интереса к астрофизике, сама работа толкала его в эту область науки.

С тех пор как астрономы выяснили, что представляют собой Солнце и другие звезды, они неустанно бились над загадкой происхождения внутризвездной энергии, которая заставляет эти раскаленные газовые шары столь ярко светиться. Уже в прошлом веке ученым было ясно, что источником этой энергии не могут быть ни химические реакции, ни гравитационное сжатие. Но лишь после того как стало понятным строение атома, возникла идея относительно источника такой гигантской энергии.

В 20-е годы известный английский астроном Артур Эддингтон высказал предположение, что источником энергии звезд, по всей вероятности, является процесс превращения водорода в гелий. В своей книге «Звезды и атомы» (изданной в 1927 г.) он указал, что масса ядра гелия не точно в 4 раза превышает массу ядра водорода, а несколько меньше. Эта разница кажется незначительной, но если применить знаменитую формулу Эйнштейна, связывающую энергию с массой ($E=mc^2$), то получается, что «исчезнувшая» масса эквивалентна огромному количеству энергии.

Однако в деталях этот ядерный процесс тогда не был известен, и большинство исследователей сомневались, что он может служить источником энергии звезд. Хотя Бете также критически относился к гипотезе Эддингтона, он занялся этим вопросом, так как процесс образования гелия во многом был сходен с реакцией синтеза дейтерия, исследованием которой ученый уже занимался. В 1939 г. он присутствовал на симпозиуме по звездной энергетике, организованном Американским астрофизическим обществом. На нем обсуждались вопросы, связанные с взаимодействием между протонами и протон-протонным циклом синтеза гелия как источником энергии звезд. Эту модель предложил годом раньше Бете и независимо от него Ч. Критчфильд. Многие физики считали, что она охватывает лишь часть процессов, происходящих в звездах, поскольку кроме водорода и

гелия там есть и другие элементы, хотя и в значительно меньших количествах.

Бете занялся изучением термоядерных реакций, в которых эти элементы могли бы участвовать. Особый интерес представляло взаимодействие протонов с ядрами углерода-12. Этот элемент, присоединяя все новые протоны, претерпевает целый цикл последовательных превращений: азот-13, углерод-13, азот-14, кислород-15, азот-16, ядро которого в конце концов распадается на ядра гелия-4 и углерода-12. Оказалось, что таким образом может осуществляться катализ термоядерных реакций в недрах звезд. Углеродно-азотный цикл термоядерного синтеза был открыт Хансом Бете в 1939 г., но заметный вклад в это открытие внесли также другие исследователи, прежде всего Карл Фридрих фон Вейцзеккер. Эта теория оказалась очень плодотворной для развития астрофизики, позволив объяснить результаты многих астрономических наблюдений. Большие заслуги Ханса Бете в открытии тайн звездной энергетики получили — хотя и с довольно большим опозданием — признание Нобелевского комитета по физике. В 1967 г. почти три десятилетия спустя после своих открытий, Ханс Бете стал лауреатом Нобелевской премии.

В 1970 г. Нобелевская премия по физике была присуждена еще одному ученому, который, не будучи астрономом, внес большой вклад в понимание астрофизических явлений. Это был Ханнес Альфвен, основоположник магнитной гидродинамики.

Этот раздел физики занимается изучением движения токопроводящих жидкостей и ионизированных газов в магнитных полях. Исследование этих процессов имеет большое практическое значение, в частности для конструирования термоядерных реакторов типа «Токамак», а также магнитогидродинамических генераторов, преобразующих тепловую энергию плазмы в электричество. Но самое большое применение вновь созданная наука получила в астрофизике, поскольку почти все вещество Вселенной ионизовано и находится под воздействием магнитных полей.

Исходя из своей теории, Альфвен выдвинул ряд гипотез для объяснения таких явлений, как образование протуберанцев и солнечных пятен. Ученый исследовал солнечный ветер (поток частиц, испускаемых солнечной короной) и его воздействие на Землю, где он вызывает

магнитные бури и северное сияние. В межзвездном масштабе магнитная гидродинамика оказалась великой силой. Галактические магнитные поля управляют движением межзвездных облаков. Согласно одной из теорий, это ведет к нарушению однородности распределения межзвездного вещества и его локальным конденсациям, которые служат зародышами новых звезд.

Все сказанное свидетельствует о том, сколько обширной и результативной оказалась работа Ханнеса Альфвена. Действительно, немногим выпадает такая счастливая судьба — положить начало новой науке. Однако долгие годы ученые не принимали магнитной гидродинамики. Шведский исследователь вынужден был публиковать свои работы во второстепенных журналах. Прошло немало времени, прежде чем научная общественность оценила его идеи. В конце концов истина восторжествовала — и Ханнес Альфвен стал известным ученым. В 1970 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике.

Длительное время астрономы были для широкой публики чем-то вроде древних звездочетов — людей, оторванных от действительности, которые исследуют далекие миры и не имеют ничего общего с повседневной жизнью человека. По этой причине науки о космосе выпали из поля зрения Нобелевского комитета по физике, и лишь в последние 20 лет положение стало меняться. Это ознаменовало понимание того факта, что современная астрофизика выдвинулась на передние рубежи физической науки, став источником новых результатов и идей.

Теоретические выводы Бете и других исследователей, занимающихся звездной энергетикой, нуждались в подтверждении и уточнении. Но информацию о процессах, происходящих в недрах звезд, можно получать лишь косвенным путем — изучая световое излучение их поверхности. Ученым оставался единственный путь исследования — моделировать термоядерные реакции, происходящие в звездах, в лабораторных условиях. Этой работой и занялся в 1947 г. профессор Калифорнийского технологического института Уильям Фаулер. Имея богатый опыт работы на ускорителях элементарных частиц, он приступил к изучению различных реакций, которые, как предполагалось, могли бы происходить в недрах звезд. Работу Фаулера по праву можно

считать началом экспериментальной ядерной астрофизики.

В начале 50-х годов в Калифорнийский технологический институт прибыл английский физик-теоретик Фред Хойл, который интересовался экспериментальной проверкой возможности синтеза из ядер гелия более тяжелых элементов. В то же самое время супруги Маргарет и Джеффри Бербедрж обратились к Фаулеру с просьбой помочь им в интерпретации результатов наблюдений, которые показывали аномально высокое содержание тяжелых элементов в некоторых звездах. Основы теории синтеза химических элементов в звездах были изложены ими в статье, опубликованной в 1957 г.; происхождение всех наблюдаемых в природе атомов объяснялось там с помощью ядерных процессов восьми типов.

Фаулер продолжил работу с Хойлом, и в 1980 г. они опубликовали новый труд, в котором рассматривались процессы образования химических элементов при взрывах сверхновых. Эти грандиозные процессы обогащают межзвездную среду тяжелыми элементами, которые входят в состав новых звезд и планет. Можно сказать, что все мы созданы из «пепла сверхновых».

Следует, однако, заметить, что крупные открытия в этой области были сделаны еще более полувека назад. Так, в 1926 г. стала известна природа звезд типа белых карликов. Первым объектом такого рода оказался спутник звезды Сириус. Наблюдения, осуществленные в 1912—1914 гг., показали, что этот слабосветящийся спутник, Сириус В, при массе, равной массе Солнца, по своим размерам сравним с Землей. Отсюда следовало, что плотность вещества Сириуса В чудовищно высока — она в миллион раз превышает плотность воды. Было высказано предположение, что это остатки сгоревших звезд, т. е. звезд, в которых уже прекратились термоядерные процессы. Эти слабосветящиеся тела, поддерживаемые в равновесии различными квантовыми эффектами, в частности так называемым давлением вырожденного электронного газа (это состояние вещества возникает при сверхвысоких плотностях, когда электроны уже не связаны с отдельными ядрами, а свободно движутся относительно них), медленно остывают. Теперь ученые знали не только, как рождаются и горят звезды, но и как они умирают. Всю сложность этих процессов первым понял Субраманьян Чандрасекар.

В 1930 г., окончив Президентский колледж в Мадра-се, Чандрасекар отправился на корабле в Англию, чтобы продолжить там свое образование. Во время длительного путешествия 20-летний индиец из Лахора произвел вычисления и, введя релятивистские представления в существовавшую тогда теорию белых карликов, показал, что существование последних возможно лишь при условии, что их масса не превышает определенного предела (предел Чандрасекара). В Кембридже он закончил свою работу, которая вышла в свет в 1931 г. В ней указывалось, что массивные звезды должны завершать свою жизнь в процессе катастрофического сжатия — коллапса.

Сегодня известно, что звезды массой, примерно в 1,5 раза превышающей массу Солнца, превращаются в конечном счете в нейтронные звезды или черные дыры. В те годы выводы молодого индийца вызвали недоверие астрономов. И только в начале 60-х годов идеи Чандрасекара получили более широкое распространение. Особенно веским аргументом в их поддержку явилось открытие пульсаров Энтони Хьюишем и его сотрудниками. Наблюдения с помощью самых совершенных современных астрономических инструментов позволили уточнить численное значение предела Чандрасекара. Ныне теоретические разработки, сделанные этим ученым, взяты астрофизиками на вооружение. В 1983 г. Чандрасекар получил Нобелевскую премию по физике за исследование строения и эволюции звезд. Вместе с ним был награжден и Уильям Фаулер за изучение ядерных реакций в звездах и создание теории образования химических элементов во Вселенной.

VI ОПТИКА И ГОЛОГРАФИЯ

Оптика — один из старейших разделов физики, в котором исследуются процессы излучения света, его распространения в различных средах и взаимодействие света с веществом. Еще в древние времена многие известные философы интересовались оптическими явлениями и размышляли о них в своих сочинениях. Однако основы современной оптики были заложены лишь в XVII в. благодаря исследованиям И. Ньютона, Р. Гука, Ф. Гримальди и Х. Гюйгенса.

Работы старых исследователей содержали немало рациональных элементов, но были недостаточно совершенны, и только в начале XIX в. оптика обрела более строгий, научный облик. Убедительными экспериментами Томас Юнг и Огюстен Жан Френель доказали волновую природу света. В своей знаменитой теории электромагнитного поля Максвелл выдвинул идею электромагнитной природы света и установил связь между оптическими и электромагнитными явлениями. К концу XIX в. в результате исследований процессов излучения и поглощения сложилось представление о двойственной природе света: было обнаружено, что в одних случаях он ведет себя как поток частиц, а в других — как волна.

За последнее столетие ученые, используя свойства света, поставили немало экспериментов и создали приборы, которыми существенно обогатили различные области науки. Некоторые из ученых-оптиков за свои заслуги были удостоены Нобелевской премии. Первым из них был Альберт Абрахам Майкельсон. Будучи типичным представителем науки XIX в., он считал, что в физике уже почти все открыто и достичь новых результатов можно, только повысив точность экспериментальных измерений — «выше шестого десятичного знака».

Одним из важных вопросов в науке того времени была

проблема так называемого эфира. Физики считали, что это неподвижная среда, заполняющая всю Вселенную, в которой свет распространяется так же, как звук в воздухе. Согласно существовавшим тогда теориям, эфир должен был непременно обнаружиться в некоторых явлениях, и поэтому для доказательства его существования ставились различные опыты. Так, при наличии эфира скорость света должна была зависеть от движения Земли относительно неподвижного эфира.

Постановка таких опытов требовала исключительно точной аппаратуры и большого искусства экспериментаторов. Обе эти предпосылки были налицо у Альберта Майкельсона. В 1881 г. он использовал изобретенный им интерферометр, чтобы решить вопрос об эфире. К своему величайшему удивлению, исследователи обнаружили, что скорость света оказывается одинаковой во всех направлениях *. Это означало крушение концепции эфира. Однако большинство физиков, не желая отказываться от укоренившихся теорий, предпочли отвергнуть результаты Майкельсона. Только Хендрик Антон Лоренц в Лейдене и независимо от него Фрэнсис Фицджеральд в Дублине попытались объяснить результаты наблюдений Майкельсона, выдвинув гипотезу (1892 г.), что при движении со скоростью, близкой к скорости света, размеры тела в направлении движения сокращаются. В 1905 г. Эйнштейн доказал, что сокращение Лоренца — Фицджеральда действительно имеет место. Но идея, предложенная этими двумя учеными с единственной целью — «спасти эфир», приобрела в теории относительности другой смысл.

Основой для этих теоретических достижений явились исключительно точные измерения Альберта Майкельсона. В 1907 г. он был удостоен Нобелевской премии за создание прецизионных оптических инструментов и выполненные с их помощью исследования в спектроскопии и метрологии.

В 30-е годы XIX в. была открыта фотография. Всего за несколько десятилетий она из сложного лабораторного процесса, доступного немногим, превратилась в увлечение миллионов людей. Уже в конце XIX в. крупные

* Этот результат был получен в 1887 г. в экспериментах, проведенных Майкельсоном совместно с Э. Морли.— *Прим. ред.*

фирмы производили столь совершенные фотоаппараты, что фотографу-любителю оставалось просто нажимать спуск. Лишь один вопрос оставался неразрешимым: изображения были только черно-белыми. Единственный способ получения цветных снимков состоял в том, чтобы делать негативы трех основных цветов и накладывать их друг на друга. Но это довольно сложный и трудоемкий способ. Поэтому новость о том, что французский физик Габриель Липман изобрел в 1891 г. метод цветной фотографии, вызвала большой интерес.

Липман вставлял фотопластинку в специальную кассету со ртутью, которая создавала абсолютно ровную зеркальную поверхность. Свет, проходя через эмульсию, отражается от зеркала и возвращается обратно. При интерференции между падающим и отраженным лучами образуются стоячие волны, в результате чего кристаллы серебра в проявленной эмульсии располагаются слоями. При рассмотрении такого негатива свет отражается от него таким образом, что изображение видно в настоящих цветах.

Метод Липмана нашел применение в спектроскопии, однако для практической фотографии он оказался неудобным. Трудности вызывали кассета с ртутью и очень большое время экспозиции (1 мин). Сама же по себе идея очень интересна, и некоторые специалисты даже считают, что Габриель Липман был близок к открытию голографии. За свои оригинальные работы французский ученый получил в 1908 г. Нобелевскую премию по физике.

В 1872 г. немецкий физик-оптик Эрнст Карл Аббе разработал теорию образования изображений в микроскопе. Это явилось вершиной развития данного оптического инструмента, известного еще с начала XVII в. Два столетия многие ученые-экспериментаторы и мастера-оптики создавали разнообразные конструкции этого прибора, пока наконец Аббе, основываясь на законах волновой оптики, не рассчитал теоретически пределы возможностей оптического микроскопа. В 1888 г. он стал сотрудником фирмы Карла Цейса в Йене — и с тех пор началось производство высококачественных оптических микроскопов современного типа.

Единственное большое новшество — после работ Аббе — в конструкцию микроскопов было введено в 1935 г. нидерландским физиком Фрицем Цернике, профессором Гронингенского университета. Первона-

чально его работа была связана с усовершенствованием качества оптической поверхности зеркал для телескопов. В 1935 г. он пришел к мысли, что разработанный им метод может быть применен и в микроскопии.

В микроскопе Цернике лучи света проходят через апертурную диафрагму, отверстие которой имеет форму кольца, а вблизи заднего фокуса объектива помещается так называемая фазовая пластинка, имеющая кольцевидный выступ, или канавку. Лучи света, которые свободно проходят через объект, проходят и через фазовое кольцо, в то время как лучи, рассеянные объектом, отклоняются в сторону. В связи с тем что толщина пластинки различна, возникает разность фаз волн двух световых потоков. В конечном счете в окуляре происходит интерференция лучей, что значительно повышает контрастность изображения. Иными словами, в пластинке различие в фазе волны преобразуется в различие амплитуд, т. е. яркости.

Метод фазового контраста, разработанный Цернике, исключительно ценен для биологических исследований. Обычно живые клетки почти прозрачны. Чтобы были видны детали, их нужно фиксировать и окрашивать. Фазоконтрастный микроскоп позволяет заметить большое количество подробностей структуры, которые иначе не видны или же изменяются при фиксации. Фриц Цернике, автор этой оригинальной идеи, был удостоен в 1953 г. Нобелевской премии по физике за разработку метода фазового контраста и создание фазоконтрастного микроскопа.

В 1947 г. было сделано научное открытие, которое первоначально воспринималось просто как очередное доказательство волновых свойств света, но впоследствии оказалось, что оно является значительно более фундаментальным и может найти широкое применение. Именно тогда была создана голография.

Об этом открытии стало известно в 1948 г., когда английский физик венгерского происхождения Деннис Габор сообщил о разработанном им методе получения объемных изображений. Он назвал этот метод голографией, что означает «полное (объемное) изображение». В отличие от фотографии, которая фиксирует только интенсивность света и создает плоское изображение объекта, голография регистрирует волновой фронт светового луча и воспроизводит трехмерное изображение предмета.

В 1964 году Эммет Лейт и Юрис Упатниекс получили первые голограммы с использованием лазерного луча. Они до некоторой степени видоизменили схему Габора, и теперь голограммы получают путем разделения исходного светового луча на два с помощью полупрозрачного зеркала. Одна часть света отражается от объекта, другая идет непосредственно на фотопластинку. Там световые лучи накладываются друг на друга (интерferируют), и, так как они различаются по фазе, возникает сложная интерференционная картина, которая записывается на светочувствительную эмульсию. Это и есть голограмма. Простым глазом на ней виден переплетающийся орнамент из черточек, точек и т. п. На первый взгляд голограмма выглядит как испорченный негатив, однако она обладает замечательными свойствами.

Если теперь направить на голограмму первоначальный, опорный, пучок света (под тем же углом, как и при записи голограммы), то она будет играть роль дифракционной решетки и восстановит волновой фронт луча, отраженного от предмета, в результате чего возникает трехмерное изображение последнего. Если же через голограмму пропустить отраженный луч, то восстановится первоначальный. Этот метод используется для голографического распознавания образов. Например, если сделать голограмму буквы и посмотреть через нее на написанный текст, то везде, где встречается эта буква, будут видны световые пятна.

Предполагают, что наш мозг осуществляет запись и распознавание изображения способом, сходным с записью голограммы. Если разделить голограмму на части, каждая из них также позволяет восстанавливать изображение, хотя оно оказывается более низкого качества. Аналогичные явления происходят и в мозге: при некоторых его поражениях память не теряется полностью, а лишь ухудшается.

При получении первых голограмм Габор столкнулся с большими трудностями, так как для этого требовались специальные источники света, которых тогда не было. Появление лазеров вдохнуло в голографию новую жизнь. Из лабораторного курьеза она превратилась в метод, который с каждым годом все более широко используется в науке, практике и даже в искусстве. Это принесло Деннису Габору признание, хотя и с некоторым опозданием. Он был избран членом Лондонского королевского обще-

ства и почетным членом Венгерской академии наук. В 1971 г., 23 года спустя после публикации своих первых работ, Габор получил Нобелевскую премию по физике.

Лазеры

Исследования в области радиоэлектроники и взаимодействия радиоволн с веществом привели некоторых ученых к мысли, что обнаруженное явление резонансного поглощения можно использовать для излучения и усиления электромагнитных волн. Подобная мысль, кстати сказать, высказывалась еще в начале века Альбертом Эйнштейном. Занимаясь вопросами излучения и поглощения света, он в 1916 г. предсказал явление индукционного излучения.

Но лишь в конце 40-х годов экспериментаторы начали «догонять» теоретиков. Многие из них внесли большой вклад в развитие электроники и ее замечательного творения — квантовых генераторов, более известных под звучными названиями «мазер» и «лазер». Слава первооткрывателей в этой области принадлежит двум советским ученым Александру Михайловичу Прохорову и Николаю Геннадиевичу Басову, а также американскому физика Чарлзу Харту Таунсу. В 1954 г. почти одновременно в Физическом институте Академии наук (СССР) и в Колумбийском университете (США) эти ученые создали первые квантовые генераторы.

В качестве рабочего вещества использовался аммиак. Молекулы аммиака приводились в возбужденное состояние, после чего создавались условия для их одновременного возвращения на исходный уровень, в результате чего излучался мощный радиопульс. Чарлз Таунс назвал этот аппарат Maser (мазер) — аббревиатура английского выражения Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление микроволн при помощи индуцированного излучения).

Благодаря своей способности усиливать радиоволны мазеры сразу же нашли применение в радиотелескопах. Период 1954—1960 гг. ознаменовался бурным развитием квантовой радиофизики, когда были созданы разнообразные конструкции квантовых генераторов и разработана их теория. Большую роль в этом развитии сыграли работы французского физика Альфреда Кастлера.

В 1949 г., занимаясь радиоспектроскопией, Кастлер установил, что атомы особенно сильно поглощают свет в том случае, когда их собственные частоты попадают в резонанс с частотой возбуждающего излучения. Кастлер использовал этот эффект в своих исследованиях и, постепенно развивая идею, разработал в 1952 г. метод оптической накачки. Для квантовых генераторов это означает, что атомы рабочего тела приводятся в возбужденное состояние внешним источником светового или микроволнового излучения.

В 1958 г. Чарлз Таунс и Артур Шавлов из фирмы «Белл телефон лабораторис» предложили принцип лазера. Изменение первой буквы указывает на то, что здесь речь идет уже об усилении света при помощи индуцированного излучения (Lazer — аббревиатура от английского выражения Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Шавлов предложил использовать для этой цели рубиновые кристаллы цилиндрической формы. В рубине (который представляет собой окись алюминия) имеются микроскопические вкрапления хрома, атомы которого излучают свет.

Рубиновый лазер был создан в 1960 г. американским физиком Теодором Мейманом. В этом приборе рубиновый стержень в течение короткого времени освещался мощным импульсом света. Атомы хрома в кристалле переходили в возбужденное состояние, а затем почти мгновенно возвращались на исходный уровень, испуская кванты света. С двух концов кристалла были помещены два плоских зеркала, причем одно из них — полупрозрачное. Отражаясь поочередно от этих зеркал, световые лучи опять попадают в кристалл, возбуждая новые атомы. Процесс нарастает лавинообразно до тех пор, пока наконец световой импульс не станет настолько мощным, что может пройти через полупрозрачное зеркало.

В этой схеме рубиновый кристалл может быть заменен другим твердым телом, содержащим подходящие для излучения атомы. Такие атомы могут быть рассеяны и в газовой среде. Еще в 1960 г. Али Джаван, американский физик иранского происхождения, создал первый газовый лазер. Впоследствии появились жидкостные лазеры на основе неорганических соединений, а в 1966 г. были созданы первые жидкостные лазеры с органическими красителями, которые благодаря своей низкой стоимости получили широкое распространение.

За три десятилетия с момента создания квантовых генераторов они нашли широкое применение в самых различных сферах человеческой деятельности. Мазеры используются в качестве усилителей в радиотехнике. Лазеры проникают в промышленность, где их огромное по мощности излучение используется в различных технологических операциях. Физики пытаются осуществить с помощью лазерного луча термоядерную реакцию, а геодезисты измеряют расстояние до Луны с точностью до сантиметра. Тонкий лазерный луч играет роль скальпеля при тончайших хирургических операциях. Мы уже говорили о голографии, которая начала по-настоящему развиваться лишь с применением лазеров — мощных источников монохроматического и узконаправленного излучения.

Квантовые генераторы оказались одним из замечательных открытий нашего века. Важность их разработки была оценена Нобелевским комитетом по физике, который присудил в 1964 г. Нобелевскую премию А. М. Прохорову, Н. Г. Басову и Чарлзу Таунсу.

Труды французского исследователя Альфреда Кастлера в значительной степени подготовили почву для создания лазеров. Два года спустя признание пришло и к нему: в 1966 г. Кастлер стал лауреатом Нобелевской премии по физике.

В руках физиков лазер превратился в тонкий исследовательский инструмент. Его мощное монохроматическое излучение открыло новые возможности для спектроскопических исследований электронной оболочки атомов и молекул. Особенно интенсивно стали развиваться исследования в этой области после 1970 г., когда появились лазеры с меняющейся частотой излучения.

В результате стало возможным плавно регулировать длину волны излучения таким образом, чтобы энергия фотонов точно соответствовала частоте перехода между двумя энергетическими уровнями в атоме. Основы этой новой области — нелинейной лазерной спектроскопии — были заложены Николасом Бломбергеном из Гарвардского университета и независимо Артуром Шавловым из Станфордского университета. Большой вклад внесли также советские ученые С. Ахманов и Р. Хохлов.

Получив бурное развитие в 70-е годы, лазерная спектроскопия теперь стала исключительно точным методом исследования, позволяющим регистрировать даже отдель-

ные атомы. На ее основе были разработаны методы стабилизации частоты газовых лазеров, излучение которых используется в качестве эталона длины и времени. Лазерный луч «зондирует» различные среды и позволяет делать экспресс-анализ их состава. С его помощью получают температуру в миллионы градусов и производят спектроскопию высокоионизированных атомов.

Нелинейная лазерная спектроскопия — один из самых совершенных методов исследования в современной экспериментальной физике. Николас Бломберген и Артур Шавлов, два исследователя, внесшие большой вклад в развитие этой области, получили в 1981 г. Нобелевскую премию по физике, разделив ее с Каем Сигбаном, одним из создателей метода рентгеновской спектроскопии.

Эффект Мёссбауэра

Еще в начале 30-х годов, после того как была открыта электромагнитная природа гамма-излучения, ученые заинтересовались вопросом резонансного поглощения гамма-квантов атомными ядрами и возможности наблюдения этого эффекта. Поскольку резонансное (избирательное) поглощение происходит только на определенных частотах, соответствующих энергиям квантовых переходов ядер в возбужденное состояние, наблюдение этого явления могло бы дать ученым тонкий инструмент для исследования атомных ядер. Однако поначалу все попытки исследовать это явление кончались неудачей.

Тогда за дело взялись теоретики. Выяснилось, что причина этого кроется в следующем. Известно, что гамма-квант обладает определенным импульсом, который (в соответствии с законом сохранения импульса) он при поглощении передает ядру; последнее испытывает отдачу — приобретая энергию, оно отскакивает в обратном направлении. Такая же энергия отбирается у ядра при испускании гамма-кванта. При этом линии испускания и поглощения оказываются смещенными друг относительно друга на величину, значительно превышающую ширину линии гамма-излучения.

Установив причину всех неудач, исследователи начали предпринимать попытки преодолеть возникающие трудности каким-то искусственным путем. Однако более эффективный метод наблюдения резонансного поглощения гамма-квантов был предложен позднее.

В 1955 г. в Институт им. Макса Планка (Гейдельберг, ФРГ) поступил в аспирантуру молодой физик Рудольф Людвиг Мёссбауэр. Тема его диссертации — как, впрочем, и большинства диссертаций — была весьма тривиальна: «Исследование резонансного поглощения гамма-квантов», т. е. задачей соискателя было более подробно разобраться в чем-то, в принципе уже известном. Успешная разработка темы сулила Мёссбауэру степень доктора философии. Случилось, однако, нечто большее — диссертация принесла аспиранту Нобелевскую премию.

По плану, намеченному руководителем лаборатории, сначала предполагалось применить уже известный метод наблюдения резонанса путем сильного нагрева излучающего вещества и вещества-приемника. Однако у аспиранта были свои идеи, и он, несмотря на риск провала диссертации и предупреждения со стороны руководителя, пошел по другому пути.

Рудольф Мёссбауэр начал с самого главного: если причиной исчезновения резонанса является отскок атомных ядер, то нельзя ли найти какой-то способ «фиксировать» ядра? Ответ был гениально прост. Это возможно, если атом связан в кристаллической решетке твердого тела и если кристалл охлажден до температуры, близкой к абсолютному нулю. В этом случае отскок атомного ядра при поглощении им гамма-кванта передается миллионам атомов, превращаясь в энергию колебаний кристаллической решетки. Сам Мёссбауэр приводил пример со стрельбой из винтовки. При выстреле происходит отскок, но если винтовка упирается в стену, то отскок ничтожен, так как масса стены во много раз превосходит массу винтовки. Все это легко сформулировать теоретически; однако успешная реализация идеи Мёссбауэра была осуществлена лишь в 1958 г., когда его диссертация уже «висела на волоске». В своем эксперименте Мёссбауэр использовал кристалл иридия, охлажденный жидким воздухом. Тогда-то и был открыт «ядерный гамма-резонанс без отдачи ядра». Вместо этой длинной фразы теперь просто говорят «эффект Мёссбауэра».

Особенно ярко эффект наблюдается, когда источник гамма-излучения медленно движется к мишени. Эффект Мёссбауэра дал в руки ученым исключительно чувствительный экспериментальный метод исследования, который нашел широкое применение в различных областях науки и техники. С его помощью исследуются продол-

жительность жизни изотопов, магнитные поля атомов и другие свойства твердых тел. Он открывает возможность и для непосредственной проверки теории относительности.

Когда Рудольф Мёссбауэр сделал свое открытие, ему было всего 29 лет. Три года спустя, в 1961 г., он (наряду с Робертом Хофстедтером) стал лауреатом Нобелевской премии по физике — за исследования резонансного поглощения гамма-квантов и открытие эффекта, носящего его имя.

VII МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В истории физики важное место занимают исследования магнетизма. Это известное с древнейших времен явление стало объектом научных экспериментов еще в XVII в. За два последних столетия явление магнетизма было изучено достаточно полно и всесторонне; в частности, была выявлена связь магнетизма и электричества. Полученные данные легли в основу созданной Максвеллом в 1865 г. теории электромагнитного поля.

Новый этап в исследовании магнитных явлений наступил после того, как в 1880 г. нидерландский физик Хендрик Антон Лоренц создал электронную теорию. На основе этой теории он объяснил целый ряд физических явлений и предсказал новые. В частности, он предсказал явление расщепления спектральных линий в сильном магнитном поле. И когда в 1896 г. нидерландский физик Питер Зеeman открыл такой эффект (названный в дальнейшем его именем), это означало огромный успех теории Лоренца. Лоренц разработал и теорию этого эффекта. В 1902 г. Лоренц и Зеeman были удостоены Нобелевской премии по физике.

Дальнейшее развитие теории магнетизма связано с именем французского физика Поля Ланжевена. В 1905 г. он, основываясь на представлениях электронной теории, разработал термодинамическую и статистическую теорию диа- и парамагнетизма. Эти два понятия были введены еще в 1845 г. Майклом Фарадеем. Говоря кратко, диамагнетизм — это свойство вещества намагничиваться во внешнем магнитном поле в направлении, противоположном направлению поля, а парамагнетизм — свойство вещества намагничиваться в направлении поля. Теория Ланжевена связывала диамагнетизм с особенностями движения электронов по орбитам вокруг ядра, а парамагнетизм — с ориентацией собственных магнитных моментов атомов и молекул. Впо-

следствии оказалось, что источником магнитного поля атома является не только движение электрона вокруг атомного ядра, но и спин электрона. В сущности, спин, который сначала связывали с вращением частицы вокруг собственной оси, был открыт при исследовании магнитных явлений, в частности эффекта Зеемана. Эксперименты указали и третий источник магнетизма — само ядро атома. Первые исследования магнетизма проводились с обладающими магнитными свойствами природными материалами. Еще с давних времен была известна железная руда под названием «магнитный железняк» (от которого, собственно, и происходит термин «магнетизм»), которая создает достаточно сильное магнитное поле. Вся совокупность этих свойств железа получила название «ферромагнетизм». Вначале считалось, что ферромагнетизм — просто одна из форм парамагнетизма. Позднее выяснилось, что механизм этих явлений различен. Среди первых попыток создать теорию ферромагнетизма особо следует отметить работы французского физика Пьера Эрнеста Вейса. В 1907 г. он высказал гипотезу о существовании в ферромагнетиках внутреннего магнитного поля и областей самопроизвольной намагниченности (участки Вейса). Магнитные моменты атомов в ферромагнетиках ориентированы параллельно, поэтому материал обнаруживает магнитные свойства и в отсутствие внешнего магнитного поля.

У французских физиков существуют богатые традиции исследований в области магнетизма. Одним из носителей этих традиций является Луи Эжен Феликс Неель. Как Пьер Вейс и Поль Ланжевен, он также избран членом Парижской академии наук. В 1930 г., работая в Страсбургском университете, Неель открыл явление антиферромагнетизма. Если в ферромагнетиках магнитные моменты атомов ориентированы в одном направлении, то в антиферромагнетиках они ориентированы навстречу друг другу (антипараллельно) и взаимно компенсируют друг друга; поэтому в отсутствие магнитного поля намагниченность тела в целом равна нулю.

В 1948 г. Неель, будучи уже профессором Гренобльского университета, занялся ферритами — одним из видов химических соединений окислов переходных металлов с окисью железа, обладающих специфической структурой и магнитными свойствами. Французский ученый дал объяснение сильному магнетизму ферритов, показав,

что в их кристаллах атомные магнитные моменты ориентированы, как у антиферромагнетиков, но по величине противоположно направленные магнитные моменты различны, и поэтому не происходит их взаимной компенсации.

Исходя из своей теории, Неель описал поведение новых синтетических магнитных материалов. За фундаментальные работы по магнетизму Луи Неель был удостоен в 1970 г. звания лауреата Нобелевской премии по физике, разделив эту награду с Ханнесом Альфвенем.

Одним из создателей современных представлений о магнетизме вещества является американский физик Джон Хансбрук Ван Флек. В период 1926—1928 гг., работая в Миннесотском университете, он разработал квантовомеханическую теорию диа- и парамагнетизма. Первоначально теория касалась только газов и неметаллических соединений, но впоследствии была распространена и на кристаллы. В 1932 г. Ван Флек опубликовал обширную монографию, посвященную проблемам магнетизма, которая приобрела широкую известность в научных кругах. В 30-е годы эта и другие работы Ван Флека сыграли большую роль в развитии квантовой теории химических связей. Пройдя долгий плодотворный путь и сохранив работоспособность до преклонного возраста, этот ученый стал лауреатом Нобелевской премии по физике лишь в 1977 г.— в возрасте 88 лет. Ван Флек получил это высокое признание за исследования магнетизма вещества, в частности за работы в области упорядоченных магнитных систем, каковыми являются кристаллы.

Вместе с Ван Флеком Нобелевской премии были удостоены Филип Андерсон, его ученик из Гарвардского университета, и английский физик Невилл Мотт. Андерсон известен своими работами по магнетизму и сверхпроводимости, а Мотт — множеством исследований в различных областях физики твердого тела, которые он проводил на протяжении почти четырех десятилетий. Однако эти два ученых, по существу, были награждены за исследования локализации электронных состояний в неупорядоченных системах, к которым относятся жидкие, аморфные и стекловидные вещества.

В современной науке неупорядоченные системы — одно из особенно бурно развивающихся и перспективных направлений исследования. С аморфными полупро-

водниками, например, связываются надежды на дальнейшее развитие микроэлектроники. Признанием заслуг в этой области исследований и явилось присуждение в 1977 г. Нобелевской премии Филипу Андерсону и Невиллу Мотту.

Важное место в исследовании магнетизма занимают эксперименты, связанные с измерением магнитных моментов атомов и элементарных частиц. В 1922 г. Отто Штерн и Вальтер Герлах из Франкфуртского университета поставили опыт, доказывающий наличие у атома магнитного момента. Они пропускали поток атомов серебра между полюсами магнита в вакуумной камере. Как и ожидалось, поток разделился на два и на экране образовались два серебряных пятнышка. Это подтвердило, что атомы можно рассматривать как миниатюрные магнитики с магнитной осью, с северным и южным магнитными полюсами, которые соответствующим образом ориентируются в пространстве относительно внешнего магнитного поля.

В 1933 г. Отто Штерн вместе с Отто Фришем в опытах, проведенных в Гамбургском университете, впервые измерили магнитный момент протона в молекуле водорода, пропуская поток молекул через магнитное поле. Однако их метод был довольно груб, и для получения более точных результатов нуждался в усовершенствовании. Это и осуществил в 1937 г. Изидор Айзек Раби, работавший в Колумбийском университете. Для определения ядерных магнитных моментов он использовал разработанный им метод магнитного резонанса атомных ядер в молекулярных пучках, действуя на них одновременно магнитным полем и высокочастотным излучением. Это позволило во сто крат увеличить точность измерений.

Исследования магнитных свойств атомов имели важное значение для изучения их структуры. За развитие молекулярно-лучевого метода и открытие магнитного момента протона Отто Штерн получил в 1943 г. Нобелевскую премию по физике. В 1944 г. Нобелевской премии был удостоен Изидор Раби — за разработку метода магнитного резонанса в молекулярных пучках и исследование магнитных свойств в атомах ядер.

В 1946 г. швейцарец Феликс Блох, работавший в Станфордском университете, и американец Эдвард Милс Парселл из Гарвардского университета независимо друг от друга создали точные методы измерения магнит-

ных моментов ядер и элементарных частиц. Магнитное поле ядра примерно в тысячу раз меньше магнитного поля электрона, поэтому для его исследования требовалась исключительно чувствительная аппаратура. В экспериментах Раби были измерены магнитные моменты протона, дейтрона и некоторых других легких атомных ядер. Были получены очень точные результаты, достигнутые, однако, ценой большой сложности опытной установки. Взаимодействие магнитных моментов ядер с высокочастотным излучением исследовалось по отклонению пучков молекул в магнитном поле.

Метод ядерного магнитного резонанса, предложенный Парселлом и Блохом, позволял исследовать вещество в любом состоянии: в твердом, жидком и газообразном. Взаимодействие ядерных моментов с высокочастотным полем наблюдается как магнитный эффект, который легко регистрируется аппаратурой. Короче говоря, при этом измеряется поглощение энергии радиочастотного поля или определяется электромагнитная индукция в образце.

Ядерный магнитный резонанс оказался сравнительно легко реализуемым методом исследования магнитных моментов ядра. После того как он впервые был применен в 1946 г., им стали широко пользоваться для изучения изотопов химических элементов. Дальнейшее усовершенствование метода дало возможность исследовать строение электронных оболочек атомов и молекул и на этой основе — структуру вещества. Метод исследования, созданный Фелликсом Блохом и Эдвардом Парселлом, нашел широкое применение в современной науке и принес этим двум ученым в 1952 г. Нобелевскую премию по физике.

В 1947 г. два молодых физика из лаборатории Изидора Раби сделали важные открытия, касающиеся воздействия электромагнитного поля на электроны в атоме. Поликарп Каш занимался исследованием магнитного момента электрона, а Уиллис Юджин Лэмб изучал тонкую структуру спектра водорода. Их исследования сыграли большую роль в окончательном становлении квантовой электродинамики, основы которой заложили Ричард Фейнман, Джулиус Швингер и Синьитиро Томонага — лауреаты Нобелевской премии 1965 г.

Результаты спектральных исследований Уиллиса Лэмба показали, что электрон в атоме водорода не дви-

жется точно по орбитам, предписанным теорией. Он как будто непрерывно колеблется, отклоняясь то в одну, то в другую сторону. Согласно квантовой электродинамике, этот эффект обусловлен взаимодействием между электроном и вакуумом.

В современной физике все более утверждается мнение, что вакуум — это отнюдь не «пустота», вакуум имеет свою микроструктуру. Так, под действием электромагнитного поля в вакууме непрерывно происходит процесс рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар. Именно эти так называемые виртуальные частицы нарушают движение электрона по орбите, что и обнаруживается по спектральным линиям излучения.

В опытах Поликарпа Каша с использованием метода молекулярных пучков определялось отношение магнитного момента протона к орбитальному магнитному моменту электрона в атоме водорода. Оказалось, что магнитный момент электрона больше, чем это следовало из теории Дирака. Как и результаты Лэмба, это объяснялось тем, что электрон не является «голым», а окружен виртуальными частицами-призраками, рождающимися в вакууме.

Точнейшие исследования, проведенные в конце 40-х годов, приоткрыли завесу и над тайнами других, более фундаментальных свойств материи, поставив принципиальный вопрос о структуре вакуума и вообще о существовании «абсолютного» вакуума. В последнее время стали даже поговаривать о возврате к представлениям об эфире, столь распространенным вплоть до конца XIX в., но, разумеется, на качественно новом уровне. Большой научный вклад Уиллиса Лэмба и Поликарпа Каша довольно скоро получил и официальное признание — в 1955 г. они были удостоены Нобелевской премии по физике.

Туннельный эффект

Согласно представлениям классической физики, чтобы перейти из одного энергетического состояния в другое, частица должна преодолеть так называемый потенциальный барьер, т. е. должна обладать достаточной энергией, чтобы «оторваться» от системы, в которой находится. Однако в странном мире квантовых явлений частицы свободны от этих ограничений. Они как бы ис-

пользуют некий «туннель», который позволяет им проникать через потенциальный барьер. Это довольно странное на первый взгляд явление вытекает из принципа неопределенности Гейзенберга.

Рассмотрим в качестве примера альфа-частицу. Она состоит из двух протонов и двух нейтронов, находящихся в атомном ядре. Если альфа-частица получает достаточно большую энергию, то она, преодолев ядерные силы, покидает ядро — тогда-то и наблюдается альфа-излучение. Однако, как указывает соотношение неопределенностей, обычно невозможно одновременно определить координату и импульс микрочастицы. Этим и объясняется следующее парадоксальное явление: частицы с энергией меньшей, чем необходимо для преодоления потенциального барьера, могут пройти сквозь него.

Представление о туннельном эффекте было применено для объяснения не только альфа-распада, но и ряда других явлений. В 1957 г. японский физик Лео Эсаки, работавший в компании «Сони», открыл экспериментально подобный эффект у полупроводников и создал первый туннельный диод. В те годы исследование туннельного эффекта было новостью в науке, и им занимались многие ученые.

В 1960 г. норвежский физик Айвар Джайевер из «Дженерал электрик» провел первые наблюдения туннельного эффекта в сверхпроводниках, в которых электроны туннелировали из одного сверхпроводника в другой, и изучил закономерности этого явления. Он, в частности, высказал мысль о возможности использования туннельного эффекта для измерения температуры. В 1962 г. английский физик Брайан Джозефсон, лишь два года назад закончивший Кембриджский университет, предсказал новый вид туннелирования, который действительно вскоре был открыт; он получил название «эффект Джозефсона».

Этот эффект наблюдается при протекании сверхпроводящего тока через очень тонкий слой диэлектрика, разделяющий два сверхпроводника (так называемый контакт Джозефсона). Если ток через контакт Джозефсона не превышает определенного значения, то падение напряжения на контакте отсутствует (так называемый стационарный эффект Джозефсона). Если же через контакт протекает ток больше критического, то возникает падение напряжения и контакт излучает высокочастот-

ные электромагнитные волны. Это нестационарный эффект Джозефсона, который был открыт в 1965 г. Джайевером.

Туннельный эффект дал возможность поставить различные точные эксперименты и построить высокочувствительные приборы для физических исследований. Кроме чисто научного интереса этот эффект в последние годы приобретает широкое практическое значение.

Трое ученых, внесших наибольший вклад в эти исследования, Лео Эсаки, Айвар Джайевер и Брайан Джозефсон, были удостоены в 1973 г. Нобелевской премии по физике.

Технические достижения

Альфред Нобель, инженер, связанный прежде всего с практикой, несомненно, хорошо знал, что он имел в виду, когда написал в своем завещании о награждении за открытия, приносящие наибольшую пользу человечеству. Однако уже с самого начала Нобелевские комитеты стали трактовать эту формулировку более широко. Тем не менее были случаи, когда исследования приводили к открытиям и разработкам, которые в буквальном смысле соответствуют формулировке Нобеля.

К числу таких чисто инженерных работ относится автоматическое устройство для зажигания и гашения морских маяков, созданное шведским инженером Нильсом Густавом Даленом. Действие устройства основано на использовании эффекта теплового расширения металлов. После захода солнца механическая конструкция охлаждается и приводится в действие, включая маяк. Для побережья Швеции, с его многочисленными островами и заливами, такое устройство чрезвычайно важно. Оно позволило построить множество маяков, работающих автоматически и не нуждающихся в обслуживающем персонале.

Открытие инженера Далена, несомненно, принесло большую практическую пользу человечеству, так как его автоматические маяки спасли жизнь многим людям и повысили безопасность мореплавания. По этим соображениям шведскому изобретателю в 1912 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

Исследования механических свойств металлов увенчались в 1920 г. еще одним награждением. Швейцарский

физик Шарль Эдуард Гильом был удостоен Нобелевской премии за создание сплавов, нашедших широкое применение в метрологии, прецизионной технике, при изготовлении высокоточных инструментов и измерительных стандартов.

Гильом был известным метрологом конца прошлого века. Он один из специалистов, создавших платино-иридиевые эталоны метра. Эти металлические стержни перестали применять после того, как в 1890 г. Альберт Майкельсон, сконструировав свой интерферометр, создал тем самым новый эталон метра — на оптической основе. Однако эталоны других единиц измерения остались в виде металлических образцов.

В 1899 г. Шарль Гильом начал исследовать сплавы никеля со сталью. В зависимости от относительного содержания компонентов он получал материалы различного качества. Один из таких сплавов практически не испытывал линейного расширения при нагревании. Он был назван «инваром» (от латинского «инвариабилис», что значит «неизменный»). Другой сплав, названный «элинваром», сохранял свою эластичность неизменной в широком интервале температур.

Исследование Гильомом сплавов никеля со сталью явилось большим вкладом в метрологию, и этот вклад был оценен присуждением ученому Нобелевской премии по физике за 1920 г. Но кроме чистой науки они имели важное значение и для практики. Миллионы часов изготовлены из специальных сплавов, созданных швейцарским физиком. Его награждение — хотя и на короткое время — привлекло внимание общественности к области науки, которая не пользовалась особой популярностью.

«Наковальни Бриджмена»

Влекомые стремлением познать неизвестное, ученые подвергают вещество сверхсильным воздействиям, пытаются выяснить, что с ним при этом происходит. Сверхвысокие температуры — это физика плазмы. Сверхнизкие температуры — царство сверхпроводимости и квантовых жидкостей. Существует также физика сверхвысоких давлений. Пионером в этой области по праву считается профессор Гарвардского университета Перси Уильямс Бриджмен. До него исследовались давления до 3 тыс. атм. Он поднял эту цифру до 500 тыс., а сегодня

его последователи достигли 6 млн. атм, или 6 мегабар.

Физика сверхвысоких давлений целиком зависит от техники. Обычный поршневой пресс позволяет получать давление максимум в 50 тыс. атм. Выше этого предела самые прочные поршни и цилиндры разрушаются. Принципиальным новшеством стали «наковальни Бриджмена», в которых давление создается в тонком слое вещества, заключенного между коническими поршнями.

Если поршни изготовить из прозрачного материала, например из алмаза, то можно непосредственно наблюдать за тем, что происходит с веществом при сверхвысоких давлениях.

Превысив определенный предел, возрастающее давление приводит к изменению упорядоченной атомной и молекулярной структуры вещества, в результате чего вещество переходит в новые состояния, которые физики называют фазами. В некоторых случаях после охлаждения или снятия давления состояние, достигнутое в весьма специфических условиях, сохраняется. Примером может служить закаленная сталь, которая получается при быстром охлаждении раскаленной докрасна стали, или алмаз, который образуется из графита при давлении в 100 тыс. атм и температуре 2000°C , но сохраняет свои свойства и при нормальных условиях.

С помощью своей аппаратуры Бриджмен получил шесть разновидностей льда. В экстремальных условиях, создаваемых «наковальнями», он осуществил широкие исследования электрической проводимости металлов, фазовых превращений, прочности материалов, вязкости, сжимаемости и других свойств веществ.

Работы Перси Бриджмена получили высокую оценку — в 1946 г. он был удостоен Нобелевской премии за создание аппаратуры для получения сверхвысоких давлений и за открытия в этой области. *

* П. Бриджмен разрабатывал также вопросы методологии измерений и в 1920 г. дал математическое изложение анализа размерностей (метода определения связи между физическими величинами по их размерности). Он стал также основоположником операционализма, создав идеалистическую в целом программу операционного построения языка науки. Так как в своих работах Бриджмен затрагивал фундаментальные проблемы методологии естественных наук, в частности смысла естественнонаучных понятий, связи понятий с экспериментом, существования объектов, к которым эти понятия относятся, и т. д., он получил большую известность и как философ. — *Прим. ред.*

Данная область физики оказалась весьма важной в практическом отношении. Уже в 1955 г. были созданы первые искусственные алмазы, и сегодня существует целая отрасль промышленности, занимающаяся их производством, которая особенно развита в Советском Союзе. Сегодня на повестку дня поставлен вопрос о получении металлического водорода и других экзотических материалов. Техника сверхвысоких давлений дает возможность моделировать различные процессы, которые, как предполагается, происходят в недрах нашей планеты. Вряд ли когда-нибудь ученым удастся достичь «центра» Земли, о чем фантазировал Жюль Верн, но, во всяком случае, «наковальни Бриджмена» помогут нам получить представление о том, что там происходит.

Путь к абсолютному нулю

В конце XIX в. широкое распространение получили опыты по сжижению газов. Исследователям удалось получить жидкие кислород, водород и гелий; появились и технические средства, необходимые для создания сверхнизких температур. Эксперименты такого рода привели в конце концов к важным результатам: в физике были открыты явления сверхтекучести и сверхпроводимости, в химии — группа инертных газов.

Первые научные исследования свойств газов относятся к XVII в. Англичанин Роберт Бойль и француз Эдм Мариотт установили закон изменения объема данной массы газов от давления при постоянной температуре. В конце XVIII в. нидерландский физик Мартин Ван Марум, занимаясь экспериментальной проверкой закона Бойля — Мариотта, обнаружил, что при давлении в 7 атм газообразный аммиак переходит в жидкое состояние. Незадолго до этого Антуан Лоран Лавуазье обратил внимание на роль охлаждения. Идя этими двумя путями (используя высокое давление и низкие температуры), ученые XIX в. пытались сжижать газы.

В 60-е годы прошлого века Томас Эндрюс из Королевского колледжа в Белфасте провел серию экспериментов, желая выяснить, как влияют давление и температура на состояние вещества и на его переход из жидкого состояния в газообразное. Он выявил интересные законо-

мерности, которые впоследствии были обобщены Яном Дидериком Ван-дер-Ваальсом. В 1873 г. этот нидерландский физик вывел уравнение состояния реального газа, в котором учитывались объем молекул и силы взаимодействия между ними. Работа Ван-дер-Ваальса имела большое значение как для физики, так и для химии, поскольку в ней впервые агрегатное состояние вещества рассматривалось с точки зрения атомистических представлений о его микроструктуре.

В 1910 г. Нобелевский комитет по физике наконец принял решение о присуждении премии видному исследователю, который сделал свои открытия несколько десятилетий назад, — тем самым, казалось бы, нарушались условия, оговоренные в завещании Альфреда Нобеля. В период, когда началось интенсивное исследование строения атома, Ван-дер-Ваальс стал лауреатом Нобелевской премии, так как он первым показал реальность существования молекул.

В конце прошлого столетия исследованием поведения газов при сверхнизких температурах занимался и известный английский физик Джон Уильям Стретт (лорд Рэлей). Он хотел проверить гипотезу Уильяма Праута о том, что все химические элементы образуются путем «конденсации» атомов водорода. Определяя вес атмосферных газов, Рэлей установил, что атмосферный азот тяжелее азота, полученного химическим путем. В сущности, это было установлено еще в XVIII в., после того как Генри Кавендиш провел в 1785 г. соответствующие эксперименты. Однако это открытие, как и многие другие работы талантливого, но очень замкнутого ученого, долгое время оставалось неизвестным научной обществу.

В 1892 г. Рэлей публикует результаты своих исследований, из которых следовало, что в атмосфере присутствует какой-то неизвестный элемент. Два года спустя Рэлей вместе с химиком Уильямом Рамзаем сумел идентифицировать это вещество. Они показали, что в воздухе имеется химически инертный газ, относительное содержание которого составляет один процент. Поскольку этот газ не вступал ни в какие химические реакции, он получил греческое название «аргон» (что в переводе означает «инертный»).

Химик Рамзай сразу же понял, что здесь он имеет дело с особым химическим элементом. Из таблицы Менде-

лева следовало, что наряду с гелием должна существовать целая группа инертных элементов, обнаружение которых могло бы придать законченность этой системе классификации. Рамзай приступил к интенсивным исследованиям, завершившимся в 1895 г. получением гелия. Ранее этот элемент был открыт лишь на Солнце — при исследовании солнечного спектра. В последующие три года упорной работы были открыты и остальные газы, относящиеся к этой группе: криптон, ксенон и неон. Последний представитель группы инертных газов — радиоактивный радон — обнаружен Рамзаем в 1903 г.

Стокгольмские профессора не оставили без внимания эти успехи, и в 1904 г. Уильям Рамзай получил Нобелевскую премию по химии за открытие инертных газов и определение их места в периодической системе элементов. Одновременно с ним премию по физике получил Рэлей — за исследования газов, приведшие к открытию аргона, а также за определение его свойств и места в периодической системе.

Сжижение газов перестало быть проблемой после того, как в 1894—1896 гг. немецкий инженер Карл Линде сконструировал первую промышленную установку для получения жидкого воздуха. В 1898 г. Джеймс Дьюар получил жидкий водород, а в 1908 г. Хейке Камерлинг-Оннес, достигнув температуры 4,2 К — что лишь немного выше абсолютного нуля, — получил жидкий гелий. Однако только почти через три десятилетия было открыто замечательнейшее свойство гелия — его сверхтекучесть. Честь этого открытия принадлежит видному советскому физика Петру Леонидовичу Капице.

Этот талантливый ученик известного физика А. Ф. Иоффе в 1921 г. был направлен в научную командировку в Англию, где работал в Кавендишской лаборатории, руководимой Резерфордом. Капица быстро проявил себя как талантливый экспериментатор, наделенный способностями не только ученого, но и инженера. Он сконструировал установку для получения сильных магнитных полей и исследовал их влияние на свойства различных металлов. Затем он решил заняться изучением свойств металлов при низких температурах. Подходя к проблеме, как всегда, своим оригинальным путем, Капица построил новые высокоэффективные установки для сжижения газов, в которых вместо поршневых

компрессоров использовались более совершенные, турбодетандерные.

Эти исследования проводились уже по возвращении Капицы в Москву, где он возглавил основанный в 1935 г. Институт физических проблем. В этом институте в 1937 г., работая на мощной установке для получения низких температур, ученый открыл явление сверхтекучести гелия. Некоторые исследователи и раньше наблюдали странное поведение этого газа при температуре около 2 К, однако лишь Капица детально описал это явление.

Явление сверхтекучести гелия II получило объяснение в 1941 г. в работе Льва Давыдовича Ландау, заведовавшего тогда теоретическим отделом Института физических проблем. Согласно теории Ландау, гелий II можно представить состоящим из двух компонент: нормальной и сверхтекучей. При температуре 2,19 К наблюдается фазовый переход между двумя состояниями.

Гелий II наблюдал еще в 1926 г. Камерлинг-Оннес. В 1936 г. Виллем Хендрик Кеезом в Лейденском университете обнаружил, что это вещество обладает аномально высокой теплопроводностью. В следующем, 1937 г. Капица заметил, что вязкость гелия II в миллионы раз меньше, чем у гелия I. По существу, в зависимости от метода измерения вязкости обнаруживается либо нормальная, либо сверхтекучая компонента гелия II. За несколько лет до Капицы группа ученых из Торонтского университета, исследуя гелий II, измерила вязкость только нормальной компоненты, тогда как Капица открыл сверхтекучесть.

Созданная Ландау теория сверхтекучести и представление о гелии II как о слабозбужденной квантовой системе оказались весьма плодотворными для физической теории. За это достижение Л. Д. Ландау был удостоен в 1962 г. звания лауреата Нобелевской премии по физике. О его награждении стало известно вскоре после того, как он тяжело пострадал в автомобильной катастрофе и, к сожалению, уже не смог более вернуться к активной научной деятельности.

П. Л. Капица, открывший явление сверхтекучести, получил Нобелевскую премию лишь в 1978 г. вместе с радиоастрономами Пензиасом и Вильсоном, открывшими фоновое микроволновое излучение. Несмотря на свой преклонный возраст, ученый энергично руководил

коллективом, занимавшимся, в частности, проблемами термоядерного синтеза. Свою Нобелевскую лекцию он посвятил главным образом этому вопросу. Прожив долгую жизнь, полную напряженного творческого труда, П. Л. Капица умер 8 апреля 1984 г.

Сверхпроводимость

Исследования в области низких температур, первоначально преследовавшие сугубо практические цели, а затем проводившиеся для получения газов в чистом виде и изучения фазовых переходов вещества, в наш век привели к крупным научным открытиям. В 1908 г. нидерландский физик Хейке Камерлинг-Оннес получил жидкий гелий, приблизившись к температуре лишь на 1 градус выше абсолютного нуля. Располагая такой техникой, он задумал провести серию обычных физических экспериментов, связанных с изучением свойств вещества. Прежде всего он решил проверить замеченный ранее эффект увеличения электропроводности с понижением температуры. В 1911 г. Камерлинг-Оннес совершенно неожиданно обнаружил, что при температуре жидкого гелия сопротивление ртутного проводника внезапно снижается в миллионы раз и практически исчезает. Это странное явление получило название «сверхпроводимость». Открытие Камерлинг-Оннеса произвело большое впечатление на ученых, и уже в 1913 г. ему была присуждена Нобелевская премия по физике.

Открытие явления сверхпроводимости было с энтузиазмом воспринято электротехниками, ибо вселяло надежды на создание высокоэффективных электрических машин. Однако довольно скоро выяснилось, что восторги были преждевременными. Проблема заключалась не только в сложности охлаждения проводника до сверхнизких температур, но и в том обстоятельстве, что сильные магнитные поля приводили к исчезновению сверхпроводимости. Лишь в начале 30-х годов были открыты сплавы, на которые магнитные поля не оказывали влияния.

В это время Вальтер Мейснер и Р. Оксенфельд обнаружили явление «выталкивания» магнитного поля сверхпроводником. Этот интересный факт послужил основой для создания теории сверхпроводимости. Первые успе-

хи в этом направлении принадлежат братьям Фрицу и Гейнцу Лондон.

Как и многие представители немецкой интеллигенции, братья Лондон в годы фашизма эмигрировали из Германии в Англию. В 1935 г., работая в Оксфордском университете, они создали феноменологическую теорию сверхпроводимости, предложив уравнения, описывающие поведение сверхпроводников в слабых магнитных полях.

Но лишь через 20 лет был сделан следующий, решающий шаг. В 1957 г. американские физики Джон Бардин, Леон Купер и Джон Роберт Шриффер построили микроскопическую теорию сверхпроводимости *, где это явление описывалось с точки зрения квантовых представлений.

Еще в 1950 г. английский физик Герберт Фрелих, также эмигрировавший из Германии в 30-е годы, разработал теорию сверхпроводимости, связав ее с так называемым электронно-фононным взаимодействием. В это же время аналогичные идеи высказывал Дж. Бардин из Иллинойского университета. Согласно этим представлениям, электроны взаимодействуют между собой через колебания кристаллической решетки. При сверхнизких температурах тепловое движение в веществе практически исчезает, и тогда проявляются слабые колебания атомов, вызываемые электронами. Эти колебания подобны звуковым волнам, но вместе с тем имеют квантовый характер; в связи с этим советский ученый Игорь Евгеньевич Тамм назвал их в 1930 г. фононами.

Следующий шаг в исследовании явления сверхпроводимости был сделан в 1956 г. Леоном Купером также из Иллинойского университета. Он установил, что при сильном охлаждении вещества электроны в результате обмена фононами объединяются в пары. Эта сила связи очень слаба, и до Купера никто не предполагал, что она может играть сколько-нибудь существенную роль.

Современная теория сверхпроводимости (известная под названием «БКШ-теория») в ее окончательном виде была опубликована в 1957 г. Бардином, Купером и

* Большой вклад в создание теории сверхпроводимости и сверхтекучести внес видный советский физик академик Николай Николаевич Боголюбов.— *Прим. ред.*

Шриффером, также сотрудником Иллинойского университета. Она объясняет данное явление как движение электронов через кристаллическую решетку; это весьма напоминает процесс, который был предложен в 1940 г. Л. Д. Ландау для объяснения явления сверхтекучести. В БКШ-теории исследуются также электро- и термодинамические свойства сверхпроводников. За выдающийся вклад в понимание столь сложного явления, как сверхпроводимость, три исследователя были удостоены в 1972 г. Нобелевской премии по физике. Для Джона Бардина это была вторая поездка в Стокгольм, так как в 1956 г. он уже получил Нобелевскую премию (вместе с Шокли и Браттейном) за создание первого полупроводникового прибора — транзистора.

Фазовые переходы

Перевоплощения жидкого гелия (переход в сверхтекучее состояние) и сверхпроводников — лишь единичные примеры фазовых переходов веществ. К такого рода явлениям относятся испарение и конденсация, плавление и затвердевание, изменение магнетизма при нагревании и т. д. Критические состояния вещества и переходы его из одной фазы в другую наблюдаются довольно часто, и ученые давно интересуются этими процессами. В 30-е годы некоторые ученые пытались выяснить общие закономерности таких критических явлений и объяснить их с термодинамической точки зрения. Особых успехов добился здесь Л. Д. Ландау. В 1937 г. в возрасте 29 лет он разработал общую теорию фазовых переходов второго рода, при которых не происходит резких изменений плотности вещества, концентрации компонентов и теплоты перехода. К такого рода переходам относятся: переход парамагнетик — ферромагнетик; переход парамагнетик — антиферромагнетик; переход металлов и сплавов из нормального в сверхпроводящее состояние; переход гелия в сверхтекучее состояние и т. д. Ландау рассматривал фазовые переходы второго рода как точки изменения симметрии: выше точки перехода система, как правило, обладает более высокой симметрией, чем ниже точки перехода. Например, в магнетике выше точки перехода спиновые магнитные моменты ча-

стиц ориентированы хаотически и одновременное вращение всех спинов вокруг одной и той же оси на одинаковый угол не меняет физических свойств системы. Ниже точки перехода спины имеют некоторую преимущественную ориентацию, и одновременный их поворот меняет направление магнитного момента системы.

При математическом описании подобных систем частиц с интенсивным взаимодействием за основу берется упрощенная модель — двумерная решетка (так называемая решетка Изинга), в которой учитываются взаимодействия только между соседними частицами. Но, несмотря на все упрощения и отклонения от физической реальности, далеко не всегда удавалось получить аналитическое описание поведения системы при фазовом переходе. Экспериментальные данные свидетельствовали о том, что в поведении таких систем, по-видимому, существует ряд общих закономерностей и что не имеет значения, исследуются магниты или жидкости. Не располагая сколько-нибудь точными и надежными методами описания фазовых переходов, специалисты постепенно потеряли интерес к этой области исследований. Застой продолжался несколько десятилетий.

Новая эпоха в исследованиях фазовых переходов наступила в 1971 г., когда молодой сотрудник Корнеллского университета Кеннет Вильсон решил использовать для этой цели принципиально новый математический аппарат: он предложил применить к системам частиц — каковыми и являются тела — квантовую теорию поля. Разработанный им метод ренормализационной группы, или так называемая решеточная теория (система рассматривалась как «решетка»), позволил широко использовать для расчетов критических явлений современные ЭВМ. Постепенно уменьшая шаг «решетки», можно было повышать точность вычисления и тем самым все более приближаться в описании к реальной системе.

Теоретические работы Вильсона привели к качественному скачку в исследовании фазовых переходов и быстрому развитию этой обширной области знаний. Еще более эффективным оказалось применение решеточной теории Вильсона в квантовой механике. В конечном счете Кеннет Вильсон как бы перебросил мостик между статистической и квантовой механикой. Его работы, имевшие вначале чисто теоретический характер и относившиеся к области науки, которая долгое время оставалась в тени,

теперь находят применение повсюду — от изучения процессов горения и электронной промышленности до описания ядерных взаимодействий и космических явлений.

Выдающийся научный вклад Кеннета Вильсона был оценен и профессорами Шведской академии наук: в 1982 г. он был удостоен Нобелевской премии по физике за работы, связанные с исследованием критических явлений, и созданную им теорию фазовых переходов II рода.

VIII ХИМИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Одним из крупных достижений в теоретической химии XIX в. явилось выяснение закономерностей течения химических реакций. Опыты свидетельствовали о том, что вещества обладают различным химическим сродством: одни из них вступают во взаимодействие, а другие — нет. Химические реакции могут протекать с различной скоростью, происходить с выделением или с поглощением тепла, быть обратимыми и необратимыми и т. д. Многие известные ученые уделяли внимание этим вопросам. Химическое сродство исследовали Анри Ле Шателье, Като Максимилиан Гульдберг, Петер Вааге и многие другие химики, которые открыли эмпирические законы его зависимости от условий протекания реакций. Этими вопросами занимался нидерландский физикохимик Якоб Хендрик Вант-Гофф, разносторонний исследователь, который в 1901 г. первым был удостоен Нобелевской премии по химии; свои исследования он проводил, основываясь на законах термодинамики.

Термодинамика как наука сформировалась в первой половине XIX в. Как видно из ее названия, она изучает тепловое движение и связанные с ним процессы и явления. Разработанная вначале для объяснения различных физических процессов, термодинамика вскоре нашла применение и в химии. Многие химические реакции связаны с тепловыми эффектами, и ученые сначала считали, что их исследование может послужить ключом к раскрытию тайн химического сродства элементов — свойства, которым обусловлена способность атомов и молекул соединяться между собой в различные комбинации.

Действительно, при взаимодействии веществ с большим химическим сродством реакции протекают бурно и сопровождаются выделением большого количества тепла.

Измерение этого тепла служит указанием на степень химического сродства элементов. Не все реакции, однако, протекают таким образом. Иногда вместо выделения тепла происходит его поглощение; это указывает на то, что вопрос не так прост. Положение решительно изменилось, когда Джозайя Уиллард Гиббс, один из крупнейших ученых XIX в., ввел в химическую термодинамику понятие энтропии.

Коротко говоря, энтропия характеризует степень неупорядоченности физической системы. Изменение этой термодинамической величины определяется сравнительно просто: она равна отношению изменения количества теплоты, выделяющейся в реакции, к температуре (выраженной в кельвинах — градусах по абсолютной шкале). Одно из основных свойств энтропии состоит в том, что она может только возрастать. Например, кусок сахара без труда растворяется в воде, но невозможно молекулы растворившегося сахара собрать снова в кусок. Применительно к химическим реакциям это означает, что осуществимы лишь такие процессы, при которых энтропия системы увеличивается.

Любое вещество характеризуется определенной энтропией. Она выражается конкретной величиной и измеряется в калориях. При изменении состояния вещества его энтропия также изменяется. Рассмотрим в качестве примера воду. При таянии льда энтропия системы возрастает в 1,5 раза, а при превращении воды в пар — в 4 раза. В водяном паре молекулы движутся хаотически, тогда как в куске льда они строго фиксированы; это показывает, что энтропия действительно служит мерой неупорядоченности.

Если знать величины энтропии веществ, то определение условий, при которых возможно протекание химической реакции, становится совершенно реальным. Можно написать уравнения любых химических реакций, но на практике реализуются только те из них, в которых энтропия увеличивается. Если в принципе реакция возможна, но идет медленно, то можно подобрать подходящий катализатор, ускоряющий течение реакции. Но никакой катализатор не в состоянии «запустить» реакцию, которая в принципе невозможна.

Из сказанного видно, сколь велико значение понятия энтропии как для теоретического объяснения химических процессов, так и для их практического осуществления,

Многие пытались применить эти представления, но впервые удалось достигнуть цели видному немецкому физикохимику Вальтеру Нернсту. Он пришел к выводу, что соответствующие измерения необходимо проводить при температуре, возможно более близкой к абсолютному нулю. Тогда тепловые эффекты, связанные с состоянием вещества, становятся независимыми от температуры; в равной мере это относится и к химическому сродству элементов. Подобный подход позволяет путем точных измерений теплоемкости, а также теплоты и температуры фазовых переходов определить энтропию вещества.

Выводы Нернста о том, что энтропия химически однородного твердого или жидкого тела при абсолютном нуле температуры равна нулю, обычно называют третьим началом термодинамики или тепловой теоремой Нернста. Макс Планк показал, что третье начало термодинамики равносильно условию: энтропия всех тел в состоянии равновесия стремится к нулю по мере приближения температуры к абсолютному нулю. Так как энтропия не может исчезнуть, это означает, что абсолютный нуль недостижим, но можно все более приближаться к нему.

Эти фундаментальные открытия позволили решить ряд теоретических проблем и довольно быстро нашли применение в химической промышленности, в частности сделали возможным создание технологии производства аммиака и других соединений при высоких температурах и давлении. За свои работы в области термодинамики Вальтер Нернст был удостоен в 1920 г. Нобелевской премии по химии.

Дальнейшие исследования энтропии при сверхнизких температурах связаны с экспериментами американского ученого Уильяма Фрэнсиса Джиока. До него самая низкая температура, которой удалось достигнуть, составляла 1 К. Джиок сумел довести это значение до 0,01 К. Это имело огромное значение для научных исследований, так как в этой температурной области тепловое движение атомов практически отсутствует.

Успех Уильяма Джиока был достигнут благодаря созданному им совместно с Д. Мак-Дугласом в 1927 г. оригинальному методу получения сверхнизких температур — методу адиабатического размагничивания.

Эксперименты Джиока, задуманные в 1924 г. и осуществленные в течение следующего десятилетия, дали возможность в 10 раз повысить точность измерения

энтропии. Благодаря им физики смогли еще глубже проникнуть в мир сверхнизких температур, где столь сильно изменяются свойства вещества. За свой вклад в развитие химической термодинамики, и особенно за исследования при сверхнизких температурах, Уильям Джиок был удостоен в 1949 г. Нобелевской премии по химии.

В химии классическая термодинамика исследует химическое равновесие и вообще равновесные процессы. Однако уже в 20-е годы появились первые работы по термодинамике неравновесных процессов.

В 1929 г. на встрече скандинавских ученых в Копенгагене молодой американский исследователь Ларс Онсагер (норвежец по происхождению) сообщил о полученных им соотношениях, выражающих зависимость электропроводности, активности и некоторых других характеристик электролита от его концентрации (уравнения Онсагера). В 1931 г. в известном журнале *Physical Review* им была опубликована статья, в которой рассматривались различные термодинамические процессы, такие, как перенос теплоты, диффузия, смешение, растворение веществ и т. д. Описывающие эти процессы уравнения имеют определенные коэффициенты, между которыми существует взаимозависимость. Это и есть теорема Онсагера — основа феноменологической термодинамики неравновесных процессов.

Работы Онсагера далеко опередили свое время. Лишь в конце 40-х годов начал проявляться интерес к термодинамике необратимых процессов, и это в значительной степени связано с исследованиями бельгийского ученого Ильи Пригожина.

Он родился в Москве в 1917 г., но вскоре семья переехала в Бельгию. Закончил Брюссельский университет и с 1947 г. заведует там кафедрой химической физики. В том же году он опубликовал свою первую монографию по термодинамике необратимых процессов, которая сыграла огромную роль в дальнейшем развитии этой области науки.

Пригожин выдвинул ряд оригинальных идей, в том числе принцип локального равновесия. Согласно этому принципу, в неравновесной системе могут быть области, находящиеся в квазиравновесном состоянии. Другое положение, получившее название теоремы Пригожина, гласит, что в стационарном состоянии при фиксированных внешних параметрах скорость производства энтро-

пии в термодинамической системе минимальна. Этот вывод очень важен для биологии.

Принцип локального равновесия, теорема Пригожина и соотношение взаимности Онсагера положены в основу современной термодинамики необратимых процессов. Значение этой науки особенно возросло в 60-е годы. С учетом этого Ларс Онсагер был удостоен Нобелевской премии по химии в 1968 г., а его коллега Илья Пригожин стал лауреатом этой премии в 1977 г.

Химическая связь

В 1800 г. английский исследователь Уильям Николсон, сконструировав вместе с А. Карлейлем электрическую батарею, разложил воду с помощью электрического тока. Так впервые была продемонстрирована связь между химическими и электрическими взаимодействиями. Но только через столетие была создана удовлетворительная теория, описывающая природу химической связи.

Открытие того факта, что электрический ток может вызывать химические изменения, в начале XIX в. было поистине сенсацией. В 1819 г. известный шведский химик Йенс Якоб Берцелиус использовал его в своей теории, которая утверждала, что в атомах различных элементов преобладает либо положительный, либо отрицательный электрический заряд и связь атомов в соединения обусловлена силами электростатического притяжения. Теория Берцелиуса была проста и казалась вполне логичной, однако вскоре появились данные, которые она не могла объяснить, и хорошая идея Берцелиуса была поставлена под сомнение. Трудности возникли при попытках объяснить, каким образом связываются одноименные атомы, в частности в двухатомных молекулах газов. Обнаружилось также, что атомы одних и тех же элементов в одних химических реакциях как бы имеют положительный электрический заряд, а в других — отрицательный. Главный удар был нанесен органической химией. Когда Берцелиус создавал свою теорию, этой науки, по существу, еще не было, и ее развитие привело к окончательному отказу от его идеи.

Как мы теперь знаем, шведский ученый фактически открыл один из видов химической связи, который через сто лет получил название ионной связи. Здесь особенно

отчетливо проявляется электрический характер химической связи, поэтому-то она и была открыта раньше других. Электрическая природа остальных видов химической связи не столь очевидна; почти до самого конца XIX в. ученые предпочитали не высказываться на эту тему или ограничивались весьма туманными предположениями.

Открытие процесса электролиза положило начало электрохимии. Ее основой служит тот факт, что под действием электрического тока молекулы раствора химического соединения распадаются на ионы отдельных веществ, входящих в состав соединения *. В 80-е годы прошлого века шведский ученый Сванте Август Аррениус доказал, что процесс разложения на ионы (так называемая электролитическая диссоциация) возможен и без воздействия электрического тока. Эти выводы были подкреплены исследованиями Вант-Гоффа осмотического давления: оно возникает, когда растворы различной концентрации разделены полупроницаемой мембраной, через которую проникают молекулы растворителя и не проникают молекулы растворенного вещества.

Первые измерения осмотического давления провел в 1877 г. Вильгельм Пфеффер, а вскоре Вант-Гофф дал объяснение этому процессу. Данные об осмотическом давлении имели большое значение для исследования атомов и молекул, так как позволили применить закон Авогадро к веществам, не находящимся в газообразном состоянии. Это дало возможность определять молекулярную массу растворенных соединений.

Однако теория Вант-Гоффа не «работала» в случае таких веществ, как сильные кислоты, щелочи и их соли. При измерении осмотического давления у этих веществ оказывалось значительно выше, чем следовало из предполагаемого числа молекул. Именно этот факт подтвердил, что молекулы раствора распадаются на ионы. За исследования по осмотическому давлению и химической динамике Якоб Вант-Гофф был первым удостоен в 1901 г. Нобелевской премии по химии. Однако этот ученый наи-

* Теорию электролиза разработал в 1805 г. прибалтийский ученый Теодор Гротгус. Основным постулатом теории была идея о полярности молекул, инициируемой электрическим током или возникающей при взаимной электризации атомов. Гротгус установил также, что свет, поглощенный веществом, может вызывать в нем химическую реакцию.— *Прим. ред.*

более известен своими теориями пространственного строения молекул, которые положены в основу стереохимии.

Сванте Аррениус получил Нобелевскую премию по химии в 1903 г. за теорию электролитической диссоциации, которая объяснила электропроводность раствора и ее связь с химическим родством элементов. Это означало как бы возврат к представлению об электрической природе сил, связывающих атомы, которое стало преобладающим в начале нашего столетия.

Сразу же после открытия электрона начали предприниматься попытки связать его с проблемой химической связи. Автором первой теории был сам Джозеф Джон Томсон; его идеи развил Йоханнес Штарк, который ввел понятие валентных электронов, связывая валентность элемента с числом электронов на периферии атомов. Планетарные модели атома, предложенные Резерфордом и Бором, сразу же были использованы Гильбертом Ньютоном Льюисом и Вальтером Косселем * для объяснения природы химических связей. Льюис выдвинул гипотезу электронных пар, которые становятся «общей собственностью» связанных атомов. Он развил положение о том, что наиболее устойчивые группировки характерны для внешних электронов атомов инертных газов. Их два у гелия и восемь — у остальных газов этой группы. У других химических элементов число валентных электронов меньше, и они стремятся пополнить их число, чтобы образовать такую же конфигурацию, как у инертных газов. Согласно представлениям Косселя, атомы либо присоединяют, либо отдают электроны, приобретая при этом соответственно отрицательный или положительный заряд, в результате чего связываются в молекулы.

Льюис и Коссель были светилами в своей области, но их представления не совсем соответствовали новейшим достижениям физики. Следующий шаг в развитии теории химической связи был связан с применением идей квантовой теории. Первую попытку такого рода предприняли Фриц Лондон и Вальтер Гайтлер. В 1927 г. они опубликовали свои работы, положившие начало квантовой химии.

В соответствии с квантовыми представлениями уже

* В. Коссель — сын лауреата Нобелевской премии биохимика Альбрехта Косселя. — *Прим. ред.*

нельзя считать, что электрон движется по определенной орбите. Это обусловлено соотношением неопределенностей Гейзенберга, в соответствии с которым координаты микрочастиц не могут быть точно определены. Поэтому вместо электронной орбиты следует говорить о своего рода электронном «облаке» — электрон как бы «размазан» в пространстве, и вероятность его нахождения в той или иной области характеризуется квадратом волновой функции.

В 30-е годы значительных успехов в квантовомеханическом толковании химических связей добился американский ученый Лайнус Карл Полинг. Он развил и усовершенствовал так называемый метод атомных орбиталей, используя его для объяснения структуры сложных молекул. Свои идеи он изложил в известной монографии, посвященной химическим связям. Наибольшую известность получили опыты Полинга, касающиеся исследования атомной структуры молекул белков. Он проводил эти опыты в конце 40-х годов, а в 1954 г. был удостоен Нобелевской премии по химии за развитие теории химических связей и ее применение для исследования структуры молекул белков.

В то время как Гайтлер, Лондон, Полинг и другие ученые исследовали электронную структуру атома и применяли полученные результаты для объяснения химической связи, Роберт Малликен пошел обратным путем. Создав метод молекулярных орбиталей, он ввел представление о молекуле как о целостной системе, состоящей из нескольких положительных ядер, окруженных общими электронными «облаками». В сущности, оба таких подхода преследуют одну цель — найти максимально приближенное математическое описание конфигурации электронных структур в молекулах.

С самого начала была ясно, сколь большие возможности открывает использование квантовомеханических представлений в химии, однако исключительная трудоемкость математических расчетов сдерживала развитие этого подхода. В 20—30-е годы теоретики произвели соответствующие вычисления для молекул водорода и гелия и на этом остановились, не имея возможности двигаться дальше. Брешь была пробита в конце 40-х годов с появлением ЭВМ. Пионером в проведении этих исследований был Роберт Малликен. Еще в 50-е годы он предсказывал, что когда-нибудь наступит эра химиков-мате-

матиков. Сегодня, когда электроника достигла небывалого уровня, пророчество Малликена постепенно становится реальностью. С помощью ЭВМ моделируются все более сложные молекулы и исследуются их свойства.

Из экспериментов по изучению химического средства, которые были проведены в прошлом веке, и успехов атомной физики возникла современная теория, связывающая в единое целое структуру молекул и химическую активность. От наивных представлений об атомах, цепляющихся друг за друга «крючками», ученые пришли к непрерывно меняющимся электронным конфигурациям, исследование которых позволяет понять и предсказать характер химического взаимодействия между молекулами.

Роберт Малликен, который за полвека своей деятельности внес исключительно большой вклад в развитие теории химической связи, был удостоен в 1966 г. Нобелевской премии по химии за фундаментальные исследования в этой области.

Развитие квантовой химии дало возможность по-новому подойти к проблеме химических реакций. Термодинамика, сыгравшая большую роль в этой области, описывает не отдельные микрообъекты, а системы, состоящие из очень большого числа частиц. Квантовая химия, рассматривающая отдельные молекулы и их электронные структуры, позволяет объяснить химические реакции на микроуровне. Эта теория ознаменовала новый этап в развитии химии.

Но и с появлением ЭВМ расчеты химических реакций по-прежнему порождали немало трудностей и ошибок. Тогда химики вынуждены были отказаться от строгих методов и ограничиться приближенными вычислениями. Хотя и в ущерб точности, это дало возможность глубже понять влияние электронной структуры молекул на механизм течения химических реакций. Японский ученый Кенити Фукуи предпринял в 1952 г. исследования такого рода, которые способствовали дальнейшему развитию метода молекулярных орбиталей.

Связывая способность молекул к реакции с ее электронным строением, этот ученый разработал метод индексов способности к реакции — представление о формировании переходного состояния, или активированного комплекса. Впоследствии, развивая дальше свои взгляды, Фукуи предложил теорию пограничных орбиталей.

Он первым указал, что основное значение для понимания хода химических реакций имеют самые внешние электроны и что в первом приближении теория может ограничиться только их рассмотрением. В 70-е годы японский ученый применил свои идеи к изучению каталитических реакций. Сегодня, с появлением мощных ЭВМ, приближенные методы Фукуи в известной степени стали достоянием истории. Однако современные точные методы вычислений лишь подтвердили глубокий смысл идей этого ученого и его большой вклад в развитие химии.

В начале 60-х годов приобрел известность метод вычисления электронных орбиталей молекул, предложенный молодым химиком Роальдом Хофманом. Впоследствии Хофман, работая вместе с известным химиком Робертом Бёрнсом Вудвордом, разработал правила сохранения орбитальной симметрии молекул при химических реакциях. Эти результаты были связаны с теорией пограничных орбиталей Фукуи. В последние годы Роальд Хофман занимается неорганической химией, с большим успехом применяя там свои идеи.

Научные результаты Кенити Фукуи и Роальда Хофмана сыграли большую роль в развитии химии. Их концепция об орбитальных взаимодействиях сегодня широко применяется в этой науке. Признанием крупных успехов двух исследователей явилось присуждение им в 1981 г. Нобелевской премии по химии за вклад в исследование механизма химических реакций.

В 1983 г. внимание научной общественности вновь было привлечено к этой области химии. Профессор Станфордского университета Генри Таубе был удостоен Нобелевской премии по химии за работы по исследованию механизма химических реакций с перенесением электронов, в частности при образовании комплексов металлов. Он стал сотым нобелевским лауреатом по химии.

В 60-е и 70-е годы Таубе с сотрудниками изучил множество химических реакций переноса электронов между комплексами переходных металлов в растворах.

Таубе выявил два механизма этого переноса. Впоследствии оказалось, что его опыты были упрощенной моделью различных процессов, протекающих при биохимических реакциях и окислительно-восстановительном катализе.

Особо интересным было приложение его работ к изучению образования комплексов молекулярного азота.

Такие комплексы в 1966 г. получил А. Е. Шилов. Подобные процессы, протекающие в некоторых микроорганизмах, привлекают внимание ученых, ибо их исследование даст возможность получать важные для растений соединения азота непосредственно из атмосферы.

Процессы с переносом электронов, к которым относятся и такие сложные явления, как фотосинтез и биологическое окисление (дыхание живых организмов), все больше интересуют ученых. Результаты, полученные Таубе, явились крупным вкладом в развитие биохимии и заслуженно принесли ему звание лауреата Нобелевской премии.

Молекулярные структуры

К середине XIX в. в органической химии было обнаружено довольно много соединений, которые, имея одинаковый состав, обладали различными химическими свойствами. Некоторые молекулы — изомеры — при одинаковом составе отличаются такими физическими характеристиками, как, например, поляризация света, проходящего через растворы, и т. д. Все это наводило на мысль, что кроме химического состава молекулы должны характеризоваться и определенной пространственной структурой. Само понятие структуры введено в химию известным русским химиком Александром Михайловичем Бутлеровым, создавшим в 1861 г. теорию химического строения органических соединений и первым объяснившим явление изомерии.

И только более чем через 10 лет после этого возникла новая наука — стереохимия. Одним из ее основателей был Якоб Вант-Гофф. В 1874—1875 гг., в возрасте всего лишь 22 лет, он написал свою замечательную книгу «Химия в пространстве», где развил теорию пространственного размещения атомов в молекулах органических веществ (стереохимическая гипотеза). В то время ученый преподавал в ветеринарном училище, и некоторые его коллеги язвили, что не иначе как какой-нибудь «пегас» из конюшни училища подтолкнул его необузданную фантазию.

Стереохимическая гипотеза быстро прижилась в органической химии, и благодаря ей в XX в. были достигнуты большие успехи в описании структуры сложных органических веществ и биомолекул. Значительно мед-

ленные эти представления проникали в неорганическую химию. Развитие этого процесса связано с именем швейцарского химика Альфреда Вернера. По своему значению его деятельность сравнима с работами Вант-Гоффа. Вернер не только побудил многих химиков заняться изучением структуры молекул неорганических соединений, но и создал так называемую координационную теорию комплексных соединений.

Выделение комплексных соединений в самостоятельную группу в известной мере условно, поскольку нельзя провести четкую грань между комплексными и обычными соединениями. В «комплексах» вокруг центрального атома группируются атомы, радикалы и даже целые молекулы в количестве большем, нежели можно предположить, исходя из валентности атома. Вернер объяснил это явление, предположив, что наряду с основными валентностями, которые он назвал первичными, существуют и так называемые дополнительные, или вторичные, валентности. Сегодня это хорошо объясняется с позиций представлений об электронных конфигурациях центрального атома.

Идеи Альфреда Вернера постепенно распространились в неорганическую химию и даже проникли в органическую. Своими исследованиями пространственной структуры молекул он углубил представления о химической связи. В 1913 г. за большие заслуги в развитии химической науки Альфред Вернер был удостоен Нобелевской премии по химии.

Работы Макса фон Лауэ, Уильяма Генри Брэгга, Уильяма Лоренса Брэгга и других ученых позволили создать мощный метод исследования структуры молекул с помощью рентгеновского излучения. Крупный вклад в эти исследования внес Петер Йозеф Дебай.

В 1916 г. совместно с Паулем Шеррером Дебай разработал метод исследования структуры вещества с помощью дифракции рентгеновских лучей. В отличие от предыдущих методов метод Дебая — Шеррера позволял исследовать вещества в порошкообразном состоянии, т. е. в виде очень мелких кристаллов. В том же году Дебай вместе с Арнольдом Зоммерфельдом применил квантово-механические представления для объяснения эффекта Зеемана (расщепления спектральных линий в магнитном поле) и ввел магнитное квантовое число.

Успехи в исследовании магнетизма побудили Дебая

заняться изучением магнитных дипольных моментов молекул. Состоящие из различных атомов, молекулы имеют несимметричные электронные оболочки, в силу чего (как целое) они электрически заряжены и подобны маленьким магнетикам. Например, в молекуле воды более крупный атом кислорода притягивает к себе электроны, в то время как у атома водорода накапливается положительный заряд. Именно это приводит к возникновению у молекулы воды магнитного дипольного момента.

Наряду с методом рентгеновской дифракции Петер Дебай стал широко применять для исследования структуры химических соединений электронные пучки. Это произошло после того, как было установлено, что элементарные частицы обладают также и волновыми свойствами, т. е. могут порождать такие «оптические» явления, как интерференция и дифракция. Метод электронной дифракции — один из самых мощных инструментов исследования в современной химии.

За большие заслуги и разносторонний вклад в исследование молекулярных структур с помощью магнитных дипольных моментов молекул и дифракции рентгеновских лучей и электронов Петер Дебай был удостоен в 1936 г. Нобелевской премии по химии.

Сорок лет спустя он получил вторую Нобелевскую премию по химии за исследование названными выше методами химических связей и структур. Одновременно с ним американский химик Уильям Нанн Липскомб был награжден за работы по изучению молекулярных структур и реакций, осуществленные в основном методом рентгеноструктурного анализа.

Он применил этот метод при низких температурах и исследовал простые кристаллы кислорода, азота, фтора и ряда других веществ, которые переходят в твердое состояние только при сильном охлаждении. Опираясь на полученные результаты, Липскомб приступил к изучению более сложных молекул. Его внимание привлекали гидриды бора — бороводороды (соединения этого элемента с водородом), которые считаются наиболее перспективным видом ракетного топлива. Исследование электронной структуры бороводородов позволило детально объяснить их свойства.

Постепенно Липскомб подошел к исследованиям биомолекул и сложным проблемам ферментативного катализа. По своему строению молекулы живой ткани неиз-

меримо сложнее молекул других веществ, изучаемых химией; это обусловлено прежде всего тем, что структура таких молекул должна обеспечивать оптимальные условия для протекания сложнейших реакций, которые осуществляются в живом организме. Исследование строения таких биомолекул, как гормоны, ферменты и нуклеиновые кислоты, принесло Нобелевскую премию не одному ученому. Липскомб был удостоен ее в 1976 г.

В середине прошлого века немецкий химик-органик Фридрих Август Кекуле разработал свою теорию строения органических соединений, введя понятие конституции молекул, т. е. их состава. Вскоре Вант-Гофф и Жозеф Ле Бель занялись изучением конфигурации молекул (т. е. пространственного строения молекул). А примерно через 70 лет в стереохимию был внесен не менее значительный вклад: в 1947 г. норвежский химик Одд Хассель создал теорию конформации органических молекул.

Еще в 30-е годы он предпринял исследования структуры циклогексана методом рентгеновской и электронной дифракции. Молекула циклогексана представляет собой кольцо из шести атомов углерода, которые прежде изображались структурными формулами в одной плоскости. Хассель показал, что это неправильное представление и что молекула циклогексана встречается в двух вариантах (конформациях): в форме лодки и в форме кресла. При комнатной температуре это соединение изменяет свою конформацию миллионы раз в секунду. Преобладает вариант «кресла»: в такой форме встречается 99% молекул. Исследования Хасселя показали, что органические молекулы являются довольно гибкими структурами. Углы валентностей сохраняются, но при этом происходит вращение различных групп атомов. Разумеется, это происходит с известными ограничениями, которые также были рассмотрены Хасселем.

Идеи конформационного анализа развивал английский химик Дерек Харолд Ричард Бартон. В 1950 г. вышла его знаменитая работа по строению ядра стероидов, которую иногда сравнивают по значению с книгой Вант-Гоффа, посвященной стереохимии. Бартон приобрел широкую известность своими трудами по конформационному анализу, фотохимическим превращениям и биосинтезу физиологически активных соединений.

За большой научный вклад Одд Хассель и Дерек Бартон были удостоены в 1969 г. Нобелевской премии по хи-

мии. Эти ученые продолжали активно работать над своими идеями, оказавшими столь большое влияние на теоретическую и прикладную химию.

Трудно вообразить, что в наше время еще возможно открыть принципиально новый тип химической структуры и связи. Но именно это сделали в 1951 г. Эрнст Отто Фишер из Высшей технической школы в Мюнхене и Джеффри Уилкинсон, английский ученый, работавший в Гарвардском университете. Оба они занимались так называемыми элементоорганическими соединениями. Одновременно их внимание привлекла и недавно синтезированная молекула, строение которой пока не удавалось объяснить.

Молекула синтезированного в 1950 г. ферроцена состояла из двух пятиатомных углеродных колец и одного атома железа. Все попытки объяснить связь между ними выглядели очень искусственно и вызывали сомнения. Фишер и Уилкинсон высказали предположение, что ферроцен имеет структуру «сэндвича» — атом железа находится между углеродными кольцами. Связь различных частей молекулы осуществляется посредством взаимодействия между металлическим атомом и π -электронными конфигурациями из десяти атомов углерода, которое направлено перпендикулярно плоскости колец.

С таким типом химической связи и структуры ученые столкнулись впервые. В 50-е годы Фишер, Уилкинсон и некоторые другие исследователи, работавшие в промышленных лабораториях, синтезировали новые вещества группы так называемых металлоорганических соединений. Исследование их структуры методами спектроскопии и ядерного магнитного резонанса подтвердило справедливость гипотезы Фишера и Уилкинсона.

За свое замечательное открытие Эрнст Отто Фишер и Джеффри Уилкинсон были удостоены в 1973 г. Нобелевской премии по химии. Они являются немногими из счастливцев, которые смогли в свои молодые годы сделать оригинальное и принципиально новое открытие.

За исследование электронной структуры и геометрии молекул Нобелевская премия по химии за 1971 г. была присуждена канадскому ученому Герхарду Херцбергу. Он внес крупный вклад в изучение оптических спектров молекул и радикалов в широком диапазоне длин волн: от жесткого ультрафиолета до инфракрасной области.

В лабораторных условиях Херцберг определил строение десятков молекул; его работы оказали большое влияние на развитие теории молекулярных спектров. Напомним, что спектр излучения любой молекулы определяется энергетическими переходами электронов. Таким образом, изучение спектров дает возможность исследовать электронные конфигурации и строение молекул. Молекулярные спектры очень сложны, и успех в этой области был достигнут лишь в последние десятилетия, когда для наблюдения стали применяться высокочувствительные спектрографы, а для обработки данных — быстродействующие ЭВМ.

Особый интерес представляет исследование Херцбергом свободных радикалов. В нормальных условиях эти фрагменты молекул живут очень недолго: обычно они являются промежуточным продуктом, образующимся в ходе химических реакций. Однако в космическом пространстве радикалы — это нормальное состояние вещества. В огромных межзвездных газовой-пылевой облаках невозможно существование обычных молекул. Жесткое ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения, потоки заряженных частиц в космических лучах непрерывно бомбардируют атомы, вызывая их возбуждение. Встречаясь, возбужденные атомы пыли связываются в комплексы, которые также находятся в возбужденном состоянии и потому не могут превратиться в молекулы, а остаются в виде радикалов. Уже известно более 50 видов таких соединений, причем некоторые из них представляют собой углеродные цепи — основу органических молекул. Эти открытия, в которых принимал активное участие и Герхард Херцберг, много лет возглавлявший лабораторию спектроскопии в Йеркской астрономической обсерватории Чикагского университета, навели ученых на мысль, что органическое вещество возникло в космическом пространстве еще до образования планет Солнечной системы.

Химическая кинетика

Во второй половине XIX в. накопление экспериментальных данных привело к созданию теорий, касающихся скорости и протекания механизмов химических реакций. Представления об этих процессах получили особое развитие в работах Якоба Вант-Гоффа, Сванте Аррениу-

са и Вильгельма Фридриха Оствальда — трех гигантов науки конца прошлого века, имена которых значатся в числе первых среди лауреатов Нобелевской премии по химии.

В 1884 г. Вант-Гофф, обобщив накопленные знания, описал закономерности химических реакций с помощью простых уравнений. В частности, он установил, что скорость реакций возрастает с повышением температуры. Уравнение Вант-Гоффа, если его рассматривать на атомном и молекулярном уровнях, показывает, что с увеличением температуры атомы и молекулы движутся быстрее, а это означает, что при столкновениях их суммарная энергия достаточно велика, чтобы дать толчок химическому взаимодействию.

В 80-е годы прошлого века изучением закономерностей химических реакций занимался и Вильгельм Оствальд. Его работы были связаны с исследованием относительной активности различных кислот. С этой целью Оствальд производил измерения скорости химических реакций. Это привело его, с одной стороны, к изучению условий химического равновесия, а с другой — к работам по катализу.

Химическое равновесие внешне выглядит как прекращение реакции. По существу же равновесие означает, что наряду с реакцией взаимодействия (соединением веществ) происходит и обратный процесс — разложение конечного продукта. Теоретически все химические реакции можно рассматривать как обратимые. На практике же большинство из них необратимы. Одним из важных вопросов химической технологии является создание таких условий, при которых равновесие реакции смещается в направлении преимущественного образования продукта. Это достигается соответствующим изменением давления, температуры и т. д.

Другое направление, в котором активно работал Оствальд, — это катализ. Он установил стимулирующее действие некоторых ионов на скорость химических реакций и возродил, значительно углубив и развив их дальше, старые идеи Берцелиуса о катализе — явлении, которое давно было известно на практике. Сущность этого процесса состоит в ускорении взаимодействия между молекулами.

За большие успехи в изучении химического равновесия, скорости химических реакций и катализа Виль-

гельм Оствальд был удостоен в 1909 г. Нобелевской премии по химии.

Исследования в области химической кинетики поставили вопрос о механизме химических реакций. Если реакции протекают с умеренной скоростью, то это дает возможность исследовать все этапы взаимодействия и выделить промежуточные продукты. Однако реакции, протекающие очень быстро, долгое время не поддавались исследованию. Даже самые авторитетные ученые ограничивались простейшим замечанием, что они протекают «неизмеримо быстро», и на этом ставили точку. Сама процедура определения скорости химической реакции и формирования промежуточных продуктов при каталитических методах довольно медленна: она отнимала время порядка нескольких секунд и минут. В 1923 г. английские исследователи Г. Хартридж и Ф. Г. У. Раутон создали аппаратуру, позволившую смешивать газообразные вещества с большой скоростью. Это дало возможность исследовать реакции, протекающие в течение тысячной доли секунды. Дальнейшие успехи в этой области связаны с развитием фотохимии.

Фотохимические реакции протекают исключительно быстро. Фотоны света резко нарушают химическое равновесие системы, вызывая новые реакции и создавая новые условия равновесия. Это можно установить спектроскопическими методами по вторичному излучению молекул. В 20-е годы одним из известных специалистов в этой области был английский ученый Роналд Джордж Рейфорд Норриш. Он хорошо понимал большие возможности фотохимии в исследовании химической кинетики, но, к сожалению, несовершенство техники того времени не позволяло по-настоящему использовать эти возможности.

В 1945 г. Норриш привлек к работе молодого сотрудника Джорджа Портера, специалиста по электронике, который во время второй мировой войны занимался радиолокацией. Год спустя Портеру пришла идея использовать для стимулирования фотохимических реакций сверхкороткие световые импульсы. Было создано нечто вроде «фотомолнии», которая позволяла получать мощность в 600 МВт (мегаватт) за одну миллионную долю секунды. Спектроскоп, с помощью которого проводилось исследование вторичного излучения молекул и радикалов, был дополнен фотоэлектронным умножителем. Это

устройство усиливало свет в десятки тысяч раз и давало возможность регистрировать отдельные фотоны.

Вооруженные столь мощной техникой, Норриш и Портер приступили к исследованиям чрезвычайно быстро протекающих реакций. Скоро они довели интервал исследования до миллиардных долей секунды (наносекунд). Сверхбыстрая спектроскопия оказалась исключительно ценным методом исследования механизмов химических реакций. Сейчас вместо «фотомолнии» Норриш и Портер используют лазеры в тысячи раз большей мощности.

К началу 50-х годов химики располагали методами исследования сравнительно медленных реакций (классическая химическая кинетика) и сверхбыстрых (спектроскопия). Пробел между ними был ликвидирован благодаря исследованиям Манфреда Эйгена из Гёттингенского университета.

В 1951 г. его коллеги, Конрад Тамм и Гюнтер Кунце, изучали поглощение ультразвука в морской воде. Выяснилось, что на некоторых частотах поглощение происходит значительно сильнее, нежели на других. Оказалось, что это связано с химическим составом морской воды. Продолжив исследования, Эйген установил, что поглощение вызывается в основном сульфатом магния, который поглощал ультразвук частотой в 100 кГц (килогерц). Эксперименты показали, что молекулы этого вещества сто тысяч раз в секунду разлагаются на ионы и восстанавливаются, чем и обусловлена частота поглощения ультразвука. Это открытие позволило разработать простой метод стимуляции быстрых изменений в молекулах.

Завершив исследования с ультразвуком, Манфред Эйген начал искать другие способы изучения химических реакций. В частности, он применил электрические импульсы высокого напряжения и получил интересные результаты. В период 1953—1963 гг. Эйген сконструировал множество различных приборов для исследования быстроте протекающих химических процессов. Обобщая свои исследования, он создал своеобразную «периодическую систему» реакций: в ней скорость взаимодействия связывается с радиусом ионов и величиной их электрического заряда.

Исследования Роналда Норриша, Джорджа Портера и Манфреда Эйгена, как и многих других ученых, обеспечили большой прогресс в изучении механизма хи-

мических реакций. За крупные достижения теоретического и методологического характера эти трое ученых были удостоены в 1967 г. Нобелевской премии по химии.

Еще в начале нашего столетия исследования фотохимических реакций привели к удивительному открытию. В 1913 г. известный химик Макс Боденштейн установил, что при взаимодействии водорода и хлора один поглощенный фотон света вызывает образование около ста тысяч молекул хлороводорода. Так были открыты цепные реакции. Через десять лет И. А. Кристиансен и Г. А. Крамерс показали, что цепные реакции наблюдаются и при некоторых взаимодействиях, не связанных со светом. Они ввели также понятие разветвленных цепных реакций.

Понятие цепной реакции было впоследствии заимствовано физиками для описания ядерных процессов. По существу, в физике этот термин более известен, нежели в химии, так же как и термин «плазма», взятый из биологии.

В 1926 г. советские ученые Ю. Б. Харитон и З. Ф. Валта опубликовали результаты своих исследований реакций между парами фосфора и кислородом. Как при низком, так и при высоком давлении эта реакция не происходила. Но в интервале средних давлений происходил взрыв. Результат был настолько неожиданным, что некоторые специалисты считали его ошибочным. Правильное объяснение этому явлению дал советский химик Николай Николаевич Семенов. Он показал, что здесь, как и в ряде других случаев, наблюдается разветвленная цепная реакция. Примерно в то же время к подобным выводам пришел и английский ученый Сирил Норман Хиншелвуд.

Эти открытия были с энтузиазмом встречены в научных кругах. Одно время даже считалось, что все реакции являются цепными. В этой путанице навел порядок Хиншелвуд. Он открыл вещества, которые могут реагировать двояко. Теория цепных реакций в значительной степени была разработана Н. Н. Семеновым. В 1934 г. он написал монографию, которая была переведена на немецкий и английский языки и приобрела широкую известность. Советский ученый объяснил большое число явлений, происходящих при взрывных реакциях и процессах горения. Эти исследования сыграли очень большую

роль при разработке двигателей внутреннего сгорания и в других областях.

Открытие и исследование цепных реакций явилось большим успехом химической теории и практики. За свои работы академик Н. Н. Семенов дважды был удостоен Государственной премии СССР, он дважды Герой Социалистического труда, награжден многими правительственными наградами. Он избран иностранным членом Лондонского королевского общества и многих других академий мира. В 1956 г. Н. Н. Семенов за исследование цепных реакций был удостоен Нобелевской премии по химии.

Вместе с ним был награжден и Сирил Хиншелвуд, также внесший большой вклад в изучение цепных реакций. Английский ученый применил эти идеи в биохимии, в частности при исследовании бактериальной клетки и влияния на нее антибиотиков.

Химический анализ

Одной из основных задач химии является анализ веществ (определение их химического состава). Еще в древности были известны различные способы качественного анализа руд, особенно благородных металлов. Развитие аналитических методов в химии тесно связано с развитием самой этой науки, потому что состав соединений определяется с помощью различных специфических реакций, большинство из которых было открыто совершенно случайно.

Значительным этапом в развитии химического анализа явилось открытие и выделение в чистом виде химических элементов. Некоторые из них были известны с глубокой древности, другие удалось выделить и исследовать лишь благодаря созданию более совершенных экспериментальных методов. Огромных успехов эта область химии достигла на рубеже XVIII—XIX веков. Меньше чем за столетие были открыты и выделены в чистом виде все стабильные химические элементы. Единственное исключение составляли благородные газы, которые в силу своей химической инертности были открыты лишь с помощью физических методов, а также элемент фтор, который — хотя он и был издавна известен — никак не удавалось получить в чистом виде.

Еще в начале XVI в. Георг Агрикола (Бауэр) описал минерал, который легко плавится; он назвал его «флюор» (что в переводе с латыни значит «текучий»). В этом минерале, называемом сегодня флюоритом (плавиковым шпатом), немецкий химик Андреас Сигизмунд Маргграф и швед Карл Вильгельм Шееле открыли неизвестное вещество, обладающее исключительной химической активностью. В 1810 г. Анри Ампер — вслед за Агриколой — назвал новый элемент флюором, но в 1816 г. переименовал его во фтор (от греческого «фторос», что значит «разрушительный»).

Длительное время фтор не удавалось выделить в чистом виде. Лишь в 1886 г. французский химик Анри Муассан сконструировал специальный аппарат, в котором получил чистый фтор электролизом плавиковой кислоты. Таким образом, было положено начало систематическому изучению этого элемента и его соединений.

В 1892 г. Муассан построил еще один аппарат — электродуговую печь, с помощью которой провел интересные исследования свойств веществ. Это устройство, в котором создавались исключительно высокие температуры, состояло из двух известковых блоков, выдолбленных внутри так, чтобы было место для тигля. Через два отверстия вставлялись графитовые электроды, и при пропускании электрического тока температура в дуге достигала 3500°C . Электродуга Муассана дала возможность получить и исследовать большое число различных соединений.

В 1906 г. один из членов Нобелевского комитета по химии, ознакомившись с работой Муассана в Парижском университете, поделился впечатлениями со своими коллегами. Как раз в это время Нобелевский комитет по химии обсуждал кандидатуру Дмитрия Ивановича Менделеева, одного из известнейших химиков XIX в. После сообщения о работе Муассана мнения шведских академиков разделились. Все, безусловно, признавали, что как ученый Менделеев стоит несравненно выше. Его открытие, однако, было сделано несколько десятилетий назад, а устав Нобелевского фонда, как известно, предусматривал награждение прежде всего молодых перспективных исследователей. Из десяти членов химической секции Шведской академии четыре проголосовали за Менделеева, пять за Муассана и один воздержался. Так был определен лауреат Нобелевской премии по хи-

мии за 1906 г.— им стал профессор Анри Муассан из Парижа.

Аналитическая химия, всегда имевшая важное значение для практики, достигла небывалых успехов в наше время, отмеченное бурным развитием химической промышленности. Основное направление работ связано с созданием специализированных аппаратов для исследования различных соединений. Сегодня процессы анализа в значительной степени автоматизированы, что освобождает человека от участия в трудоемких экспериментах и сложных технологических процессах. К числу таких аппаратов, нашедших широкое применение как в научных лабораториях, так и в промышленности, относится полярограф, сконструированный в 1922 г. чехословацким ученым Ярославом Гейровским.

Это устройство позволяет определять состав того или иного соединения, подвергая электролизу его раствор. Электрически заряженные ионы различных веществ в зависимости от их строения по-разному притягиваются электродами. Изменение величины напряжения, приложенного к электродам, вызывало изменение силы тока, проходящего через раствор. Изучая полученные вольт-амперные кривые, называемые полярограммами, можно судить о составе исследуемого соединения. В ряде случаев удается идентифицировать и определять концентрацию нескольких соединений одновременно.

Первоначально полярографии не уделяли особого внимания, этим методом пользовалось лишь считанное число специалистов. В конце 20-х — начале 30-х годов Гейровский настойчиво пропагандировал свой метод, выступая с лекциями в Сорбонне, в ряде университетов США и Советского Союза. Постепенно химики — а затем и технологи — постигли преимущества полярографии, которая давала возможность автоматизировать процессы анализа, и этот метод получил широкое распространение. В 1950 г. в Праге был основан Институт полярографии, директором которого, естественно, стал профессор Гейровский. В 1959 г., через 37 лет после создания метода полярографии, его значение для химии было наконец по-настоящему оценено, и Нобелевский комитет по химии принял решение присудить премию чехословацкому ученому за его большие заслуги в развитии и совершенствовании методов химического анализа, выразившиеся в создании полярографии.

В первой половине XIX в. возникла и обособилась в самостоятельную науку органическая химия. С самого начала главным ее направлением было получение в чистом виде и исследование веществ, входящих в состав живых организмов. Постепенно, по мере накопления знаний и опыта, развивались методы анализа природных органических соединений. Эти вещества обычно встречаются в незначительных количествах, поэтому для их исследования необходимы специальные методы микроанализа. Больших успехов в этой области достиг австрийский химик Фриц Прегль. Впоследствии его метод был распространен и на неорганические вещества.

В начале нашего столетия методы анализа были столь несовершенны, что для проведения исследования вещества требовалось в количестве не менее нескольких десятых долей грамма. Фриц Прегль разработал специальную аппаратуру, которая повысила чувствительность эксперимента более чем в 50 раз: теперь для исследования можно было ограничиться образцом в тысячные доли грамма. Метод Прегля позволяет производить количественный анализ содержания углерода, водорода, азота, серы и других элементов, входящих в состав органических соединений. При этом определяются и функциональные группы молекул, участвующих в специфических реакциях.

Метод количественного микроанализа органических соединений, созданный австрийским ученым, создал предпосылки для быстрого развития исследований гормонов, витаминов и других важных биологически активных веществ. Определение состава этих веществ позволило осуществить синтез многих из таких соединений. В 20-е годы исследования подобного рода получили широкое распространение, и это привело Нобелевский комитет по химии к решению присудить премию в 1923 г. Фрицу Преглю за создание метода количественного микроанализа органических молекул.

Химия в двух измерениях

В начале XX в., когда физики благодаря теориям Эйнштейна «овладевали» четырехмерным пространством, молодой американский ученый занялся изучением поведения атомов и молекул в двумерном пространстве. Это был Ирвинг Ленгмюр.

В 1909 г. во время летних каникул этот 28-летний преподаватель физики довольно случайно попал в лабораторию вновь созданной компании «Дженерал электрик» в Скенектади. Проводившиеся там лабораторные исследования увлекли его. С тех пор непрерывные кропотливые эксперименты стали его главным призванием.

В то время перед инженерами и экспериментаторами особенно остро стоял вопрос об усовершенствовании лампы накаливания. Ленгмюр провел серию экспериментов, желая проверить, в какой степени наличие газов в колбе влияет на свечение вольфрамовой нити. С помощью прецизионной аппаратуры он установил, что в лампе, несмотря на созданный там вакуум, накапливаются водяные пары. Вскоре он выяснил, что источником паров служит тонкий мономолекулярный слой воды, который остается на внутренней поверхности стеклянной колбы при откачивании воздуха.

Ирвинг Ленгмюр предложил способ удаления воды из стеклянных колб. Однако самый важный итог этих исследований состоял в том, что ученый очень заинтересовался химическими явлениями, происходящими на поверхности веществ, и наряду с практической работой занялся теоретическими исследованиями, которые в итоге привели к интересным открытиям.

Некоторые процессы, происходящие на поверхности твердых тел и жидкостей, были известны давно. В частности, было исследовано поверхностное натяжение жидкостей; его объяснили взаимодействием молекул. Американский ученый Джозайя Уиллард Гиббс разработал на этой основе теорию адсорбции (поглощения вещества из газовой или жидкой среды поверхностным слоем твердого тела или жидкости). Ленгмюр разработал совершенно новую теорию в области химии поверхностных явлений. Он связал эти явления с ненасыщенными валентностями атомов. Когда атом находится внутри вещества, он со всех сторон окружен другими атомами. На поверхности же он связан только с атомами, лежащими внутри, а над ним находится свободное пространство. В результате часть валентностей атома остается незаполненной, пока не адсорбируется какая-нибудь молекула. Насколько значительны эти силы притяжения, говорит хотя бы такой факт: чтобы удалить молекулы воды, прилипшие к внутренней поверхности колбы лампы накаливания, кол-

бу приходилось длительное время нагревать при высокой температуре.

Теория Ленгмюра, объяснявшая адсорбцию как проявление ненасыщенных валентных связей, явилось крупным достижением. За ее создание Ирвинг Ленгмюр был удостоен в 1932 г. Нобелевской премии по химии. Выводы этого ученого, касающиеся химии поверхностных явлений, были подтверждены такими мощными методами, как рентгеновская и электронная дифракция. Идеи Ленгмюра нашли применение в гетерогенном катализе, где в качестве катализатора обычно используется твердое вещество и реакции происходят на его поверхности, при этом оно играет роль адсорбента. Теория поверхностной адсорбции оказала благоприятное влияние и на развитие техники, позволив выяснить механизм действия смазки и флотационных процессов при обогащении руд.

На явлении адсорбции основан ряд экспериментальных методов в химии. В 1903 г. русский ученый Михаил Семенович Цвет, ботаник из Варшавского университета, использовал угольные фильтры и другие пористые вещества для разделения растительных пигментов. Он установил, что составные части смеси проходят через фильтр с различной скоростью и адсорбируются на разных его участках. Таким образом, зеленый растительный пигмент разделяется на различные виды хлорофилла и другие составляющие его соединения, образуя слои различной окраски. Этот метод, получивший название хроматографии, в 40-х годах стал широко использоваться в биохимии. По мнению большинства ученых, М. С. Цвет непременно получил бы Нобелевскую премию за это открытие, если бы не его преждевременная смерть в 1919 г.

Методы разделения молекул на основе их физико-химических свойств были в дальнейшем усовершенствованы шведским биохимиком Арне Тиселиусом, учеником Теодора Сведберга. Тиселиус распространил эти методы на бесцветные вещества, а также осуществил количественный анализ компонентов сложных растворов.

Вследствие своих больших размеров биомолекулы образуют растворы типа коллоидов. Тиселиус решил воспользоваться для их исследования методом электрофореза, который позволял разделить различные частицы в соответствии с их электрическим зарядом и размерами.

За свои разработки методов электрофоретического и адсорбционно-хроматографического анализа для ис-

следования биополимеров Арне Тиселиус был удостоен в 1948 г. Нобелевской премии по химии. Четыре года спустя Нобелевская премия по химии была присуждена за дальнейшее усовершенствование биохимических методов анализа. На сей раз лауреатами стали Арчер Джон Портер Мартин и Ричард Лоренс Миллингтон Синг, награжденные за создание метода распределительной хроматографии, а главное — за теорию хроматографических процессов.

Принцип хроматографии довольно прост. Если капля какого-либо раствора попадает на фильтровальную бумагу, образовавшееся пятно постепенно расплзается; при этом некоторые из компонентов «отстают», так как их молекулы с большим трудом проходят через микрокапилляры фильтра. Чтобы исследуемые вещества распределялись в соответствии с их растворимостью и их можно было бы максимально точно идентифицировать, использовали соответствующие растворители.

Создание в 1939 г. метода распределительной хроматографии и особенно (в 1944 г.) метода хроматографии на бумаге оказалось исключительно ценным для современной биохимии. Оба метода помогли выяснить структуру многих сложных биомолекул.

Развитие экспериментальных методов, связанных с адсорбционным анализом, — это лишь часть химии поверхностных явлений. Кажется, природа отдает предпочтение реакциям в двумерном пространстве. Действительно, два атома значительно легче встречаются и вступают в реакцию на поверхности, нежели в объеме.

Коллоиды

В 1926 г. ученые Шведской королевской академии наук продемонстрировали исключительное единомыслие. Нобелевские премии по физике и химии были присуждены ученым, занимавшимся исследованием коллоидов. Эти исследования, представлявшие для химии чисто теоретический интерес, способствовали вместе с тем выяснению атомно-молекулярного строения вещества и, кроме того, заложили основы метода, который сыграл важную роль в исследовании живой клетки.

Коллоиды давно известны в химии. Еще Парацельс (Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогейгейм) гово-

рил об *аурум потабиле* (золотом напитке), который в сущности есть не что иное, как коллоидный раствор золота. В XVII—XVIII вв. исследователи наблюдали свертывание и коагуляцию белковых и других растворов. В XIX в. коллоидами занимались Берцелиус, Фарадей и другие крупные ученые. В 1861 г. английский химик Томас Грэм ввел термин «коллоид» (от греческого «кола», что значит «клей»). Он вообще делил вещества на две группы: кристаллоиды и коллоиды. Согласно представлениям Грэма, кристаллоиды образуют обычные растворы, а коллоиды — коллоидные растворы, которые характеризуются малой устойчивостью, склонностью к образованию гелей, низким осмотическим давлением и т. д. Эта теория оказалась ошибочной, и к правильным представлениям о коллоидах пришли лишь в конце прошлого века благодаря исследованиям ряда ученых, среди которых особо следует отметить австрийского ученого Рихарда Зигмонди (Жигмонди). Он первым выяснил гетерогенную природу коллоидных растворов.

В 1898 г. Зигмонди разработал новую методику получения коллоидных растворов, а в 1903 г. вместе с Генрихом Фридрихом Вильгельмом Зидентопфом на заводах фирмы Карла Цейса в Йене создал так называемый ультрамикроскоп. В этом оптическом приборе объекты освещаются со стороны и наблюдаются на темном поле. Благодаря специальному способу освещения увеличение микроскопа значительно возрастает, что дает возможность наблюдать мельчайшие частицы коллоидов. С помощью ультрамикроскопа Зигмонди провел обширные исследования коллоидных частиц и произвел их классификацию. Большое увеличение позволяло исследовать движение частиц и процессы их соединения, выпадения в осадок и т. д.

В начале нашего века Зигмонди и некоторые другие ученые использовали ультрамикроскоп для исследования броуновского движения. Это явление было открыто в 1827 г. шотландским ботаником Робертом Броуном, в честь которого и получило свое название. Наблюдая в микроскоп движение цветочной пыльцы, взвешенной в воде, Броун заметил, что частички пыльцы без какой-либо видимой причины движутся хаотично. Долгое время никто не отдавал себе отчета в том, насколько глубокий смысл имеет это наблюдение, и лишь в начале XX в., после работ Альберта Эйнштейна, Мариана Смолухов-

ского и Жана Батиста Перрена, это явление получило объяснение.

Математическая теория броуновского движения была разработана в 1905 г. А. Эйнштейном. В основу ее положена кинетическая теория газов. Движение коллоидных частиц вызывается тепловым движением молекул жидкости, с которыми они соударяются. Таким образом, теория давала возможность косвенным способом — путем исследования коллоидных частиц — изучать движение самих молекул. Известный французский физик Жан Перрен собрал большое количество экспериментальных данных, исследуя с помощью ультрамикроскопа не только горизонтальное движение частиц (что делал еще Броун), но и распределение их по вертикали. Несмотря на действие силы тяжести, коллоидные частицы не падают на дно, а остаются рассеянными в жидкости, причем плотность их распределения уменьшается снизу вверх. Броуновское движение и седиментационное равновесие эмульсий дали Жану Перрену возможность определить число молекул в данном объеме жидкости. В начале века, когда некоторые даже крупные химики по-прежнему считали атомы и молекулы не реальными физическими объектами, а лишь удобной абстракцией, открытие Перрена сыграло важную роль.

Жан Перрен выполнил много оригинальных новаторских исследований. Он изучал катодные лучи и показал, что они представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, занимался исследованием рентгеновских лучей и радиоактивности; в 1901 г. он предложил планетарную модель атома. Случилось, однако, так, что в истории науки Перрен известен прежде всего своими исследованиями броуновского движения. В то время как другие ученые использовали для изучения строения вещества вакуумные трубки и радиоактивные препараты, он достиг той же цели простейшими средствами, что, безусловно, служит важнейшим доказательством его таланта.

Третьим ученым, внесшим большой вклад в исследование коллоидов, был шведский химик Теодор Сведберг. В 1906 г., занимаясь изучением броуновского движения, он с помощью ультрамикроскопа сфотографировал следы коллоидных частиц и получил экспериментальные данные, подтверждающие теорию броуновского движения А. Эйнштейна и М. Смолуховского. Результаты Сведбер-

га были настолько убедительны, что даже Оствальд, который упорно отказывался признать существование атомов, вынужден был изменить свое мнение. Самым крупным достижением Сведберга является, однако, изобретение ультрацентрифуги.

Опыты Перрена показали, что, несмотря на действие земного притяжения, коллоидные частицы остаются в растворе во взвешенном состоянии. Чтобы вызвать их осаждение, Сведберг решил просто увеличить силу тяготения. Аппарат, необходимый для этой цели, существовал давно — это центрифуга. Однако создаваемые ею центробежные силы были недостаточны для осаждения мельчайших коллоидных частиц. В 1922 г. Сведберг сконструировал центрифугу, которая, делая 10 000 оборотов в минуту, создавала ускорение, в 5000 раз превышающее ускорение силы тяжести. Это значит, что частица осаждается так, словно ее масса в 5000 раз больше реальной.

Важное значение ультрацентрифуги химии оценили довольно быстро, но по-настоящему незаменимой она оказалась в биохимии. По своим размерам макромолекулы близки к мельчайшим коллоидным частицам. Молекулярные комплексы и клеточные микроструктуры также можно превратить в коллоидный раствор. В результате ультрацентрифуга стала незаменимым инструментом для исследования компонентов живой клетки.

Деятельность Рихарда Зигмонди, Жана Перрена и Теодора Сведберга, трех ученых, создавших современную коллоидную химию, была по достоинству оценена Нобелевским комитетом по физике и химии. Р. Зигмонди получил Нобелевскую премию за 1925 г. за вклад в исследование природы коллоидных растворов и созданные им с этой целью методы. Премии по химии за 1926 г. был удостоен Т. Сведберг за работу над дисперсными системами. Премия по физике была присуждена Ж. Перрену за открытие седиментационного равновесия эмульсий, что послужило одним из доказательств существования молекул,

IX ПРОМЫШЛЕННАЯ ХИМИЯ

Успехи теоретической химии способствовали бурному развитию промышленной технологии и возникновению мощной современной химической промышленности. Особенно ценные результаты принесли исследования закономерностей протекания химических реакций, и прежде всего работы в области термодинамики Вальтера Нернста. В первом десятилетии нашего века труды этого теоретика помогли Фрицу Габеру осуществить химическую фиксацию атмосферного азота.

Получение азотных соединений стимулировалось интенсивным развитием земледелия. После того как в середине прошлого века Юстус Либих заложил основы агрохимии и показал, что растения нуждаются в определенных элементах, началось производство минеральных удобрений. Их важнейшей составной частью являются соединения азота. Основные залежи этих веществ находились в пустыне Атакама в Чили. Однако запасы чилийской селитры были ограничены, и это создавало большие препятствия для развития земледелия. Требовался какой-то другой источник азота, который мог бы заменить селитру.

Этим вопросом занялся профессор Ф. Габер из Карлсруэ. В 1904 г. он начал эксперименты по получению аммиака — основы для синтеза азотной кислоты и нитратов. Габер пропускал электрические искры через смесь азота и водорода, но процесс оказался неэффективным. Не увенчались успехом и попытки использовать электрическую дугу и нагрев до 1000°C . Немецкий химик счел работу бесперспективной и прекратил ее.

В 1906 г. Вальтер Нернст опубликовал результаты своих теоретических исследований по термодинамике, где, в частности, рассматривались условия химического равновесия в реакции соединения азота и водорода с об-

разованием аммиака. Познакомившись с работой Нерста, Габер решил проверить его выводы экспериментально. Действие высокой температуры он уже исследовал, и теперь ему оставалось выяснить, как влияет на реакцию высокое давление.

При синтезе аммиака из двух молекул (азота и водорода) образуется одна. Согласно законам химической кинетики, повышение давления способствует смещению равновесия к конечному продукту. И действительно, при температуре 500°C и давлении 200 атм Габеру удалось получить аммиак путем непосредственного соединения атмосферного азота с водородом. Вскоре после этого открытия была разработана соответствующая технология и начался промышленный синтез аммиака, что привело к значительному снижению цен на азотные удобрения.

К сожалению, нитраты имеют и другое применение: они используются при производстве взрывчатых веществ. Несмотря на это, Нобелевский комитет по химии счел, что мирное применение результатов Габера заслуживает достойной оценки, и в 1918 г. ему была присуждена Нобелевская премия по химии.

Массовое производство аммиака началось в канун первой мировой войны. Его основы были заложены исследованиями двух названных здесь ученых, однако практическая реализация их идей была осуществлена Карлом Бошем, химиком-технологом предприятия «Бадисе анилин унд сода фабрик». Его работа — пример сочетания науки и инженерной практики.

Приступив к практической реализации метода Габера, Бош прежде всего решил вопрос о получении в достаточных количествах и по низкой цене исходного сырья (азота и водорода) и только после этого двинулся дальше. В своих опытах Габер использовал в качестве катализатора осмий, редкий и дорогой металл. После упорных исследований Бош открыл катализаторы, состоящие из окиси железа и алюминия, дешевых и широкодоступных веществ. Решив эту проблему, Бош занялся наконец вопросами конструирования и изготовления промышленной установки.

При высокой температуре водород становится химически настолько активным, что вступает во взаимодействие со сталью. В сочетании с высоким давлением это неизбежно приводило к быстрому разрушению аппаратуры.

Первые установки работали не более нескольких часов и монтировались вдали от мест, где находились люди. После многочисленных экспериментов Бош пришел к оригинальной идее. Он создал установку, состоящую из двух камер: внешней, из обычной стали, где процесс происходил при высоком давлении и относительно низкой температуре, и внутренней, которая испытывала воздействие только очень высокой температуры; легированный сплав, из которого она была сделана, сохранялся длительное время. Таким образом, был создан высокоэффективный конвертор для непрерывного синтеза аммиака.

Разрабатывая метод получения чистого водорода из так называемого водяного газа (смеси окиси углерода и воды), Бош столкнулся с проблемой очистки водорода от окиси углерода. В ходе исследований он обнаружил, что при высоких температуре и давлении эти вещества соединяются, образуя метиловый спирт. Так возникла технология получения одного из основных видов сырья для современной органической химии. Метиловый спирт (метанол) сегодня рассматривается как один из самых перспективных видов топлива.

Проблемой топлива в начале нашего столетия занимался известный химик Фридрих Бергиус. Он начал свои эксперименты приблизительно в то время, когда Габер обрел известность, предложив метод синтеза аммиака при высоком давлении. В своих исследованиях Бергиус использовал подобные же методы. Он интересовался процессами образования угля, происходящими в недрах Земли при огромном давлении и высоких температурах. В своей частной лаборатории в Ганновере Бергиус пытался за короткий промежуток времени осуществить то, для чего природе понадобились миллионы лет.

Пытаясь превратить целлюлозу в уголь, Бергиус получил продукты, поглощающие водород. Это навело его на мысль попробовать соединить водород с обычным углем и получить таким образом нефть. Цель была заманчивая. Вопрос о запасах нефти остро встал в первые десятилетия нашего века, когда начал бурно развиваться автомобильный транспорт. Промышленность пока еще довольствовалась углем, но автомобили требовали жидкого топлива. Оценки запасов нефти выглядели крайне пессимистично: считалось, что нефти хватит, самое большее, до 1950 г. Это и побудило Бергиуса заняться ре-

шеннем задачи спасения человечества от энергетического голода.

Способы производства водорода из угля были известны. Используя полученный таким образом водород, Бергиус при высоких температуре и давлении добился превращения низкокачественных углей в жидкое топливо. Полная отработка технологии была закончена к 1927 г. Возможности маленькой лаборатории Бергиуса давно были исчерпаны, и ему пришлось обратиться за помощью к крупным фирмам.

Технические достижения Карла Боша и Фридриха Бергиуса в области синтеза при высоком давлении явились крупным шагом в развитии химической индустрии. Промышленное производство азотных удобрений получило сегодня широкое распространение, а сокращение запасов нефти остро ставит вопрос о получении искусственных видов топлива. В 1931 г. Нобелевский комитет по химии, оценив вклад названных исследователей, принял решение присудить им Нобелевскую премию.

Полимеры

В начале 20-х годов немецкий химик Герман Штаудингер выдвинул теорию, согласно которой некоторые небольшие молекулы могут объединяться в цепи, содержащие десятки тысяч атомов. Штаудингер считал, что такие макромолекулы содержатся в некоторых коллоидных растворах. Эти идеи были встречены большинством химиков в штыки и целое десятилетие оставались предметом бурных дискуссий, ибо противоречили образу мышления и духу того времени. Ученые не хотели верить, что посредством обычной химической связи может удерживаться вместе огромное число атомов. Подобная позиция кажется странной, если учесть, что исследователи того времени уже давно имели дело с макромолекулами и полимерами.

С одной стороны, нередко случалось, что при химических реакциях вместо ожидаемого соединения получались резиноподобные или смолистые вещества. С другой стороны, биохимики выделяли вещества, образующие коллоидные растворы. Эти результаты объясняли наличием какого-то неизвестного физического взаимодействия между молекулами. Химики просто-напросто никак

не могли допустить возможности образования полимеров.

Но пока теоретики вели ожесточенные споры, практика давала все новые удивительные результаты. После того как удалось добиться модификации таких природных полимеров, как целлюлоза, каучук и другие, началось синтезирование полностью искусственных веществ, которые не встречаются в природе. Среди пионеров в этой области прежде всего следует назвать Адольфа Байера и Лео Хендрика Бакеланда, открывших бакелит. В 1931 г. Уоллес Хьюм Карозерс синтезировал первые полиамидные смолы. Одна из них под названием «нейлон» получила широкую известность. Успехи синтетической химии склонили весы в пользу взглядов Штаудингера. В 30-е годы его теория приобретала все больше сторонников. Появились такие понятия, как высокомолекулярные соединения, полимеры, пластмассы и т. д. Разрабатывались методы исследования строения макромолекул и изыскивались пути их получения. Достигнутые результаты широко внедрялись в практику — производство новых видов пластмасс развивалось бурными темпами.

Штаудингер как исследователь-теоретик остался в стороне от этого развития. Макромолекулы и полимеры занимали его только как интересное с научной точки зрения состояние вещества. Тем не менее именно его работы положили начало развитию этого нового раздела химии. Поэтому — хотя и с известным опозданием — его работы привлекли внимание академиков из Стокгольма. В 1953 г., когда уже все восторженно говорили о наступлении эры пластмасс, Штаудингер был удостоен Нобелевской премии по химии.

Вообще говоря, число веществ, способных к самопроизвольной полимеризации, весьма незначительно. Обычно для начала реакции необходимы специальные условия и катализаторы. Например, для соединения молекул этилена в цепь необходимо давление 1200—3000 атм и температура около 200°C. Технология производства пластмасс претерпела коренные изменения после открытия химика-органика (ФРГ) Карла Циглера, директора Института им. Макса Планка по исследованию угля в Мюльхейме (Рурская область).

Располагая в своем институте большим количеством этилена, Циглер занялся исследованиями каталитического воздействия различных веществ на его полимеризацию.

В начале 50-х годов после длительных экспериментов он достиг желанного успеха. Была создана технология, которая позволяла полимеризовать этилен при низком давлении с помощью смешанного титан-алюминиевого катализатора (катализатора Циглера). Об открытии Циглера было официально объявлено в 1953 г., и он получил патенты в ряде стран. Полиэтилен, синтезированный при низком давлении по технологии Циглера, имел отличные качества благодаря хорошей линейной упорядоченности полимерных цепей, полученных с применением катализатора.

Узнав об этом крупном успехе, химик-органик Джулио Натта из Милана решил подробнее изучить, как действуют катализаторы Циглера и какие полимеры при этом получаются. С этой целью он решил использовать методы рентгеновской и электронной дифракции. Было установлено, что катализаторы имеют своеобразную структуру, обеспечивающую образование стереорегулярных полимеров. Начав с изучения результатов Циглера, Натта сделал собственные важные теоретические обобщения, которые в дальнейшем значительно облегчили усовершенствование технологии производства полимеров. В 1963 г. теоретик Джулио Натта и экспериментатор Карл Циглер были удостоены Нобелевской премии по химии.

Однако после первых безудержных восторгов, связанных с получением пластмасс, — когда считалось, что они вытеснят чуть ли не все остальные материалы, — пришло отрезвление: выяснилось, что макромолекулы имеют и свои недостатки. Для их преодоления необходимы более глубокие теоретические исследования. Одним из ученых, работавших в этой области, является американский физикохимик Пол Джон Флори.

Этот ученый открыл ряд зависимостей между термодинамическими параметрами полимеров и свойствами их растворов. Занимаясь методами образования макромолекул, Флори внес ясность в вопросы, касающиеся их химической природы, конфигурации и взаимодействия. На основе физико-химических характеристик полимеров Флори получил ряд данных об их строении и свойствах. В 60-е годы этот ученик Карозерса применил свои открытия и к исследованию биологических макромолекул.

Четыре десятилетия, отданные науке о полимерах, принесли Полу Флори мировое признание. Общее мне-

ние научной общественности нашло свое выражение в присуждении этому исследователю в 1974 г. Нобелевской премии по химии.

Химический синтез

Химический анализ и синтез, как правило, неразрывно связаны. После того как экспериментатор разделит какое-либо соединение на составляющие его элементы, он пытается построить определенную гипотезу относительно их упорядоченности в соединении, и лучший способ проверить ее — это синтез. Именно так строилась работа Эмиля Германа Фишера по изучению строения и синтезу углеводов и ряда производных пурина (веществ, имеющих исключительно большое значение для биохимии).

Свои исследования сахаров Фишер начал в 1884 г., накопив значительный опыт в работе с более простыми соединениями, у которых проявляются подобные свойства. Он синтезировал большое число моносахаридов, в том числе глюкозу и фруктозу. Обобщая свои данные, Фишер предложил простую номенклатуру, которую довольно быстро химики приняли. Наряду с этими работами Фишер экспериментировал также с соединениями, объединенными в группу пурина и его производных. Она включает такие вещества, как кофеин, теобромин из бобов какао, гуанин, аденин, гипоксантин и другие. Фишер показал их большое сходство и синтезировал пурин — исходное соединение, имеющее молекулу кольцевидной формы, из которого получают различные вещества данной группы. Далее Фишер стал разрабатывать методы синтеза пуриновых соединений и их взаимного превращения.

Имея большое значение для химии органических соединений, эти исследования впоследствии стали основой, на которой формировались представления о строении углеводов и нуклеиновых кислот. К этой группе относятся такие гигантские биомолекулы, как целлюлоза, гликоген, ДНК и многие другие. Работы Фишера по сахарам подтолкнули ученых и экспериментаторов к исследованиям процессов ферментации и ферментов, а затем и белков. Фишер принадлежал к числу тех ученых, которые считали, что между ферментом и субстратом, превращение которого он катализирует, должно существовать пространственное соответствие — они должны подходить друг к другу, как «ключ к замку».

В 1889 г. Фишер начал исследования белковых веществ, создав метод разделения и анализа аминокислот, из которых они строятся. В 1902 г. он установил, каким образом аминокислоты соединяются между собой, образуя гигантские биополимеры. Это крупнейшие его открытия, благодаря которым он широко известен и сегодня. Однако и до этих исследований Фишер пользовался большим авторитетом среди своих коллег. За исследование сахаров и пуринов он был удостоен в 1902 г. Нобелевской премии по химии.

С того времени как стали присуждаться Нобелевские премии, было немало крупных ученых, работы которых, однако, не совсем отвечали условиям, предусмотренным уставом Нобелевского фонда. В ряде случаев эксперты из Нобелевских комитетов, желая отметить заслуги таких исследователей, находили компромиссное решение. Так произошло с одним из самых замечательных специалистов в области химического синтеза второй половины XIX в. Адольфом Байером. Через три года после своего ученика Э. Фишера он также стал лауреатом Нобелевской премии.

Сегодня А. Байер наиболее известен как исследователь, который синтезировал и установил свойства индиго. Начиная с 1865 г. он в течение более чем десяти лет исследовал структуру этого природного красителя и испытывал различные способы его получения. Путь к разработке промышленной технологии оказался более длинным, и лишь в 1890 г. началось производство дешевого искусственного красителя, а к концу прошлого века плантации, на которых выращивали растение индигофера, стали нерентабельны. Немецкий ученый провел обширные исследования и других красителей, в частности фенолфталеина. Байер стремился создать теорию, которая могла бы объяснить связь между строением и цветом соединения. Он работал и с пириловыми, и с пиридиновыми циклическими соединениями и начал исследования пуринов, продолженные его учеником Фишером.

Опыты Байера с так называемыми ароматическими соединениями (они обязаны своим названием отнюдь не аромату), которые характеризуются определенной структурой, производной от бензола, привели его в 90-е годы прошлого века к открытию гидроароматических соединений. Эти вещества насыщены водородом, и в них отсутствуют двойные связи, столь характерные для бен-

зола и подобных ему веществ. К гидроароматическим соединениям относятся такие природные вещества, как терпены и камфора.

Адольф Байер, один из самых универсальных химиков конца прошлого века, работал во многих областях. Однако Нобелевская премия была присуждена ему в 1905 г. именно за исследования органических красителей и гидроароматических соединений. Его работы внесли большой вклад в развитие органической химии.

Основной метод синтетической химии состоит в нахождении соответствующих реакций, при которых в молекулы могут выстраиваться определенные атомы и радикалы. Реакцию такого типа открыл Виктор Гриньяр из Лионского университета. Исследования этого ученого были связаны с элементоорганическими соединениями. Это органические соединения, содержащие в молекуле помимо углерода и водорода любой элемент (за исключением азота, кислорода, серы и галогенов), непосредственно связанный с углеродом. (Соединения, в которых таким элементом является металл, называются металлоорганическими.) В ходе своих исследований Гриньяр обнаружил вещества с особыми свойствами, подходящими для синтеза.

Реактивы, открытые Гриньяром в начале века, применяются ныне почти в любой области химии синтеза. Это соединения, в которых органическая молекула связана с магнием, а атом магния — с каким-либо галогеном, например хлором, бромом, иодом и т. д. С помощью реактивов Гриньяра получают разные спирты, элементоорганические соединения и многие другие вещества. И в наши дни этот метод синтеза остается одним из наиболее популярных и широко применяемых в органической химии. За это крупное открытие Виктор Гриньяр был удостоен в 1912 г. Нобелевской премии по химии. Эту награду с ним разделил Поль Сабатье, также известный своими достижениями в области синтетической химии, синтеза, разработавший методы органического катализа.

Сабатье, как и Гриньяр, стал академиком. Однако до этого он долгие годы работал в провинции — преподавал в Тулузском университете. Этому учебному заведению Сабатье отдал почти полвека своей жизни. Его наиболее известные работы связаны с применением катали-

тических методов. Он первым выдвинул теорию каталитического действия металлов. Вместе со своим сотрудником Жаном Батистом Сандераном Сабатье разработал так называемые гетерогенные катализаторы (сильно раздробленные металлы, ускоряющие химические реакции). Во множестве экспериментов были исследованы каталитические свойства никеля, кобальта, платины, железа, меди и ряда других металлов, а также их окислов и сплавов. Основной механизм действия этих катализаторов заключается в добавлении водорода к органической молекуле или в выделении его из молекулы.

Присоединение водорода (гидрирование) — прием, которым широко пользуются в химической технологии. При высоких температурах и давлениях таким методом получают аммиак из атмосферного азота или жидкие углеводороды из угля. Каталитическое гидрирование, начало которому положили работы Поля Сабатье, дает возможность при достаточно мягких условиях получать из жидких растительных масел твердые. Примером может служить производство маргарина.

Большим шагом вперед явилось введение в органический синтез порошкообразных катализаторов. За обширные исследования в этой области П. Сабатье получил в 1912 г. Нобелевскую премию по химии вместе с В. Гриньяром. Работы этих ученых имели особенно большое значение для прикладной химии и химической технологии.

В 20-е годы профессор Кильского университета Отто Дильс вместе со своим сотрудником Куртом Альдером предложил новый метод химического синтеза, который нашел такое же широкое применение, как и реактивы Гриньяра. Реакция основывалась на свойствах так называемых диеновых соединений, имеющих двойные связи.

В 1928 г. О. Дильс и К. Альдер открыли и объяснили один из видов реакции диеновых соединений с молекулами, имеющими обычные одинарные связи. Подобные реакции наблюдались и раньше, однако не получили должного объяснения. Два немецких исследователя сразу же поняли, что вновь открытое взаимодействие позволяет создать новый метод синтеза. И действительно, методом диенового синтеза было получено большое количество соединений, синтез которых до этого был очень затруднен или даже казался невозможным.

Реакция Дильса — Альдера широко используется для синтеза циклических соединений с кольцевидной структурой. Так получают молекулы, служащие исходным сырьем для получения большого числа важных веществ — аналогов природных соединений. Наряду с этим указанная реакция служит ценным методом исследования строения сложных молекул.

Отто Дильс, ученик Э. Фишера, стал лауреатом Нобелевской премии по химии в 1950 г. Вместе с ним был награжден и Курт Альдер. Носящая их имя реакция сегодня широко используется в синтетической химии.

Синтез сложных природных соединений позволяет также и разгадать их структуру. Особых успехов в этой области добился американский химик-органик, профессор Гарвардского университета Роберт Бёрнс Вудворд. Этот ученый осуществил целую серию замечательных синтезов: хинина, стрихнина, холестерина, кортизона, различных аминокислот и т. д. К этому можно добавить исследования структуры антибиотиков. Последующие синтезы дали возможность получать их различные модификации. Синтезирование новых антибиотиков очень важно для медицинской практики, так как позволяет «опережать» микроорганизмы, многие из которых, как известно, быстро приспосабливаются к действию лекарств. Наряду с экспериментальной деятельностью Р. Вудворд известен и теоретическими разработками, касающимися химических реакций различных видов и перегруппировки атомов в ходе этих реакций. Занявшись биологией, Вудворд создал теорию биологического происхождения алкалоидов и занялся синтезом белковых молекул.

За свою плодотворную и разностороннюю деятельность Роберт Бёрнс Вудворд в 1965 г. был удостоен Нобелевской премии по химии.

Синтетическая химия — это своеобразное творчество. Итальянский историк химии Микеле Джуа называет ее «покорением вещества». В этой области химии наиболее отчетливо видно, как ученые продвигаются вперед на ощупь, ведомые своей интуицией. Правила и принципы синтеза вырабатываются лишь после того, как открываются новые удачные реакции. Эта область деятельности продолжает оставаться плодотворным поприщем для мно-

гих исследователей.* К числу последних достижений синтетической химии относятся исследования Герберта Чарлза Брауна и Георга Виттига, которые разработали методы синтеза сложных органических соединений, содержащих элементы бор и фосфор.

Герберт Браун, выпускник Чикагского университета, сначала занимался неорганической химией. Еще молодым исследователем он как-то получил в подарок книгу о соединениях бора. Эти вопросы очень его заинтересовали и в значительной степени определили его дальнейший путь. Еще в начале 40-х годов он получил реактивы, нашедшие широкое применение в органической химии.

В 1956 г. Браун открыл реакцию, в которой бор присоединялся к органическим молекулам двойной связью. Производные вещества могут вступать далее в различные реакции, при которых на место бора вводятся функциональные группы. Этот метод открывал возможность получения новых комбинаций атомов и радикалов, синтеза большого числа органических соединений, природных и лекарственных веществ. Были открыты также соединения, ранее вообще неизвестные.

Как и многие крупные ученые, Браун чрезвычайно плодотворно работает. Он автор 700 статей и 4 монографий, подготовил более 200 будущих научных работников. За большие достижения в исследовании органических соединений бора Герберт Браун был удостоен в 1979 г. Нобелевской премии по химии.

Другим лауреатом того же года стал химик из Гейдельбергского университета Георг Виттиг. Коллеги причисляют Виттига к создателям современного органического синтеза, в котором особенно широко используются элементоорганические соединения. В обычных органических молекулах главное место занимает углерод, наряду с ним встречаются водород, кислород и азот. К этим молекулам могут добавляться атомы металлов или других элементов. Работа Виттига связана преимущественно с фосфорорганическими соединениями.

Виттиг сосредоточил внимание на реакции, исследованной Штаудингером еще в 1919 г. В этой реакции осу-

* Благодаря работам таких ученых, как Р. Б. Вудворд, Д. Бартон, советский химик М. М. Шемякин и др., органический синтез из «искусства» превратился в область целенаправленного «крупноблочного строительства», — *Прим. ред.*

ществляется взаимодействие полярных фосфорорганических соединений — так называемых илидов — с различными органическими молекулами. Для илидов характерно, что в них углерод, связываясь с фосфором или другим подобным элементом, приобретает отрицательный заряд. Это приводит к таким свойствам фосфорпроизводных, которые создают условия для необычной реакции.

Многие годы на эту реакцию никто не обращал внимания, и ее возможности оставались нераскрытыми. Она широко введена в химию в 1953 г. именно Виттигом и названа его именем. Использование фосфоилидов — один из основных методов современного органического синтеза. Реакция Виттига обеспечивает эффективный способ получения огромного множества самых разнообразных соединений: с ее помощью можно синтезировать как линейные структуры, подобные витамину А, так и сложные кольцевидные соединения.

Чисто лабораторное открытие Виттига благодаря работе химиков и технологов нашло широкое практическое применение. Сам Виттиг сегодня занимается другими исследованиями подобного рода, польза которых пока еще не очевидна, однако истинное их значение покажет лишь будущее. Присуждение Георгу Виттигу и Герберту Брауну Нобелевской премии является еще одним свидетельством большого значения синтетической химии — области науки, непосредственно связанной с повседневной жизнью человека.

После работ Ф. Сенгера начались попытки синтеза белковых молекул. Это оказалось очень непросто. Необходимо было сотни реакций для получения белка всего в тысячных долях процента.

В 1961 г. Роберт Брюс Мэррифилд из Рокфеллеровского университета решил синтезировать пептидные цепи белков, используя автомат, работавший на принципиально новой основе. Синтез полипептидной нити осуществлялся на микроскопическом шарике твердого полимерного носителя. К такому шарiku прикрепляли первую аминокислоту, а затем последовательно «наращивали» на ней остальные. В конце концов полученный пептид отделялся от твердого носителя и переводился в раствор. Эффективность нового метода была продемонстрирована уже в 1963 г.: был синтезирован пептидный гормон брадикинина, состоящий из 9 аминокислот. Существенно то,

что методы очистки и разделения продуктов можно заменить стандартными операциями промывки и фильтрации.

В Советском Союзе М. М. Шемякин и Ю. А. Овчинников разработали такой же метод синтеза на растворимом полимерном носителе. Он позволяет получить более однородный и чистый пептид. Разработанная Р. Мэррифилдом методология твердофазного синтеза произвела подлинную революцию в химическом синтезе и оказала мощное воздействие на развитие различных областей биохимии, молекулярной биологии, биотехнологии и т. д. По мнению многих авторитетных ученых, открытие Мэррифилда оказало большое влияние на сам образ мышления специалистов. За свое выдающееся достижение, открывающее новые горизонты в познании свойств вещества, Роберт Брюс Мэррифилд был удостоен в 1984 г. Нобелевской премии по химии.

Х ПРИРОДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Изучение веществ, содержащихся в живых организмах, привело в начале XIX в. к возникновению органической химии. Однако постепенно эта наука свелась в основном к исследованию многочисленных соединений углерода. Приблизительно в то же время возникла и биохимия, которая сосредоточила свое внимание преимущественно на сложных макромолекулах, по своему строению и свойствам резко отличающихся от простых соединений, с которыми имеет дело обычная химия. Промежуточное место между этими двумя областями химии занимает так называемая биоорганическая химия. Она изучает природные соединения, которые относятся к числу сравнительно низкомолекулярных, физиологически активных веществ и синтезируются в живых организмах *. В этой области работало немало известных ученых, труды которых значительно обогатили науку.

В конце прошлого века химики вторглись в обширную группу алициклических соединений (органических молекул циклического строения). Одним из пионеров в исследовании этих соединений является немецкий химик-органик Отто Валлах, который достиг больших успехов в изучении терпенов — весьма интересных представителей названной группы.

Эти вещества содержатся во многих растениях и входят в состав эфирных масел, широко использовавшихся еще в древности. С развитием современной химии удалось выделить в чистом виде значительное число таких соединений. До О. Валлаха, который начал заниматься этим вопросом в 1884 г., было описано свыше ста различ-

* Эти определения упрощены — биоорганическая химия изучает вещества, лежащие в основе процессов жизнедеятельности, и их биологические функции. Биополимеры (в том числе белки и нуклеиновые кислоты) — основные объекты ее исследования.—
Прим. ред.

ных терпенов. А спустя шесть лет осталось не исследовано всего восемь терпенов; впоследствии к ним добавилось еще несколько вновь открытых. Валлах установил, что большинство из описанных терпенов химически идентично. Занимаясь их выделением, он исследовал их химические свойства, а также способы превращения одних терпенов в другие. Как обнаружилось, каждый из видов терпенов отличается своим особым ароматом, что делало их очень ценными для парфюмерной промышленности.

Плодотворная деятельность Отто Валлаха увенчалась созданием отдельного раздела в химии. За исследования терпенов Валлах был удостоен в 1910 г. Нобелевской премии по химии.

В исследовании и классификации так называемых высших терпенов большая заслуга принадлежит швейцарскому химику-органику, профессору Федерального технического института в Цюрихе Леопольду Стефану Ружичке. Его работы привлекли, в частности, внимание производителей духов.

Старейшая в мире фирма «Хартман и Реймер» использовала в 1916 г. результаты его научной работы, выполненной на соискание ученой степени. Год спустя фирма «Сибя» в Базеле заинтересовалась синтезированным Ружичкой веществом, напоминающим хинин. Однако основные открытия Ружички были связаны с исследованиями мускуса и цибетина, веществ с острым запахом, выделяемым некоторыми животными, особенно самцами.

В 1926 г. Ружичка установил строение мускона и синтезировал цибетон. Первое из этих соединений представляет собой кольцо из 15, а второе — из 17 атомов углерода. До этого существование устойчивых соединений с такими большими кольцами считалось невозможным. Ружичка пошел дальше, синтезируя еще более крупные кольца, включающие до 34 атомов углерода. При этом он сделал весьма интересное наблюдение: с увеличением кольца изменялся аромат. При 5—8 атомах углерода в кольце ощущался запах миндаля, тмина и мяты; при 10—12 — камфоры, а при 14—18 — мускуса. Последний выделяется многими животными и выполняет сигнальную функцию в периоды размножения. Нет ничего удивительного, что эти пахучие вещества давно интересовали парфюмерную промышленность; поэтому открытия Ружички особенно порадовали производителей парфюмерных изделий.

За свои работы в области высших терпенов и полиметиленов Ружичка был награжден в 1939 г. Нобелевской премией по химии. Вместе с ним премию получил немецкий биохимик Адольф Бутенандт — за исследование половых гормонов, которое было неразрывно связано с работой Ружички. Поскольку в Европе шла война, никто из них не смог выехать в Стокгольм *. Ружичке медаль и грамота были переданы шведским послом в Берне, и лишь через шесть лет, в 1945 г., он посетил Стокгольм, чтобы прочесть свою Нобелевскую лекцию.

Существует большая группа веществ растительного и животного происхождения, структура которых включает известное циклопентанпергидрофенантеновое ядро. Это стероиды. Указанная структура встречается в самых различных биологически активных веществах: витаминах, желчных кислотах, половых гормонах, растительных ядах, алкалоидах и многих других. В этой обширной области биоорганической химии работали многие ученые, среди которых немало лауреатов Нобелевской премии.

В 1927 г. Нобелевский комитет по химии решил не присуждать премии (по уставу Нобелевского фонда ее присуждение может быть задержано на год). Это позволило наградить в 1928 г. двух ученых, пионеров в исследованиях стероидов: Генриха Виланда — за исследование строения жёлчных кислот и связанных с ними веществ и Адольфа Виндауса — за изучение строения стероидов и их связи с витаминами группы D.

Жёлчные кислоты были объектом исследования химиков с начала XIX в. Они являются частью секрета печени, который выливается в пищеварительный тракт. До исследований Виланда почти ничего не было известно об их структуре и связях между различными кислотами. Он приступил к исследованию этих проблем в 1912 г., а к 1932 г. полностью исследовал их структуру, установив, что они имеют углеродный скелет стероидного характера.

Виланд умел находить самые неожиданные объекты для исследований. Так, он занялся изучением пигментов, обуславливающих окраску крыльев бабочек, и открыл интересную группу птериновых соединений. В шкуре

* А. Бутенандту руководство нацистской Германии приказало отказаться от премии. Он получил ее только в 1949 г, (см, примечание на с. 202).— *Прим. ред.*

лягушки он обнаружил сильный яд буфоталин (родственный жёлчным кислотам), который стал использоваться как ценное лекарство. Весь творческий путь Генриха Виланда полон подобных открытий, и в 1927 г. он был удостоен Нобелевской премии по химии.

Еще в начале нашего столетия Адольф Виндаус по совету своего учителя Генриха Килиани занялся исследованием холестерина, о котором в то время мало что было известно. Это соединение относится к группе стероинов, являющихся спиртами сложного строения. Название «стерины» происходит от греческого корня и в переводе означает «твердый». Исследования показали, что стерины структурно связаны с жёлчными кислотами. Соединения обеих групп имеют в своей основе фенантрен и циклопентан, которые образуют ядро. К этому ядру присоединяются различные другие группы соединений; в результате создается богатое разнообразие структур.

Виндаус изучал также растительные гликозиды, которые входят в состав многих лекарств, прежде всего сердечных стимуляторов. Он показал, как эргостерин (вещество, содержащееся в дрожжах) под действием ультрафиолетовых лучей превращается в витамин D. Это открытие имело большое значение не только для выяснения структуры этого витамина, но и для организации его промышленного производства.

Исследования Виндауса во многих отношениях переплетаются с работой Виланда, поэтому вполне закономерно одновременное присуждение им в 1928 г. Нобелевской премии по химии. Адольф Виндаус был удостоен этой награды за исследование стероинов и их связи с витаминами.

Исключительно важную группу природных соединений образуют углеводы. Под этим названием объединяются различные сахара и их полимеры. Название «углеводы» возникло в 40-е годы XIX в., когда был установлен количественный состав некоторых из этих соединений. Они состоят из углерода, водорода и кислорода, содержащихся в таком соотношении, что наводило на мысль о наличии молекулы воды на каждый атом углерода. Позднее стало ясно, что никакой воды нет, но название сохранилось*.

* Термин «углеводы» был введен в 1844 г. профессором Тартуского университета Карлом Эрнестовичем Шмидтом.— *Прим. ред.*

В 1925 г. английский ученый Уолтер Нормен Хоуорс, профессор Бирмингемского университета, после многолетних исследований показал, что моносахариды (простейшие сахара) имеют кольцевидное строение. В качестве их исходных структур можно рассматривать кольца пирана и фурана. Кольцо пирана — шестнатиомное, построенное из 5 атомов углерода и 1 атома кислорода. В пятиатиомном кольце фурана имеется 4 атома углерода и 1 атом кислорода. Добавляя к этим кольцевидным структурам гидроксильные группы и еще атомы углерода, можно получать основные моносахариды.

В 1928 г. венгерский химик Альберт Сент-Дьёрдьи, исследуя экстракты, выделенные из растений, получил вещество, которое назвал гексуроновой кислотой. Это вещество напоминало углеводы, и поэтому, посетив несколько позже Бирмингемский университет, Сент-Дьёрдьи предложил Хоуорсу заняться его изучением. Это был витамин С. Методом рентгеноструктурного анализа и другими способами английский ученый установил структуру указанного вещества и синтезировал его. Это чрезвычайно важное для живого организма соединение похоже на так называемые сахарные кислоты.

Метод рентгеноструктурного анализа Хоуорс использовал и для исследования других моносахаридов; в результате было установлено, что они имеют именно такую структуру, как он и предполагал. Определение кольцевидного строения моносахаридов позволило объяснить процесс их соединения в дисахариды, к каковым относятся обычный сахар, молочный сахар и другие соединения. Далее английский химик показал, как моносахариды соединяются в длинные цепи, образуя такие биополимеры, как крахмал, гликоген, целлюлоза и т. д.

Исследования Хоуорсом углеводов и витамина С сыграли огромную роль в развитии химии этих соединений. Это принесло английскому ученому широкую известность в научных кругах, и в 1937 г. он был удостоен Нобелевской премии по химии, разделив ее с швейцарским исследователем витаминов Паулем Каррером.

Существует группа органических веществ под названием «алкалоиды». Многие из них ядовиты и оказывают наркотическое действие. Содержащие их лекарственные растения известны с древнейших времен. В начале XIX в. были выделены в кристаллической форме первые такие соединения; в соответствии с их химическими свой-

ствами они были названы алкалоидами, т. е. «щелоче-подобными».

Первые опыты производились с опиумом, и в 1817 г. из него был выделен морфин. После этого были открыты стрихнин, хинин, кофени, кокаин и т. д. Ныне известно около 1000 алкалоидов, которые в зависимости от своего строения делятся на несколько групп.

С исследованием алкалоидов связано имя английского ученого Роберта Робинсона. В частности, он изучил такие алкалоиды более сложного строения, как морфин и стрихнин. В их молекулах содержится соответственно 40 и 47 атомов; поэтому, чтобы определить их структуру, потребовались немалые усилия. Робинсон успешно справился с этой задачей, хотя на различных этапах работы приходилось делать выбор между десятками возможных структурных формул. Затем он приступил к изучению ряда других алкалоидов. На основании проведенных исследований он разработал теорию этих соединений в растительных клетках.

Английский химик занимался исследованиями и в других областях. Изучая структуру половых гормонов, Робинсон синтезировал искусственные вещества, оказывающие подобное действие. Рассматривая механизм электрохимических реакций между органическими молекулами, он внес вклад в химическую теорию. Разнообразная научная деятельность Роберта Робинсона (протекавшая преимущественно в Оксфордском университете) увенчалась присуждением ему в 1947 г. Нобелевской премии по химии. Этой награды он был удостоен за исследование биологически активных растительных веществ, в частности алкалоидов.

Кроме того, еще два исследователя стали лауреатами Нобелевской премии за открытия в области природных соединений.

Это были Джон Уоркап Корнфорт, сотрудник Робинсона, и Владимир Прелог, сотрудник и преемник Ружички в Федеральном техническом институте в Цюрихе.

Главные работы Д. Корнфорта связаны с проблемой биосинтеза холестерина. Это вещество играет важную роль в процессе обмена веществ и в образовании гормонов в организме человека. Удачно применяя метод меченых атомов, ученый показал, как осуществляется синтез сложного соединения в более примитивном организме. Исследования были далеко не простыми, так как

каждый этап биосинтеза состоит из серии сложных реакций, связанных с изменением и модификацией молекулярных структур. За эти и другие исследования Корнфорт был избран членом Лондонского королевского общества и получил множество наград и отличий. Очередным выражением признания его заслуг было присуждение ему в 1975 г. Нобелевской премии по химии.

Другим лауреатом того же года стал Владимир Прелог, известный своими мастерски выполненными исследованиями в области стереохимии органических соединений. Вместе с другими учеными он разработал стереохимическую номенклатуру, принятую сейчас во всем мире. Крупным его достижением является синтез углеводорода адамантана, который по своей структуре напоминает кристаллическую решетку алмаза.

В 60-е годы Владимир Прелог стал заниматься изучением обмена веществ у микроорганизмов и участвующих в нем соединений. Он объяснил механизм действия ряда антибиотиков, которые, блокируя действие некоторых веществ, нарушают последовательность реакций обмена. Прелог выделил ряд исключительно сложных комплексных органических соединений, с помощью которых микроорганизмы извлекают из окружающей среды такие необходимые для обеспечения жизненных процессов элементы, как калий, железо, бор и другие.

Обширная научная деятельность Прелога завоевала ему признание научной общественности. Он был избран иностранным членом Академии наук СССР, Лондонского королевского общества, Национальной академии наук США, Американской академии наук и искусств и многих других научных обществ и академий*.

В 1975 г. В. Прелог был удостоен Нобелевской премии по химии за исследование физиологически активных низкомолекулярных соединений. Вместе с ним был награжден и Д. Корнфорт. Награждение названных ученых символизировало очередное признание биоорганической

* В. Прелог внес большой вклад в теорию органической химии. Он ввел понятие «хиральность», сформулировал в 1950 г. правило о предпочтительной конформации оптически активных веществ в ходе их превращений (правило Прелога), опроверг (совместно с Л. Ружичкой) правило Бредта, запрещающее существование C_6 -циклов с деоной связью при углероде, находящемся у мостика, и т. д. — *Прим. ред.*

химии, являющейся связующим звеном между химией и биологией и одной из важных областей современной науки.

Витамины

В 1881 г. русский ученый Николай Иванович Лунин провел интересные эксперименты с пищевыми веществами: извлекая белки, жиры, углеводы и соли из молока, он кормил этой смесью лабораторных мышей. Несмотря на то что пища бралась, казалось бы, из самого полноценного продукта, животные чахли и умирали. Из этого Лунин, совершенно естественно, сделал вывод, что для удовлетворения потребностей организма кроме указанных веществ необходимы еще какие-то. Однако его публикация, как и работы многих других ученых на эту тему, не обратила на себя особого внимания.

Как выяснилось впоследствии, с этими веществами связан ряд заболеваний, в лечении которых в конце прошлого века врачи испытывали затруднения.

К ним относится, в частности, болезнь бери-бери, которая была серьезной проблемой для стран Юго-Восточной Азии, и особенно для Индонезии, которая была в то время голландской колонией.

В 1886 г. голландское правительство направило на остров Яву известного патологоанатома Корнелиса Пекельхаринга и невролога Клеменса Винклера из Утрехтского университета. Их помощником был назначен военный врач Христиан Эйкман, уже работавший в тропических районах. В то время бактериология переживала расцвет, и, совершенно естественно, голландские ученые занялись поисками микроба, вызывающего бери-бери. Пекельхаринг и Винклер, не обнаружив ничего заслуживающего внимания, вскоре уехали, оставив Эйкмана в Батавии (Джакарта) для продолжения работы. Он пробыл там 10 лет, проводя многочисленные исследования, связанные с тропической медициной, и продолжая поиски причины болезни бери-бери. Его исследования завершились интересным открытием.

Тайна этой болезни была разгадана совершенно случайно. Лаборатория в Батавии имела небольшое хозяйство по разведению кур. Птицы находились на довольно однообразной рисовой диете и постепенно становились жертвой болезни, клиническая картина которой весьма

напоминала бери-бери. Интересовавшийся этим заболеванием Эйкман сразу уловил сходство и занялся экспериментами. Он добавил в пищу кур немного рисовых отрубей, и они быстро выздоровели. Оказалось, что при полировке риса, когда зерно очищается от оболочки, теряется какое-то ценное вещество, и местные жители, питавшиеся преимущественно рисом, становились жертвами бери-бери.

Подозрение, что эта болезнь связана с питанием, высказывалось еще в 70-е годы прошлого века. В 90-е годы Эйкман открыл причину болезни, но на это почти никто не обратил внимание. Болезнь бери-бери продолжала оставаться серьезной проблемой. Во время русско-японской войны из-за нее была выведена из строя шестая часть личного состава японской армии. Чтобы разрешить проблему, необходим был иной подход. Одним из ученых, способствовавших этому, был Фредерик Гоулэнд Хопкинс.

Рано заинтересовавшись химией, Хопкинс работал в различных фирмах и лишь в 28-летнем возрасте занялся медициной. В 32 года он получил диплом и стал преподавать физиологическую химию, как называли в конце прошлого века биохимию. Знание химии и медицины позволило Хопкинсу провести интересные исследования. По существу его методика была такой же, как и у Лунина. Он кормил лабораторных животных (детенышей мышей и крыс) искусственной смесью из различных пищевых веществ и регулярно взвешивал их на весах, наблюдая за ростом. При появлении малейших отклонений от нормы Хопкинс тотчас начинал проводить химические анализы пищи.

Прежде всего он открыл, что белковые вещества различаются по своей питательной ценности. Более подробные исследования показали, что это определяется их составом. Хопкинс открыл незаменимые аминокислоты, которые не могут синтезироваться организмом и должны поступать в него с пищей. Питание неполноценным белком плохо отражалось и на мышах; поэтому в своих дальнейших экспериментах Хопкинс использовал наиболее полноценный белок — казеин (молочный белок). Несмотря на это, состояние лабораторных животных нельзя было назвать хорошим. Хопкинс выяснил, что в зависимости от степени очистки казеин оказывает различное воздействие. Тогда он решил добавить в пищу

животных немного молока — эффект был поразительный. Состояние животных резко улучшалось.

К 1910 г. Хопкинс собрал достаточно данных и в марте 1911 г. на одном из собраний членов Английского биохимического общества выступил со своей теорией о «дополнительных» питательных веществах. Эта тема сразу была подхвачена прессой. Лондонская газета «Дейли мейл» опубликовала сенсационные материалы, которые были перепечатаны многими газетами Европы и Америки. Создалась обстановка, в которой кто-то должен был сделать последний завершающий шаг.

Его сделал польский ученый Казимеж Функ, который в 1911 г. также работал в Лондоне. В декабре он опубликовал результат своих исследований экстрактов из семян риса. Выделив вещество в кристаллическом состоянии, он назвал его витамином. Позднее стало ясно, что не все соединения такого рода являются витаминами, но то, что они жизненно важны, не вызвало сомнений. Введя новое понятие — авитаминоз, К. Функ разработал теорию этого явления, которая, между прочим, весьма напоминала идеи Хопкинса. Между учеными завязался спор о приоритете.

Безусловно, Хопкинс является пионером в этой области, однако Функ как автор понятия «авитаминоз», активно работавший потом в области производства витаминов, приобрел гораздо большую известность.

Кандидатуры Эйкмана и Хопкинса не раз выдвигались на соискание Нобелевской премии — и наконец эксперты пришли к заключению, что их исследования уже устарели. Наука, однако, богата неожиданностями. В 1929 г. вопрос о витаминах вдруг предстал в новом свете. Выяснилось, что витамины связаны с ферментами, являясь для них кофакторами. Тогда-то Каролинский институт принял решение наградить двух пионеров в этой области — Эйкмана и Хопкинса, — заявив, что важность их исследований стала теперь очевидной.

Открытия Эйкмана и Хопкинса, за которые они получили Нобелевскую премию по медицине и физиологии, были связаны с витаминами B_1 и А. Эти названия, правда, возникли позднее, когда началось химическое исследование витаминов. В этой области работали многие ученые, и некоторые из них были удостоены Нобелевской премии.

К числу самых известных исследователей витаминов

относится швейцарский химик-органик Пауль Каррер. В своих экспериментах он в основном использовал методы селективной абсорбции Вильштеттера, ультрацентрифугирования Сведберга и хроматографии Цвета.

Каррер занялся витаминами после того, как в 1929 г. шведский биохимик Ханс фон Эйлер-Хельпин показал, что пигмент каротин оказывает то же воздействие, что и витамин А. В 1930 г. швейцарский исследователь, уже зная структуру бета-каротина, мог сказать, как из него образуется витамин А.

Это имело большое значение, так как позволяло лучше исследовать физиологическое действие этого вещества и разработать методы его производства.

Другое открытие Пауля Каррера связано также с пигментами. Занимаясь «желтыми ферментами», открытыми Отто Генрихом Варбургом и Вальтером Кристианом, он показал, что их цвет обусловлен особыми соединениями, которые получили название «флавины» («флаву» по-латыни значит «желтый»). В дальнейшем Каррер установил, что вещество рибофлавин идентично хорошо известному физиологам витамину В₂. Проводя химический анализ, Каррер установил структуру этого витамина. Продолжая далее исследовать витамин С, он подтвердил выводы Сент-Дьёрды о его структуре. Каррер исследовал также витамины Е и К, многочисленные коферменты, алкалоиды, растительные пигменты и многие другие органические соединения. Результаты его исследований представлены более чем в тысяче публикаций. Столь плодотворная научная деятельность принесла ему широкую известность и авторитет в научных кругах. За успехи в исследовании каротиноидов, флавинов и витаминов А и В₂ Карреру в 1937 г. была присуждена Нобелевская премия по химии. Он разделил ее с Хоуорсом. Каррер был удостоен многих званий и титулов рядом зарубежных академий и учебных заведений. Он стал почетным доктором Софийского университета.

В следующем, 1938 г. Нобелевский комитет по химии принял решение вновь присудить премию исследователю, занимающемуся каротиноидами и витаминами. Это был немецкий ученый Рихард Кун, профессор Гейдельбергского университета.

Начало его деятельности связано с изучением ферментов. Затем он занялся соединениями с сопряженными двойными связями, так называемыми полиенами. Это

привело Куна к изучению каротиноидов, которые также имеют подобную структуру. Состав этих соединений, содержащих в молекуле 40 атомов углерода и 56 атомов водорода, был установлен Рихардом Вильштеттером. В 1930 г. Каррер в Цюрихе и Зигмунд Отто Розенхейм в Лондоне выделили альфа- и бета-каротин. В 1933 г. Кун открыл гамма-каротин, вслед за чем осуществил обширное исследование каротиноидов и их распространения в растительном и животном мире. В ходе этих экспериментов он внес разного рода усовершенствования в метод хроматографии.

Вторую большую область его работы составляли витамины группы В. Из 5300 л обезжиренного молока Кун с сотрудниками выделили 1 г желтого вещества, которое было названо лактофлавином. Из него выделили лумифлавин, который оказался тем же самым соединением, что и кофактор «желтого фермента» из дрожжей. Выясняя структуру этого вещества, Кун попутно определил и строение лактофлавина, известного также под названием «рибофлавин». Это витамин В₂.

В начале 1939 г., после того как Кун был уже удостоен Нобелевской премии по химии за исследование каротиноидов и флавинов, он вместе со своими сотрудниками выделил витамин В₆ и в короткий срок определил его состав и структуру. Это соединение оказалось производным пиридина.

Кун стал лауреатом Нобелевской премии в 1938 г., через два года после того, как Гитлер запретил подданным Германского рейха любые контакты с Нобелевскими комитетами *.

По приказу гестапо Кун вынужден был отказаться от награды. Лишь 11 лет спустя, в 1949 г., он получил ее одновременно с Адольфом Бутенандтом, лауреатом Нобелевской премии по химии за 1939 г., который также отказался от получения премии по аналогичным причинам.

* Причиной этого запрещения было присуждение в 1936 г. Норвежским стортингом Нобелевской премии Мира известному немецкому публицисту-антифашисту Карлу фон Осецкому, который за обличение фашизма и симпатии к СССР был заключен в 1933 г. в концлагерь Зонненбург по обвинению в государственной измене. Нацисты были вынуждены перевести тяжелобольного Осецкого в больницу, чтобы посланцы Нобелевского комитета могли вручить ему премию. Писатель умер в больнице 4 мая 1938 г.— *Прим. ред.*

В 1929 г. был открыт еще один витамин. Хенрик Дам из Копенгагенского университета ставил классические опыты с искусственными пищевыми смесями. У цыплят, которых умышленно лишали жиров, вдруг начинались тяжелые кровонизлияния. Анализ крови показал замедление ее коагуляции — процессы свертывания крови были очень затруднены.

В 1931 и 1933 гг. подобные явления наблюдали и американские исследователи. Тем временем Дам, добавляя в пищевые смеси различные вещества, установил, что добавка конопляного семени приводит к прекращению кровонизлияния и восстановлению свойств крови. Так как это было время большой популярности витаминов, естественно напрашивался вывод, что в данном случае наблюдается действие какого-то неизвестного представителя этой группы. Новый витамин был обозначен буквой К (от слова «коагуляция»).

Он был обнаружен в семенах капусты, томатов, сои, люцерны, а также в ткани печени животных. Последнее наблюдение указывало на механизм действия этого витамина. Оказалось, что печень содержит фермент, участвующий в коагуляции крови. В отсутствие витамина К фермент не работает, и тем самым нарушается вся цепь реакций, ведущих к свертыванию крови.

Дам был биохимиком высокой квалификации. В 1925 г. он специализировался по микрохимическому анализу у Франца Прегля в Австрии. Через 10 лет он в сотрудничестве с Паулем Каррером начал работать над выяснением структуры вновь открытого витамина К.

Однако первым эту задачу решил Эдуард Аделберт Дойзи, профессор биохимии университета в Сент-Луисе (США, шт. Миссури). В 1939 г. Дойзи выделил из семени люцерны и из рыбной муки два вещества в кристаллическом виде: K_1 и K_2 . Вскоре он определил их структуру: они оказались производными нафтохинона. За этим последовал их синтез, и были открыты аналогичные вещества, но проще по строению и более сильно действующие.

Искусственное получение витамина К явилось большим подарком для медицины. Его начали широко применять для остановки кровотечений, при хирургических операциях, для лечения заболеваний печени и т. д. Использование витамина К для лечения новорожденных, у

которых такой авитаминоз часто встречается, позволило значительно снизить детскую смертность.

В 1944 г. Нобелевский фонд возобновил вручение премий, которое вследствие войны было прервано на три года (1940—1942). Поскольку правила фонда допускают задержку объявления премии на год, это дало возможность вручить в 1944 г. премии лауреатам 1943 г. В области медицины ими стали Х. Дам и Э. А. Дойзи — за открытие витамина К и определение его химической структуры.

Витамины, как сравнительно низкомолекулярные соединения, можно было успешно исследовать методами органической химии. Однако при исследовании самого сложного из них (витамина В₁₂) возникла необходимость в более современных средствах. После восьмилетних кропотливых исследований Дороти Кроуфут-Ходжкин из Оксфордского университета определила наконец его строение методом рентгеноструктурного анализа.

Витамин В₁₂ был открыт в 1948 г. Ученые установили, что он синтезируется различными микроорганизмами, прежде всего обитающими в кишечнике жвачных животных. Человек также получает это вещество от микроорганизмов, находящихся в его пищеварительном тракте. Однако иногда этот чрезвычайно тонкий процесс нарушается — и наступают тяжелые авитаминозы. Вскоре после открытия витамина В₁₂ выяснением его структуры и занялась английская исследовательница.

Через восемь лет, в 1956 г., строение витамина В₁₂ стало известно. Это явилось триумфом метода рентгеноструктурного анализа. Впервые таким образом была раскрыта структура столь сложного вещества. Необходимо вместе с тем отметить, что уже в то время другие ученые готовились к более сложным исследованиям. Макс Фердинанд Перуц и Джон Коудери Кендрию определили структуру таких сложных белков, как гемоглобин и миоглобин, за что в 1962 году получили Нобелевскую премию по химии. Их сенсационные результаты были достигнуты с помощью более современных средств рентгеноструктурного анализа с использованием ЭВМ.

Однако в 1964 г. Нобелевский комитет по химии, проявив уважение к пионерам в этой области, принял решение присудить премию Дороти Кроуфут-Ходжкин, которая установила структуру пенициллина и витамина В₁₂ без ЭВМ и современной техники.

Ферменты

Одним из основных жизненных процессов является биокатализ. С ним человек сталкивался еще в доисторические времена, когда, по всей вероятности, началось изготовление спиртных напитков. В XVIII в. Антуан Лоран Лавуазье исследовал ферментацию при получении спиртов и пришел к выводу, что в ходе этого процесса сахар распадается на спирт и двуокись углерода. Жозеф Луи Гей-Люссак, произведя точный количественный анализ, установил, что масса спирта и двуокси углерода, вместе взятых, равна исходной массе сахара. Это доказывало вывод Лавуазье. Причины этого процесса установил еще в 1860 г. Антони ван Левенгук, наблюдая дрожжи в микроскоп.

Прошло, однако, более 150 лет, прежде чем получила развитие клеточная теория и ученые пришли к заключению, что ферментация является функцией живых клеток.

В первой половине XIX в. были накоплены интересные данные о процессе катализа, в частности о биокатализе. В 1814 г. русский химик Константин Сигизмундович Кирхгоф открыл в ячменных зернах вещество, которое превращало крахмал в сахар. Это был фермент амилаза. В 1833 г. его выделили французские химики Ансельм Пайен и Жан Персо. В то же самое время Йенс Якоб Берцелиус предложил извлекать вещества, вызывающие ферментацию из живых клеток путем растирания их в порошок. Подобный эксперимент провел в 1846 г. в Берлине Фридрих Люденсдорф. Растерев на стекле клетки дрожжей, он добавил их в сахарный сироп; однако никакой ферментации не произошло.

Подобные опыты нанесли серьезный удар точке зрения Йенса Берцелиуса, Юстуса Либиха и Фридриха Веллера, которые считали, что биокатализ и ферментация — это обычные химические процессы. В то же самое время другие ученые высказывали мнение, что в живом веществе действуют особые процессы, которые не сводятся к чисто химическим. Получили также распространение идеи о некоей таинственной «жизненной силе», которая и служит отличительным признаком живого от неживого. В то время подобная идея выглядела весьма привлекательной. Конец этому положил Луи Пастер, который своими оригинальными опытами показал, что фермента-

ция возможна только при наличии живых клеток. Эксперименты крупного французского ученого были безупречны, однако они не отрицали возможности действия ферментов и вне живой клетки: ведь никому не удавалось выделить эти вещества в устойчивом состоянии. Таковую задачу поставил перед собой в 1893 г. Эдуард Бухнер из Мюнхенского политехнического института. При содействии Адольфа Байера в институте была создана лаборатория по исследованию ферментов. Бухнер намеревался провести эксперименты с целью разрушения клеток и извлечения из них биокатализаторов. Руководство, однако, посчитало, что из подобных опытов, которые уже неоднократно ставились десятилетия назад, ничего не получится, и обязало Бухнера заняться другой темой.

Тогда ему пришлось обратиться в различные университеты. Он отправился в Киль, затем в Тюбинген и наконец, в 1896 г., во время летнего отпуска смог провести задуманные эксперименты в лаборатории своего брата Ганса, известного бактериолога Института гигиены в Мюнхене. Бухнер смешивал дрожжи с кварцевым песком и путем сильного встряхивания добился разрушения клеток. Он предложил метод фильтрации тонкой гомогенной массы под большим давлением. Так, из дрожжей был получен сок, обладающий большой ферментационной способностью. В нем не было ни одной частицы живого вещества, но, несмотря на это, сахар разлагался.

Эти опыты, удачно завершенные в 1897 г., положили начало современной энзимологии. В 1907 г. Эдуард Бухнер был удостоен Нобелевской премии по химии за открытие бесклеточной ферментации. После проведенных Э. Бухнером исследований сложных биокатализаторов, которые известный биохимик Вилли Кюне назвал энзимами или ферментами, стало возможным изучать их химическими методами.

Опыты Бухнера расширил и усовершенствовал английский биохимик Артур Гарден. В начале века стало известно, что при нагревании ферменты теряют активность. В 1906 г. Гарден и Уильям Юнг провели интересный эксперимент. Добавив к соку живых дрожжей сок прокипяченных дрожжей, они обнаружили, что ферментация резко усилилась. Это навело исследователей на мысль, что фермент состоит из каких-то двух веществ, одно из которых — термостойкое. Бухнер назвал открытый им фермент зимазой — от греческого названия

дрожжей. Гарден ввел понятие «козимаза», которым он обозначал устойчивый компонент фермента*.

Разработка метода ультрафильтрации через желатиновый фильтр открыла перед исследователями новые возможности. Этим методом Гарден разделил зимазу на составные части: через фильтр проходил только коэнзим, оказавшийся достаточно низкомолекулярным соединением. Гарден установил, что в разложении сахара определенную роль играет фосфорная кислота, которая соединяется с ним, образуя глюкозодифосфат. Так, Гарден выделил промежуточный продукт биологического распада углеводов.

Дальнейшие исследования в этой области связаны с деятельностью шведского ученого немецкого происхождения профессора Стокгольмского университета Ханса фон Эйлер-Хельпина. В 1906 г. он вместе с Карлом Мюрбеком приступил к исследованию ферментов. Производя разделение фермента от кофермента по методу Гардена, они после длительных экспериментов установили, что козимаза — это вещество из группы нуклеотидов (соединений аденина с пентозой) с молекулярным весом 490. Х. Эйлер-Хельпин установил, что этот кофермент встречается и во многих других биокатализаторах, выполняющих самые разные функции. Это стимулировало исследование коферментов. Эти вещества сравнительно просты, и определение их структуры позволило применить методы органической химии для исследования процессов обмена веществ, связанных с переносом водорода.

Исследования Гардена и Эйлер-Хельпина явились очень важным этапом в развитии энзимологии. Оба ученых были удостоены в 1929 г. Нобелевской премии по химии за расшифровку механизма брожения и исследования в этой связи ферментов.

Еще в прошлом веке некоторые ученые пытались выделить в чистом виде и исследовать вещества, вызывающие биологический катализ. В 1896 г. Корнелис Пекельхаринг выделил белок из желудочного сока, однако не смог убедительно доказать, что это фермент, активизирующий процесс переваривания пищи. Большую работу по выделению ферментов в чистом виде проделал со своими

* Одновременно роль фосфатов и коферментов в процессах брожения изучал русский химик Александр Николаевич Лебедев.—
Прим. ред.

сотрудниками немецкий химик Рихард Мартин Вильштеттер. Они добились в этом определенных успехов, и Вильштеттер высказывал даже предположение, что ферменты не относятся ни к белкам, ни к углеводам, а представляют собой какой-то новый тип веществ с неизвестной структурой. Подобные туманные рассуждения продолжались до 1926 г., когда Джеймсу Бетчеллеру Самнеру из Корнеллского университета удалось получить кристаллы фермента уреазы и он доказал, что это белок. Самнер начал свои исследования в 1917 г., и они вызвали немало насмешек со стороны его коллег, находившихся под влиянием идей Вильштеттера. Однако такое отношение только еще более подталкивало исследователя к достижению поставленной цели *.

По словам самого Самнера, ему просто повезло с выбором фермента. Вильштеттер работал с сахаразой и не мог получить даже ее концентрат. Самнер взял для исследования семена растений, в которых в большом количестве содержался фермент уреазы. После многолетних экспериментов он получил наконец это вещество в кристаллической форме путем охлаждения и центрифугирования гомогената из растительных клеток. Значение этого экспериментального результата нельзя недооценивать, особенно если учесть, что лаборатория Самнера располагала незначительными средствами и имела мало сотрудников, а сам он еще в 17-летнем возрасте лишился руки.

Вначале сообщение о том, что кристаллизован фермент, было встречено с недоверием. Однако постепенно число сомневающихся в результатах Самнера становилось все меньше, и, наконец, последний из них, Рихард Вильштеттер, признал себя побежденным. Вслед за этим подобными опытами увлеклись многие ученые, и вскоре были достигнуты новые успехи. Вторым биохимиком, сумевшим получить ферменты в кристаллическом виде, стал Джон Хоуарт Нортроп из Принстона.

Американский биохимик занимался исследованием желудочных соков. Еще в конце прошлого века возникло подозрение, что это белковые вещества. Пекельхаринг

* В 1906 г. в лаборатории Н. П. Кравкова врач А. Д. Розенфельд выделил из хрена кристаллы фермента оксидазы и показал их белковую природу, но эта работа оказалась забытой.— *Прим. ред.*

был «на пороге» этого открытия. В 1920 г. Дж. Нортроп, повторив его эксперименты, значительно усовершенствовал их и через 10 лет сумел выделить из желудочного сока чистый пепсин. Впоследствии Нортроп и его сотрудники, совершенствуя свою методику, получили еще пять ферментов.

Это были выдающиеся открытия в области химии ферментов и вообще белков. Разработанные учеными способы выделения этих сложных веществ — и именно в кристаллической форме — имели исключительное значение для их исследования, особенно методом рентгеноструктурного анализа. Вершиной этих исследований стало получение в кристаллическом виде вирусов табачной мозаики и полиомиелита, которое осуществил в 1932 г., также в Принстоне, Уэнделл Мередит Стэнли.

Вирусы были открыты русским ученым Дмитрием Иосифовичем Ивановским в 1892 г. Шесть лет спустя их исследовал Мартин Бейеринк, который первым высказал мысль, что это какой-то новый тип возбудителей заболеваний исключительно малых размеров, невидимых в микроскоп. Когда Стэнли удалось получить вирусы в кристаллической форме, это послужило подтверждением их белковой природы и показало, что они занимают промежуточное положение между живым и неживым миром.

Исследования Самнера, Нортропа и Стэнли завоевали в 30-е годы признание во всем мире. В 1946 г. эти ученые были удостоены Нобелевской премии по химии. Дж. Самнер получил половину премии (за доказательство белковой природы ферментов и выделения их в виде кристаллов); другая половина была разделена между Дж. Нортропом (за выделение ферментов в кристаллическом виде) и У. Стэнли (за получение вирусов в кристаллическом виде).

Исследования коферментов показали, что многие из них относятся к нуклеотидам. Эти вещества представляют собой комплекс из трех связанных между собой соединений: остатка фосфорной кислоты, сахара (пентозы) и одного из азотных оснований (пурина или пиримидина).

Когда английский ученый Александер Тодд в 40-е годы приступил к исследованию нуклеотидов, их состав в общих чертах был известен, однако оставалось неясным, как связываются между собой различные субструктуры. В 1949 г. Уолдо Кон определил, в каком месте пятиатомного кольца сахара присоединяются другие

соединения. Тодд развил эти идеи и установил точную структуру нуклеотидов. Его результаты не только сыграли исключительно важную роль в энзимологии, но и заложили основы для исследования структуры ДНК, осуществленного Фрэнсисом Гарри Комптоном Криком, Джеймсом Дьюи Уотсоном и другими учеными.

А. Тодд известен также своими исследованиями витаминов и ряда других биологически активных природных веществ. Свою научную деятельность он начал у Роберта Робинсона с опытов над растительными пигментами — антоцианами в 30-е годы. Наибольшую известность, однако, получили его исследования нуклеотидов и нуклеотидокоферментов, за которые он и был удостоен Нобелевской премии по химии в 1957 г.

В 50-е годы в Рокфеллеровском университете в Нью-Йорке работали два исследователя, чьи имена для биохимиков неразрывно связаны. Это Станфорд Мур и Уильям Хоуард Стайн, внесшие огромный вклад в исследование структуры ферментов.

Биокатализаторы являются белковыми телами, и их исследование составляет часть химии белков. Большие достижения здесь принадлежат Эмилю Фишеру, который установил, как связываются аминокислоты (из которых построены все белки). Английский ученый Фредерик Сенгер разработал в 50-е годы метод определения последовательности аминокислот в белках. Он определил структуру гормона инсулина, за что в 1958 г. был удостоен Нобелевской премии по химии. В то же самое время С. Мур и У. Стайн усовершенствовали метод, создав автоматическую установку для исследования полипептидных цепей, из которых построены белки.

В 1960 г. эти два исследователя определили первичную структуру, т. е. последовательность соединения аминокислотных оснований в панкреатической рибонуклеазе. Параллельно они усовершенствовали свою методику, развив дальше метод Сенгера: исследуемые белковые молекулы разделялись с помощью ферментов на отдельные фрагменты. (Биохимикам хорошо известно, что различные ферменты разрывают молекулы в разных точках.) Получался набор белковых фрагментов, которые разделялись с помощью ионообменных смол и анализировались. Эти фрагменты частично взаимно перекрывались, что позволило путем их сопоставления определять общую последовательность аминокислот.

Стайн и Мур установили первичную структуру и других ферментов. Параллельно с ними работал Кристиан Бемер Анфинсен, который изучал связь между первичной (упорядоченностью аминокислот в цепях) и третичной (пространственным расположением этих цепей) структурами. Вторичная структура ферментов была исследована Лайнусом Карлом Полингом в конце 40-х годов. Он установил, что несколько полипептидных цепей закручивается, образуя различного рода спирали. В свою очередь спиральные нити также деформируются определенным образом, создавая третичную структуру.

Исследованием именно этого наиболее общего строения белковой молекулы, определяющего ее форму и функцию, занялся Анфинсен из Национального института здравоохранения в Бетесде (близ Вашингтона). Он установил, что при денатурации белка (когда клубок полипептидной цепи раскручивается) возможно спонтанное восстановление пространственной структуры (обратное раскручиванию белка). Разумеется, это происходит в том случае, если сами цепи не повреждены. Эти результаты привели Анфинсена к выводу, что в первичной структуре белка заложена вся информация о пространственном строении его молекулы. Для химиков это был очень важный вывод. Он означал, что достаточно только правильно упорядочить аминокислоты в цепи — и можно искусственным путем синтезировать молекулу белка, которая ничем не будет отличаться от природной.

Исследования Стайна, Мура и Анфинсена оказали большое влияние на развитие химии белков и особенно на исследование ферментов, которые относятся к числу наиболее интересных белковых молекул. В 1972 г. за фундаментальный вклад в химию ферментов эти трое ученых были удостоены Нобелевской премии по химии.

XI ФОТОСИНТЕЗ

В середине XVIII в. ученые заметили, что процессы горения, окисления и дыхания связаны с расходом кислорода из воздуха. Возник тревожный вопрос: не исчерпается ли в один прекрасный день в атмосфере этот животельный газ? Пожалуй, это был один из первых случаев, когда научное открытие предвещало опасность для существования мира. Впоследствии не раз возникали подобные ситуации, но, к счастью, со временем выяснялось, что пессимистические прогнозы — это лишь результат ограниченности человеческих знаний. Так произошло и в 70-е годы XVIII в., после того как Джозеф Пристли поставил свои знаменитые опыты по фотосинтезу.

В 1771 г. он сообщил, что на свету зеленые растения восстанавливают воздух, «испорченный» дыханием животных или в процессе горения. Пристли открыл круговорот кислорода в природе, установив, что в организме животных он соединяется с углеродом, образуя углекислый газ, а затем восстанавливается в процессе жизнедеятельности растений. Человечество могло дышать спокойно.

В 1918 г. французские ученые Жозеф Пелетье и Жозеф Каванту выделили из листа растения зеленый пигмент, которому дали название «хлорофилл» (от греческого «хлорос» — зеленый и «филон» — лист). Великий Берцелиус не оставил без внимания и этот вопрос и в 1837 г. попытался исследовать свойства хлорофилла, подвергнув его воздействию сильных кислот и щелочей. В 1864 г. английский ученый Джордж Стоукс установил, что зеленый растительный пигмент состоит из смеси различных веществ. Наиболее полно этот вопрос был изучен русским ученым Михаилом Семеновичем Цветом с помощью созданного им метода хроматографии.

Одним из первых, кто добился крупных успехов в исследовании химического состава хлорофилла, был Рихард Вильштеттер. Он разработал методы извлечения

этого растительного пигмента в больших количествах, не повреждая молекулы. В отличие от Берцелиуса Вильштеттер исследовал хлорофилл в мягких условиях с помощью реагентов, которые позволяли постепенно отщеплять различные части от сложного соединения, что и помогло определить его структуру. Вильштеттер подтвердил ранее высказанные предположения, что хлорофилл по своему строению родствен гемоглобину крови, но одновременно указал, что этот растительный пигмент содержит магний, а не железо, как гемоглобин.

Исследования Вильштеттером хлорофилла заложили основу для полного раскрытия его структуры *. За исследования растительных пигментов, в частности хлорофилла, Р. Вильштеттер был удостоен в 1915 г. Нобелевской премии по химии.

Вильштеттер указал, что и хлорофилл, и гемоглобин принадлежат к группе порфиринов. Дальнейшее уточнение их структуры произвел Ханс Эйген Фишер. Он начал с опытов над гемоглобином, в частности над так называемым гемином — небелковой частью молекулы гемоглобина. В дальнейшем Фишер исследовал всю группу пигментов, имеющих одинаковую порфириновую структуру, подобную структуре гемина и хлорофилла. Разделяя эти молекулы различными способами, Фишер пришел к определенным выводам относительно их строения. Чтобы обосновать эти выводы, он прибег к классическому средству органической химии — решил их синтезировать.

Это была довольно трудная задача; для ее выполнения Фишеру пришлось создать целый раздел органической химии — химию пиррольных соединений. Они имеют кольцевидную молекулу, состоящую из 4 атомов углерода и 1 атома азота. Фишер доказал, что из 4 пиррольных ядер строится исходная структура всех порфиринов. В центре этой кольцевидной структуры гемина находится железо, а у хлорофилла — магний.

Результаты Фишера — блестящий пример мастерства в проведении химического анализа и синтеза, и в 1930 г. ученый был удостоен за свои достижения Нобелевской премии по химии.

* Основополагающие исследования структуры хлорофилла были выполнены Марцелием Вильгельмовичем Ненцким, который в 1847—1901 гг. в Институте экспериментальной медицины совместно с Л. П. Мархлевским установил химическое родство гемоглобина и хлорофилла.— *Прим. ред.*

К порфирированному ядру в хлорофилле присоединяются другие молекулы, которые определяют его физические и химические свойства. Еще в 30-е годы Фишер пытался синтезировать молекулу хлорофилла, но это удалось сделать лишь в 1960 г. его ученикам М. Штерлу, А. Калояну и Г. Колеру. Одновременно с ними синтез хлорофилла осуществил и американский химик Роберт Бёрнс Вудворд, лауреат Нобелевской премии по химии за 1965 г.

После успехов, которыми были отмечены первые десятилетия нашего столетия, в изучении фотосинтеза наступил застой. Оказалось, что классическими химическими методами больше нельзя получить никакой информации об этом процессе. Ученые чувствовали, что фотосинтез — это целая цепь быстро протекающих реакций, но не находили способа их изучения. Лишь в 40-е годы удалось разработать новые методы, которые подняли исследования фотосинтеза на качественно новый уровень. Большая заслуга в этом принадлежит американскому биологу Мелвину Калвину.

В 1935 г., находясь на стажировке в Манчестерском университете, Калвин познакомился с металлопорфинами, к которым относятся гемин и хлорофилл. После возвращения в США он начал работать в Калифорнийском университете в Беркли. Там профессор Гильберт Ньютон Льюис порекомендовал Калвину продолжить исследование порфиринов, которым он занимался в Манчестере под руководством Майкла Полани. По счастливому совпадению Беркли был центром исследований в области радиохимии, и это обстоятельство сыграло в работе Калвина очень важную роль.

В 1940 г. Сэмюэль Рубен и Мартин Камен открыли радиоактивный углерод-14. Вскоре этот элемент стали широко использовать в качестве «меток» при исследовании биохимических реакций. Калвин, включившись в исследование процесса фотосинтеза, решил использовать этот метод в радиационной лаборатории, руководителем которой он стал в 1946 г. Там он и провел свои знаменитые опыты с хлореллой.

Калвин помещал эти зеленые водоросли в специальный сосуд и освещал их на протяжении 1—30 с. Одновременно через воду пропускался двуокись углерода (углекислый газ), меченная углеродом-14. Под действием света этот элемент тотчас включался в цепь фотосинтеза.

По истечении контрольного времени сосуд открывали, и водоросли переносили в спирт, где они сразу погибали. Таким образом можно было фиксировать различные этапы фотосинтеза.

Оставалось лишь выяснить, в какие соединения вошел меченый углерод. Для этой цели использовался метод хроматографии на бумаге. Поскольку радиоактивный углерод непрерывно излучает, хроматографический лист, положенный на фотопластинку, создавал на ней изображение. Это позволило хорошо видеть, как разделились различные вещества, и давало возможность выделить их в чистом виде для анализа. С помощью этого оригинального метода Калвин показал, что двуокись углерода фиксируется в форме фосfogлицириновой кислоты. Это было поистине замечательное открытие. Оказалось, что углерод просто подключается к одному из уже известных звеньев цепи обмена углеводов и таким образом входит в состав глюкозы и других более сложных сахаров.

За это крупное открытие — этапов биохимических превращений двуокиси углерода при фотосинтезе — М. Калвин получил в 1961 г. Нобелевскую премию по химии. Находясь в расцвете творческих сил (ему было тогда 50 лет), профессор Калвин продолжает плодотворно работать в этой исключительно важной для человечества области. Овладение тайной фотосинтеза оказало большое влияние на развитие земледелия. Как известно, растения усваивают менее одного процента падающего на них света, но исследования показывают, что эффективность фотосинтеза можно многократно увеличить. Это привело бы к значительному повышению урожайности и, кроме того, способствовало бы развитию «зеленой энергетики» (использованию биомассы в качестве топлива).

Зеленые растения продолжают оставаться основой существования человечества. Однако в земледелии проблема заключается не только в получении высокого урожая, но и в его сохранности и наиболее рациональном использовании.

В голодный послевоенный 1945 г. Нобелевская премия по химии была присуждена финскому биохимику Артуру Илмари Виртанену за разработанный им эффективный метод консервирования и хранения зеленых кормов. Этот метод давал возможность в несколько раз

увеличить производство кормов, особенно в северных странах.

Виртанен начал заниматься данной проблемой еще в 20-е годы, когда, будучи молодым ученым, проходил стажировку в Мюнхене. Там он познакомился с исследованиями Г. Вигнера, касающимися потери питательных веществ при консервации зеленой массы. Оказалось, что эти потери значительны — составляют до 50% содержания белков и витаминов. Потеря ценных питательных веществ происходит при сушке сена и складировании зеленой массы, когда в них начинают происходить нежелательные биохимические процессы.

В результате экспериментов Виртанен разработал в 1928 г. простой метод консервации свежескошенных трав путем добавления соляной и серной кислот. Это приводило к почти полному прекращению процессов окисления в растительной массе и связанному с ними распаду питательных веществ. Прекращались и всякого рода ферментационные процессы, вызываемые микроорганизмами. Чтобы обеспечить почти 100-процентное сохранение белков и витаминов, необходимо было только строго соблюдать установленную дозировку кислот.

Метод Виртанена имел еще одно преимущество: скошенную зеленую массу можно было сразу же убирать с поля. В северных странах сено сохнет довольно медленно, нередко подвергаясь при этом пагубному воздействию дождей. Кроме того, оно долго занимает площадь, предназначенную для других сельскохозяйственных культур. Быстрая уборка зеленой массы позволила получать ежегодно по два-три урожая высококачественных кормов. Эта технология нашла широкое применение в 30-е годы и дала возможность ряду стран удовлетворить потребности животноводства в фураже без импорта его из других стран *. Во время войны, когда международная торговля практически прекратилась, это стало жизненно важным. И не удивительно, что Виртанен стал первым послевоенным лауреатом Нобелевской премии по химии. Он один из нескольких лауреатов этой премии, открытия которых непосредственно способствовали решению продовольственной проблемы человечества.

* А. И. Виртанен сделал очень много для совершенствования технологии производства масла и сыров. Он был научным консультантом известной фирмы «Валио», — *Прим. ред.*

Биоэнергетика

В начале нынешнего столетия шведский исследователь Магнус Бликс, используя термоэлектрический эффект, создал прецизионную аппаратуру для измерения количества тепла, выделяемого живым организмом. Позднее она была усовершенствована английским ученым Арчибалдом Вивиеном Хиллом из Кембриджского университета. Его термогальванометр измерял изменения в температуре порядка $\frac{1}{1000}^{\circ}\text{C}$ за сотую долю секунды. С помощью этого прибора удалось открыть интересные биохимические процессы, происходящие при сокращении мышц.

Хилл установил, что при самом сокращении выделяется только та часть тепла, которая сопровождает реакции превращения химической энергии в организме. Остальное количество тепла (оно может составлять более половины) выделяется через несколько минут. Все это тепло возникает в результате работы мышцы как термодинамической машины, к. п. д. которой достигает приблизительно 20—30%, а остальная часть тепловой энергии рассеивается.

Английский исследователь изучал также закономерности сокращения мышц в зависимости от их питания кислородом. Оказалось, что на первой стадии сокращения кислород не нужен, тогда как на второй от него зависит, будет выделяться дополнительное тепло или нет. Выяснение этих закономерностей, связанных с фазами действия и восстановления в работе мышц, оказалось очень полезным для биохимиков, так как открывало путь для исследования биоэнергетических реакций и интерпретации данных. Эти результаты способствовали лучшему пониманию термодинамики мышц и позволили конкретно исследовать работу этих «живых машин».

В 1859 г. немецкий ученый Эмиль Генрих Дюбуа-Реймон обнаружил в мышечной ткани молочную кислоту. Незадолго до этого он получил от Берцелиуса письмо, в котором шведский коллега сообщал о том, что молочная кислота была обнаружена в мясе оленя, убитого после длительного преследования. Эти первые наблюдения заложили основу исследования биохимических процессов, связанных с дыханием и выделением энергии.

В начале нашего столетия было уже точно известно, что при работе мышцы в ней накапливается молочная

кислота, которая при бездействии мышцы окисляется. Считалось, что это какой-то побочный продукт, образующийся при работе мышечных клеток. Лишь количественные исследования немецкого ученого Отто Мейергофа внесли некоторую ясность в этот вопрос. Прежде всего он показал, что на стадии покоя окисляется не более одной трети молочной кислоты. Затем Мейергоф установил, что часть молочной кислоты восстанавливается, образуя полисахаридный гликоген, который подобен крахмалу и играет в клетках животных роль «депо энергии».

Таким образом, картина начала проясняться. На первой стадии сокращения мышцы обнаруженное Хиллом выделение тепла, как это установил Мейергоф, происходит в результате разложения гликогена на моносахарид и молочную кислоту. При этом химическая энергия превращается в механическую. На второй стадии, когда мышца бездействует, молочная кислота частично окисляется, а частично восстанавливается до гликогена. В 1922 г. Мейергоф и Хилл за свои исследования термодинамики мышечной деятельности и механизма мышечного сокращения были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине.

В нормальных условиях глюкоза и кислород не вступают в реакцию, однако в присутствии подходящих ферментов сахар довольно активно окисляется, превращаясь в двуокись углерода и воду. Изучение таких биокатализаторов является одним из крупных достижений известного биохимика Отто Генриха Варбурга, работавшего в Гейдельберге и в Институте физиологии клетки в Берлине (Далем). Поскольку ферменты обычно встречаются в ничтожно малых количествах, Варбург исследовал их косвенными методами, преимущественно с использованием спектроскопии.

Еще в 80-е годы прошлого века Чарлз Макманн методом спектроскопии обнаружил в некоторых тканях неизвестное вещество, которое поглощало кислород и имело такие же спектральные линии, как и гемоглобин. Отсюда был сделан вывод, что в тканях содержится какой-то фермент, похожий на гемоглобин. Значение этого открытия стало понятным лишь в 20-е годы, когда Варбург стал заниматься исследованием клеточного дыхания. Он вновь применил спектроскопию и вторично установил сходство катализаторов биологического окисления с гемоглобином. На основании этого Варбург сделал вывод,

что дыхательный фермент в своей белковой молекуле также имеет порфириновое ядро с одним атомом железа, который взаимодействует с кислородом.

Эти дыхательные ферменты, обнаруженные по их спектру, были названы цитохромами*. За объяснение механизма клеточного дыхания действием ферментов Варбург был удостоен в 1931 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине. Продолжая работать в этой области, Варбург в следующем году вместе со своим сотрудником Вальтером Кристианом открыл новый дыхательный фермент желтого цвета, который был назван флавином. Оказалось, что это представитель большой группы флавинов (ферментов биологического окисления, образующих вместе с цитохромами дыхательную цепь).

В том же 1932 г. венгерский биохимик Альберт Сент-Дьёрдьи приступил к исследованию «желтых» ферментов в своей лаборатории в Сегеде. В отличие от большинства ученых, которые занимались исследованием окислительных процессов, он сосредоточил свое внимание на ферментах, которые активировали водород и переносили его в клетках. На работу Сент-Дьёрдьи большое влияние оказали наблюдения Генриха Виланда, касающиеся воздействия палладия на некоторые органические вещества. Виланд установил, что, вступая в контакт с этим металлом, органические соединения теряют водород, а это равносильно частичному окислению. Это произвело на биохимиков большое впечатление, и они занялись поисками ферментов, оказывающих подобное действие. Вскоре были открыты дегидрогеназы, катализирующие отщепление водорода от молекул**.

Постепенно из отдельных наблюдений формировалось единое представление о дыхательных ферментах. По линии цитохромов движутся электроны, обеспечивающие активацию кислорода, а с другого направления дегидрогеназы поставляют водород. Так происходит ступенчатое окисление веществ до воды и углекислоты и постепенное выделение энергии. Эти исследования показали

* Цитохромы были «переоткрыты» (после Мак-Манна) и изучены английским биохимиком Дэвидом Кейлином в 1925 г.— *Прим. ред.*

** Создателем теории активирования водорода в процессах биологического окисления был русский биохимик Владимир Иванович Палладин. Свою теорию он разработал в 1911—1912 гг.— *Прим. ред.*

взаимосвязь между ферментами и витаминами. Составной частью «желтых» ферментов оказался рибофлавин (витамин В₂). Это открытие было сделано Рихардом Куном и Паулем Каррером. Сам Сент-Дьёрдьи занялся исследованием красного стручкового перца, который всегда производился в большом количестве около Сегеда, и обнаружил, что знаменитая венгерская паприка очень богата витамином С. Оказалось, что этот витамин также участвует в процессах переноса водорода.

Обычно исследования биохимических реакций проводятся в гомогенной массе, получаемой путем растирания в порошок живых тканей. Проводя такие опыты над гомогенатом мышечной ткани, некоторые ученые, в том числе Сент-Дьёрдьи, обнаружили, что при добавлении янтарной, фумаровой, яблочной и щавелево-уксусной кислот окислительные процессы усиливаются. Почти одновременно в начале 30-х годов шведский химик Торстен Людвиг Тунберг открыл ферменты, являющиеся дегидрогеназами названных кислот. Стало ясно, что эти кислоты, оказывая определенное каталитическое действие, служат звеньями в цепи окислительных процессов, при которых происходит выделение энергии. В этих открытиях решающая заслуга принадлежит Альберту Сент-Дьёрдьи, получившему в 1937 г. Нобелевскую премию по медицине и физиологии за исследования процессов биологического окисления, а также за выделение в кристаллическом виде витамина С.

Вскоре после этого английский биохимик Ханс Адольф Кребс установил, что «эффект Сент-Дьёрдьи», наблюдаемый при добавлении фумаровой кислоты к гомогенату клетки, можно получить и с помощью двух других органических кислот (кетоглутаровой и пировиноградной). Поначалу это только внесло еще большую путаницу в реакции, которые не могли объяснить биохимики. Однако Кребс первым из биохимиков догадался, что все эти органические кислоты составляют звенья одной цепи окисления органических веществ до двуокиси углерода и воды. Он предложил схему, описывающую процесс постепенного окисления органических веществ.

Вначале к щавелевоуксусной кислоте добавляется какое-то соединение с двумя атомами углерода и образуется трикарбоновая кислота, которая под действием различных ферментов превращается в другие, подобные ей органические кислоты. На каждой стадии про-

исходит выделение воды, водорода или двуокиси углерода, причем энергия активированного водорода включается в макроэргические связи аденозинтрифосфата (АТФ) — универсального аккумулятора энергии в живых организмах. Кребс, предложивший цикл трикарбоновых кислот (цикл Кребса) в 1937 г., поначалу подвергся резкой критике. Однако постепенно ученые оценили эту идею, которая внесла упорядоченность в представление о цепи реакций аэробного окисления.

Но, к немалому огорчению биохимиков, одно звено в этой цепи оставалось неизвестным: было не ясно, какое соединение с двумя атомами углерода вводится в цикл Кребса. Этим вопросом занялся Фриц Альберт Липман, работавший в свое время в Институте физиологии клетки в Берлине (Далем), а с 1939 г. — в Медицинской школе Корнеллского университета (шт. Нью-Йорк). Он продолжал развивать теорию, согласно которой этим соединением является ацетилфосфат, но такое предположение не увязалось с экспериментальными данными, и ученые стали все больше сомневаться в справедливости этой хорошей теории. Но именно в то время, когда большинство исследователей были готовы вообще отказаться от этой идеи, Липман с сотрудниками открыли вещество, отличающееся высокой термостойкостью и имеющее сравнительно небольшую молекулярную массу. Это говорило о том, что данное вещество является коферментом. Он был обозначен буквой А.

Кофермент А и оказался тем недостающим звеном в цепи реакций биологического окисления, которое столь долго и тщетно искали ученые. По своей структуре он близок к витаминам группы В. Его функция в цикле Кребса — «улавливать» ацетиловый остаток пировиноградной кислоты и вызывать его соединение с щавелевоуксусной кислотой, приводящее к образованию трикарбоновой кислоты — первое звено цикла. Далее происходят уже описанные процессы медленного окисления, в ходе которых из первоначального углеродного скелета пировиноградной кислоты образуются три молекулы двуокиси углерода и пять пар двойных активированных атомов водорода, несущих в себе энергию, необходимую для организма. В конце цикла вновь образуется щавелевоуксусная кислота, в которую кофермент А подает новую молекулу пировиноградной кислоты. Так работает этот «конвейер», который в соответствии с потребностями орга-

низма создает богатые энергией вещества или соединения, необходимые для образования макромолекул. Решающая заслуга в открытии цикла аэробного окисления в организме принадлежит Х. Кребсу и Ф. Липману. За свои достижения оба они были удостоены в 1953 г. Нобелевской премии по медицине и физиологии.

Пировиноградная кислота, участвующая в цикле Кребса, образуется в результате гликолиза — анаэробного расщепления углеводов. В этом процессе фосфорилирования молекула глюкозы соединяется с фосфорной кислотой и затем расщепляется на две. Из шестиатомного кольца получаются два соединения с тремя атомами углерода, которые после различных преобразований приводят к образованию пировиноградной кислоты. Если эта кислота не включается в цикл Кребса, то из нее образуются молочная кислота или другие вещества. Большая заслуга Кребса состоит в том, что он сумел связать воедино все эти цепи.

В организме имеется несколько различных аккумуляторов энергии. Наряду с АТФ, поставляющим энергию на «непосредственные нужды» организма, происходит ее накопление «про запас», на более длительный период, в жировых тканях. Источником энергии служат также полисахариды: близкие по структуре крахмал (в растениях) и гликоген (у животных). Это биополимеры, состоящие из большого числа молекул глюкозы. Процесс разложения гликогена детально исследовали супруги Карл Фердинанд и Герт Тереза Кори, которые, кроме того, открыли ферменты, служащие катализаторами при реакциях разложения и синтеза. Они установили, что молекулы глюкозы в процессе фосфорилирования отщепляются. Полученный глюкозо-1-фосфат включается в цепь анаэробного разложения, что приводит к образованию пировиноградной кислоты и циклу Кребса.

За исследования в области обмена углеводов у животных и открытие связанных с ним ферментов супруги Кори были удостоены в 1947 г. Нобелевской премии по медицине и физиологии. Вместе с ними был награжден и аргентинский ученый Бернардо Усай, занимавшийся изучением роли гормонов в регуляции углеводного обмена.

Все эти реакции происходят только благодаря соответствующим ферментам. Об этом говорил еще великий Йенс Берцелиус в XIX в. Случилось так, что его сооте-

чественник, закончивший то же самое училище в Линчепинге 124 года спустя, получил конкретные данные, подтверждающие мысли своего знаменитого предшественника. Это был Аксель Хуго Теодор Теорелль, руководитель отдела биохимии Нобелевского медицинского института. В 1955 г. профессора Каролинского института с особым удовольствием вручили премию по медицине и физиологии своему коллеге — за крупные достижения в исследовании природы и механизма действия окислительно-восстановительных ферментов. О. Варбург называл своего способного ученика Теорелля мастером исследования ферментов.

Исследования Теорелля связаны с цитохромами и флавопротендами. Цитохромы активируют кислород, в то время как флавопротенды, являющиеся дегидрогеназами, переносят водород. В конце процесса окисления эти два элемента соединяются, образуя воду.

В 30-е годы советские биохимики Владимир Александрович Энгельгардт и Владимир Александрович Белицер показали, что накопление полезной энергии в клетке является результатом двух реакций. При первой вещества, содержащиеся в пище, окисляются, выделяя энергию.

Одновременно с этим происходит синтез аденозинтрифосфорной кислоты, при котором идет поглощение энергии. Полученный аденозинтрифосфат (АТФ) обладает замечательным свойством: он легко переносится в организме и выделяет энергию там, где это необходимо. АТФ решает энергетические проблемы организма, связанные как с переносом, так и с аккумуляцией энергии.

В 1949 г. американский биохимик Альберт Лестер Ленинджер связал эти результаты с данными цитологии. Он показал, что окислительное фосфорилирование осуществляется в митохондриях, клеточных образованиях удлинённой формы, которые отделены мембраной от клеточной плазмы. В начале 60-х годов стало ясно, что на внутренней стороне митохондриальной мембраны находятся дыхательные ферменты. В это время сотрудник кафедры зоологии Эдинбургского университета опубликовал в журнале *Nature* небольшую статью, где высказал свои соображения о значении мембран для рассмотренных биохимических реакций. Это был Питер Митчелл. Вскоре после публикации статьи он ушел из университета, чтобы начать самостоятельные исследования.

В 1966 г. Митчелл, руководя собственной лабораторией, в штате которой числился всего один сотрудник, вновь обратился к фундаментальным исследованиям. Обнаружив, что на опубликованную им в 1961 г. статью никто не обратил внимания, он решил изложить свои взгляды подробно и написал книгу. В ней он развивал теорию, согласно которой химическая энергия, выделяющаяся при окислении в митохондриях, превращается сначала в электрическую энергию, создающую мембранный потенциал. Затем электрическая энергия вновь превращается в химическую — на этот раз в форме АТФ. Эти представления сформулированы в так называемой хемиосмотической теории окислительного фосфорилирования.

К сожалению, ни один издатель не взялся напечатать книгу Митчелла. Тогда автор сам размножил рукопись и разослал ее биохимикам всего мира. В ответ со всех сторон раздалась ожесточенная критика. Время, однако, работало на Митчелла. Детальные исследования, проведенные самыми различными методами, позволили раскрыть тонкую структуру митохондриальной мембраны и подтвердили, что в ней находится цепь ферментов — переносчиков электронов. В других экспериментах были непосредственно измерены разность потенциалов на внешней и внутренней стенках мембран и проходящий через нее электрический ток. Оригинальная идея Митчелла подтвердилась*. Он заставил биохимиков думать по-новому: стало понятным, что недостаточно знать только последовательность биохимических реакций — необходимо исследовать и их пространственную организацию.

Этот одинокий исследователь с единственной сотрудницей, вероятно, вызвал бы особенное восхищение Альфреда Нобеля, который также всегда был одинок в своих поисках. Но идеи Митчелла в конце концов восторжествовали. За свою хемиосмотическую теорию, которая вывела биоэнергетику на новый рубеж, П. Митчелл был удостоен в 1978 г. Нобелевской премии по химии. Денежное вознаграждение и пришедшая вслед за присуждением премии слава весьма благоприятно отразились на его маленькой лаборатории.

* Процесс преобразования химической энергии в электрическую на мембранах внутренних органелл открыл член-корреспондент АН СССР В. П. Скулачев. Он показал значение электрического мембранного потенциала как фактора, сопрягающего процессы освобождения и аккумуляции энергии в клетке. Его работы сыграли решающую роль в признании гипотезы П. Митчелла.— *Прим. ред.*

XII РОЖДЕНИЕ ГЕНЕТИКИ

В XIII в. с развитием естествознания внимание исследователей стали привлекать таинственные процессы размножения и зарождения новой жизни. К этому периоду относятся и первые научные эксперименты по гибридизации организмов. Одним из пионеров в этой области был английский селекционер Томас Эндрю Найт. Скрещивая различные растения, он обратил внимание на то, что каждый сорт отличается определенным набором признаков. В гибридах эти особенности не теряются, а наследуются в различных комбинациях. Так, в начале XIX в. Найт пришел к концепции об элементарных наследственных признаках, которые через сто лет получили название генов.

Говоря об истории генетики, после Найта обычно называют имена французских исследователей Огюстена Сажре и Шарля Нодена. Важнейшим открытием Сажре было установление явления доминантности. При скрещивании различных сортов в гибридах часто проявляются отличительные черты только одного из родителей. В последующих поколениях, однако, могут обнаруживаться и подавленные признаки другого родителя. Это свидетельствовало о том, что при скрещивании элементарные наследственные черты не теряются. В 1852 г. Ноден предпринял количественные исследования распределения наследственных признаков при скрещивании. Но он, как и Сажре, экспериментировал с растениями, мало подходящими для такого рода анализа. Работа этих и других исследователей подготовила почву для выяснения законов генетики. Однако, чтобы получить ясные результаты, требовалось правильно сформулировать вопрос и точно поставить эксперимент.

Это сделал чешский исследователь-любитель Грегор Иоганн Мендель в опытах, проведенных в период 1856—1863 гг. С самого начала его работа была очень точно

спланирована. Мендель прежде всего исключительно удачно выбрал объект для исследования — обычный горох. Затем, в отличие от Нодена, он сосредоточил внимание на минимальном количестве признаков. Так, в результате многолетних экспериментов Мендель открыл законы доминирования признаков в первом поколении (отмеченного еще Сажре) независимо от их распределения в последующих поколениях и их количественного соотношения.

Своими исследованиями Мендель определил развитие науки на десятилетия. В 60-е годы XIX в. о наследственности и наследовании признаков создавались самые невероятные теории. Ученые лишь шаг за шагом приближались к истине, хотя и с другого направления. В 1875 г. Оскар Гертвиг описал процесс оплодотворения как соединение двух клеток. Обобщив исследования, касающиеся деления клеток, Август Вейсман назвал носителями наследственных свойств ядра клеток. Изучение хромосом привело к предположениям о том, как могут распределяться наследственные факторы между двумя клетками. Эти «цветные тельца» в клеточном ядре были открыты Фридрихом Антоном Шнейдером в 1873 г. Вскоре выяснилось, что у каждого определенного вида растений или животных число хромосом одинаково. В 1883 г. Эдуард Ван Бенеден заметил, что в половых клетках их в два раза меньше. При их соединении получается двойной набор хромосом, характерный для взрослых индивидуумов. Так, в начале нашего века эмбриология и цитология заложили надежную основу для исследования материальных носителей наследственности. Оставалось только «открыть» генетику. Это сделали Карл Эрх Корренс, Хуго Де Фриз и Эрх Чермак, работавшие соответственно в Германии, Нидерландах и Австрии.

В 1900 г. эти трое ученых опубликовали независимо друг от друга результаты исследований по скрещиванию растений. Чермак обнаружил забытую работу Менделя, и она была вновь напечатана в 1901 г. Вскоре после этого два цитолога, Уолтор Сеттен и Теодор Бовери, показали, что законы Менделя очень хорошо объясняют распределение хромосом при делении клеток. Так, медленно набирала темпы хромосомная теория наследственности.

В первое десятилетие нашего века развитие генетики происходило довольно бурно. Классический генетический анализ еще не был разработан, и в исследовании

наследственности продолжал доминировать подход английской биометрической школы. Ее представители умело пользовались математической статистикой, но мало интересовались биологической стороной вопроса; они искали средние показатели количественных признаков и отклонения от них. Значительно позже стало понятно, что эти признаки определяются большим числом генов и их анализ методами классической генетики крайне затруднителен. Однако в 1908 г. это еще не было известно, и Карл Пирсон, основатель биометрической школы в Англии, заявил, что нет окончательного доказательства применимости законов Менделя к какой-либо из существующих форм жизни. Обнаружились несоответствия и в других областях. В 1906 г. Уильям Бетсон и его сотрудник Р. Пеннет, исследуя парные признаки, установили, что их распределение не согласуется с законами Менделя. Молодая наука генетика попала в кризисную ситуацию.

Все эти противоречия были, в сущности, началом нового открытия. И его сделал Томас Морган, профессор экспериментальной зоологии Колумбийского университета в Нью-Йорке. Он сумел объединить данные статистики и результаты исследования процессов, происходящих в клетках. Морган приступил к экспериментам в области генетики в 1909 г. Прежде всего он обратился к своим коллегам по университету с просьбой помочь подыскать ему такое живое существо, которое могло бы быстро размножаться в ограниченном пространстве и при ограниченных затратах на него. Оказалось, что таким условиям полностью соответствует широко распространенная обыкновенная плодовая мушка — по-латыни «дрозофила меланогастер».

Небольшая лаборатория Моргана, названная «дрозофильной комнатой», вскоре заполнилась бутылками из-под молока, лабораторными колбами, пробирками и тому подобными вещами. Помещенная в колбу, пара дрозофил для полного счастья нуждается лишь в кусочке банана — и через 12 дней приносит потомство в 1000 особей. От небольшого количества эфира они засыпают, после чего их можно сортировать с помощью акварельной кисточки. Морфология дрозофилы исключительно богата: большое разнообразие форм волосков, крыльев, антенн; цвета глаз и т. п., что делает ее идеальным объектом для генетических исследований.

Изучая распределение наследственных признаков, Морган столкнулся с тем же «взаимным притяжением генов», которое было замечено в 1906 г. Бетсоном и Пеннетом. Выяснилось, что наследственные признаки дрозофилы можно разделить на три связанные между собой группы, которые наследуются как единое целое. Морган назвал этот феномен сцеплением генов. Как цитолог он очень хорошо знал, что в клетках дрозофилы имеются три большие хромосомы. Наряду с ними существует еще четвертая, небольшая хромосома. Спустя несколько лет, в 1914 г., Герман Джозеф Мёллер, работавший тогда у Моргана, открыл четвертую группу генов, в самом деле очень малочисленную.

Так Морган установил, что гены действительно находятся в хромосомах. Это открытие объясняло противоречие, обнаруженное Бетсоном и Пеннетом. Вскоре, однако, возникли новые проблемы. Гены, о которых было известно, что они принадлежат к одной группе, в следующих поколениях неожиданно оказывались в разных группах. Морган высказал предположение, что происходит обмен генетическим материалом между разными хромосомами. Ему даже удалось наблюдать этот процесс в микроскоп: две хромосомы сближались и скрещивались, обмениваясь фрагментами. Этот процесс получил название кроссинговера.

Морган представлял себе гены упорядоченными по длине хромосом, как бусинки в ожерелье. Экспериментальные данные привели его к замечательной идее о создании генетических карт. Очевидно, что, чем дальше находятся два гена друг от друга, тем больше вероятность обрыва их связывающей нити и получения новых сочетаний генов. Стало возможным определить относительное расстояние между генами в хромосоме путем простого вычисления процента кроссинговера. Впоследствии была даже введена единица измерения «морган», соответствующая одному проценту кроссинговера.

Замечательное открытие Моргана дало мощный толчок развитию генетики. Молодая наука обогатилась первыми теоретическими обоснованиями и получила признание в мире ученых. Одним из выражений такого признания было решение профессоров из Каролинского института присудить в 1933 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине Моргану за создание хромосомной теории наследственности.

В опытах Моргана новая мутация случалась один раз на несколько тысяч дрозофил. С развитием концепции гена стало ясно, что в основе мутации лежат какие-то химические изменения в веществе — носителе наследственной информации. Этот вопрос был подробно изучен Г. Дж. Мёллером, который еще со студенческих лет начал работать в группе Моргана. Освоив в совершенстве методы работы с дрозофилами, он приступил к самостоятельному исследованию мутаций, их причин и возможностей получения искусственным путем.

Мёллер подвергал дрозофил различным воздействиям и уже в самом начале исследований установил, что число мутаций увеличивается с повышением температуры. Он вспомнил об известной из химии закономерности, а именно о том, что при нагревании скорость реакции возрастает, и решил искать другие, еще более сильные средства воздействия. Он начал с облучения мушек светом и наконец, в 1926 г., дошел до рентгеновских лучей. За год до этого Г. А. Надсон совместно с Г. С. Филипповым в Советском Союзе уже провели подобные опыты, подвергая дрожжи рентгеновскому облучению.

Эти эксперименты положили начало радиобиологии. Мёллер добился почти 100-процентной мутации в потомстве дрозофил, что в тысячи раз превышает частоту мутаций в естественных условиях. Так он осуществил мечту своей молодости — ускорить процесс эволюции, найдя способ вмешиваться в него. Метод получения искусственных мутаций был с восторгом встречен селекционерами. Уже в 1928 г. Л. Стедлер успешно применил его к кукурузе. В 30-е годы Н. В. Тимофеев-Ресовский, Макс Дельбрюк и другие крупные ученые создали теорию мишени, которая объясняла действие радиации.

Открытие Мёллера принесло ему всемирную известность. В 1932 г. он был приглашен на работу в Берлин, а два года спустя — в Ленинград, где работал с выдающимся советским генетиком Николаем Ивановичем Вавиловым. Затем, до 1937 г., Мёллер работал в Москве, руководя большим коллективом сотрудников *. В 1945 г. мир узнал о зловещей мощи и пагубном воздействии атомного оружия. Радиобиология сразу стала исключительно

* Работая в Москве, Мёллер совместно с Александрой Алексеевной Прокофьевой-Бельговской в 1935 г. определил размер генов у дрозофилы. — *Прим. ред.*

актуальной. И вскоре, в 1946 г., Г. Дж. Мёллер был удостоен Нобелевской премии по медицине и физиологии за исследование мутаций, вызываемых рентгеновским излучением.

Хромосомная теория наследственности явилась высшим достижением классической генетики. Хромосомные карты и возможность создания искусственных мутаций с помощью радиации или химических мутагенов оказалась мощным оружием в руках селекционеров. Благодаря ему чисто интуитивный искусственный отбор, осуществляемый в течение тысячелетий, превратился в точную науку, и это позволило неизмеримо ускорить создание новых сортов. В 50—60-е годы были получены новые высокоурожайные культуры; результат их внедрения оказался столь впечатляющим, что в мире заговорили о «зеленой революции». К числу ученых, внесших большой вклад в ее осуществление, относится американский ученый-селекционер Норман Эрнест Борлоуг. В 50-е годы он начал проводить в Мексике исследования короткостебельных сортов пшеницы, скрещивая японский сорт «норин» с другими известными сортами. Постепенно были получены короткостебельные гибриды японского предшественника, обладающие ценными качествами других сортов. Это сыграло исключительную роль в интенсификации земледелия: короткий стебель способен нести большой колос, не полегая, и растение не расходует энергию на образование вегетативной массы, которая превращается в дальнейшем в ненужную солому.

Норман Борлоуг не был кабинетным ученым. Осуществив эту блестящую селекционную работу, он приложил огромные усилия по внедрению новых сортов в максимально короткий срок. В 1965 г. он организовал отправку десятков тысяч семян из руководимого им Международного центра по улучшению сортов кукурузы и пшеницы на полуостров Индостан — один из районов хронического голода. Менее чем за пять лет производство зерна в Индии и Пакистане удвоилось.

Заслуги ученого, который покинул свою лабораторию, чтобы помочь голодающим на месте, побудили Нобелевский комитет при Норвежском стортинге присудить в 1970 г. Н. Э. Борлоугу Нобелевскую премию Мира.

Информационные молекулы

В конце 1868 г. швейцарский врач Фридрих Мишер выделил из ядер лейкоцитов неизвестное вещество, которое назвал нуклеином. Примерно в те же годы Грегор Мендель тщетно старался убедить ученый мир в значении своей работы. До середины нашего столетия никто не предполагал, что эти два открытия столь тесно связаны между собой. Работа Менделя пребывала в забвении до 1901 г., а результаты исследований Мишера были опубликованы в подробном изложении лишь после его смерти — в 1890 г. Незадолго до этого, в 1889 г., немецкий химик Рихард Альтман предложил назвать нуклеин Мишера нуклеиновой кислотой.

Мишер сделал свое открытие в лаборатории известного исследователя Феликса Гоппе-Зейлера. Оно было настолько необычным, что этот ученый, не поверив Мишеру, поручил своим сотрудникам проверить его. Это задержало на два года публикацию статьи Мишера, озаглавленной «О химических свойствах клеток гноя», в которой он описывал свое открытие*.

В 1879 г. в лаборатории Гоппе-Зейлера начал работать Альбрехт Коссель. В течение десяти последующих лет он выделил основные составные части нуклеина: содержащие азот вещества — аденин и гуанин, фосфорную кислоту и соединения из группы углеводов. Работы Косселя над нуклеиновыми кислотами явились одним из его достижений, за которые он был удостоен в 1910 г. Нобелевской премии по медицине и физиологии.

До 40-х годов исследование нуклеиновых кислот считалось весьма скучным и вообще бесперспективным занятием. Так продолжалось до 1944 г., когда Освальд Теодор Эйвери, Колин Мак-Леод и Маклин Мак-Картти установили, что дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) является носителем генетической информации.

Это — одно из крупнейших открытий в современной биологии. Его история берет начало в 1928 г., когда Фредерик Гриффит в ходе своих опытов смешал неvirulentные пневмококки с убитыми болезнетворными бактериями того же вида. Он заметил, что происходит какое-то

* Статьи и необычайно интересная переписка Ф. Мишера изданы на русском языке: Мишер Ф. Труды по биохимии. — М.: Наука, 1985. — *Прим. ред.*

взаимодействие, в результате которого живые микроорганизмы приобретают вирулентные свойства. В 1944 г. Эйвери с сотрудниками повторили этот эксперимент, используя чистую ДНК, — они обнаружили то же самое превращение. Это убедительно доказывало, что нуклеиновая кислота сохраняет и передает признаки вирулентности и вообще наследственные признаки.

Сообщение о том, что нуклеиновые кислоты выполняют столь важную функцию, сразу привлекло к себе внимание ученых. В 1948 г. исследованием нуклеиновых кислот занялся известный английский химик-органик Александер Тодд. В течение десяти лет подробно изучая первичную структуру нуклеиновых кислот, он выяснил, каким способом связываются четыре азотных основания — аденин, гуанин, цитозин, тимин (в РНК вместо тимина содержится урацил) — с пятиатомным кольцом сахара рибозы или дезоксирибозы и молекулой фосфорной кислоты. Комплекс из азотного основания (пуринового или пиримидинового), углевода (рибозы или дезоксирибозы) и остатка фосфорной кислоты называется нуклеотидом. Эти атомные соединения не только являются составной частью нуклеиновых кислот, но и входят в состав ферментов в качестве активных групп — коферментов. За свои исследования нуклеотидов А. Тодд был удостоен в 1957 г. Нобелевской премии по химии.

Еще в 1938 г. Уильям Астбери, автор термина «молекулярная биология», получил со своим сотрудником Флорином Беллом рентгенограммы ДНК и установил, что азотные основания в этой длинной молекуле должны располагаться, как пластинки, одно над другим. Через 10 лет Эрвин Чаргафф сформулировал знаменитые «правила Чаргаффа» — общее количество гуанина и аденина из группы пуринов в молекуле ДНК равно количеству цитозина и тимина из группы пиримидинов. Указанные два типа соединений различаются по форме и размеру своих кольцевидных структур. Эти данные имели очень большое значение для работ, которые проводили в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета Фрэнсис Харри Комптон Крик и Джеймс Дьюи Уотсон.

В мае 1951 г. Уотсон, молодой исследователь и ученик Сальвадора Эдуарда Лурии, встретившись в Копенгагене с Морисом Уилкинсом из Лондонского университета, ознакомился с его рентгенограммой кристаллов ДНК. Уотсона это очень заинтересовало, и по его просьбе Лу-

рия договорился о его работе у Джона Кендрю в Кавендишской лаборатории. В то время М. Ф. Перуц, Дж. К. Кендрю и многие другие ученые занимались рентгеноструктурным анализом сложных биомолекул, используя методы Дж. Бернала и Д. Кроуфут-Ходжкин и проводя расчеты с помощью первых, еще несовершенных ЭВМ. В Кембридже Уотсон познакомился с Фрэнсисом Криком; они быстро нашли общий язык и поставили перед собой сложную задачу — определить структуру ДНК. В 1952 г. этим вопросом занимались в Лондонском университете Розалинд Франклин и Морис Уилкинс. Они получили довольно хорошие рентгенограммы, но не знали точно, как их интерпретировать. Этот вопрос пытались разрешить многие исследователи, в том числе и известный Лайнус Карл Полинг, — но без особого успеха.

История открытия структуры ДНК описана Уотсоном в его замечательной книге «Двойная спираль», изданной в 1968 г. В ней он вспоминает о целом ряде счастливых обстоятельств, которые помогли ему и Крику первыми разгадать структуру ДНК. Одно из таких обстоятельств — общение со специалистами из других областей науки. В разговорах с химиками Уотсон узнал, что структурные формулы, которыми пользовались они с Криком и их «конкуренты» в Лондоне, весьма схематичны и вряд ли отвечают истине. Поняв подлинное строение пуринов и пиримидинов, Уотсон и Крик установили, что они тесно связаны между собой, и если принять, что молекула ДНК состоит из двух цепей, то можно хорошо объяснить и правила Чаргаффа. Цепи должны быть закрученными одна вокруг другой, так чтобы сохранялись углы между различными группами атомов; таким образом и появилась на свет структура знаменитой двойной спирали, в которой связанные между собой пурины и пиримидины создают систему, напоминающую ступеньки лестницы.

Уже в первом своем сообщении в 1953 г. Крик и Уотсон отметили, что структура двойной спирали ДНК очень хорошо объясняет процесс «размножения» этой молекулы. Когда две цепи ее разъединяются, к ним могут прикрепляться новые нуклеотиды, и около каждой из старых цепей образуется новая, точно ей соответствующая. Это было поистине замечательное открытие. Впервые была найдена структура, которая могла самовоспроизводить-

ся и, таким образом, осуществлять основную жизненную функцию. Великолепные результаты Уотсона и Крика были бы невозможны без точных рентгенограмм Р. Франклин и М. Уилкинса. Ученые, открывшие знаменитую двойную спираль ДНК, в которой содержится генетическая информация о жизни, стали в 1962 г. лауреатами Нобелевской премии. Физики Крик и Уилкинс и биохимик Уотсон получили премию по физиологии и медицине за открытие структуры нуклеиновых кислот и ее роли в переносе информации в живом веществе. К сожалению, Франклин не оказалась в числе лауреатов — она умерла в 1957 г.

Наряду с химическими и физическими исследованиями нуклеиновых кислот в 40—50-е годы ставились опыты, целью которых было выяснение механизма их биосинтеза. В 1946 г. в Нью-Йоркском университете встретились Северо Очоа, баск из Испании, и Артур Корнберг из Нью-Йорка; с тех пор началось их длительное и плодотворное сотрудничество. Очоа работал с РНК бактерий, вызывающих уксуснокислую ферментацию, и Корнберг — с ДНК известной бактерией коли, обитающей в пищеварительном тракте человека. Ученым удалось обнаружить ферменты, которые синтезируют длинные цепи этих биополимеров — ДНК и РНК: достаточно было поместить в подходящую среду четыре основных нуклеотида и добавить фермент полимеразу. Необходимо также еще и небольшое количество готовой нуклеиновой кислоты. В этих условиях начинался синтез ДНК или РНК «ин витро» — в пробирке.

Результаты оказались весьма впечатляющими: впервые нуклеиновая кислота была синтезирована вне живой клетки. Сам Корнберг сравнивал это достижение с открытием Бухнером внеклеточного брожения. Еще одна функция живого вещества была выведена из клетки, и стало возможным изучать ее в лабораторных условиях. За открытие механизмов биосинтеза РНК и ДНК С. Очоа и А. Корнбергу была присуждена в 1959 г. Нобелевская премия по физиологии и медицине.

Еще в 40-х годах биохимикам было ясно, что последовательность нуклеотидов определяет систему расположения аминокислот в белковой молекуле. Все белки построены из полипептидных цепей, которые включают 20 аминокислот. В ДНК, однако, только 4 нуклеотида. Очевидно, эти 20 аминокислот представляются какими-то

различными комбинациями нуклеотидов. Этим вопросом занялся известный физик Г. А. Гамов. Он показал, что при сочетании четырех нуклеотидов тройками получаются 64 различные комбинации, чего вполне достаточно для кодирования любых белков. Идея выглядела привлекательной, но в 1954 г., когда Гамов опубликовал свою работу, было совершенно неясно, как ее можно доказать. В 1958 г. Эдуард Тейтем в своей Нобелевской лекции выразил надежду, что кто-нибудь из более молодых слушателей доживет до расшифровки генетического кода. Но реальность нередко опережает мечты: это произошло уже в 1961 г.

В этом году Маршалл Уоррен Ниренберг и Генрих Маттен искусственно синтезировали РНК, состоящую только из одного нуклеотида. С ее участием они осуществили внеклеточный синтез белковой молекулы и получили полипептид лишь из одной аминокислоты. Оказалось, например, что РНК, построенная из урацила и содержащая, естественно, лишь триплет УУУ, кодирует синтез полипептида, состоящего только из аминокислоты — фенилаланина. Так этот удивительно простой и остроумный метод положил начало расшифровке генетического кода. В данной работе принимали участие Северо Очоа и индийский ученый Хар Гобинд Корана, ученик Владимира Прелога из Цюриха и Александра Тодда из Кембриджа.

Большой заслугой Кораны явилась разработка методов синтеза различных молекул ДНК и РНК с определенной последовательностью кодирующих триплетов. Искусственное синтезирование нуклеиновых кислот позволило к 1966 г. раскрыть значение всех 64 комбинаций. Оказалось, что некоторые аминокислоты кодируются несколькими триплетами. В разных организмах используются различные триплеты, или, как говорят биохимики, ДНК пользуется различными «диалектами». Только три кодона (триплет) оказались бессмысленными: они не кодируют аминокислоту, но зато играют роль «знаков препинания». Когда процесс записи информации доходит до такого «бессмысленного» кодона, синтез белка прекращается.

После раскрытия генетического кода, когда стало ясно, как записывается наследственная информация, остался неразрешенным вопрос о «переводе» этой информации с языка ДНК на язык белков. Этой проблемой

заялся Роберт Уильям Холли, ученик Винсента дю Виньо из Корнеллского университета.

Еще в начале 40-х годов Торбьёрн Касперсон в Швеции и Жан Браше в Бельгии установили, что в тканях, где идет активный синтез белков, наблюдается повышенное содержание РНК. В 50-е годы некоторые ученые, исследуя этот вопрос, открыли рибонуклеиновые кислоты, молекулы которых имеют сравнительно небольшие массы и размеры. В 1957 г. Фрэнсис Крик разработал теорию, согласно которой на нуклеиновой матрице должны выстраиваться по определенной системе какие-то вещества, которые и переносят аминокислоты в белковую молекулу. Так возникла гипотеза транспортной РНК.

Теория исходила из необходимости наличия 20 различных транспортных РНК, соответствующих 20 аминокислотам. Р. Холли поставил перед собой задачу — исследовать одну из них. С помощью специальных ферментов (рибонуклеаз) он разделял молекулу РНК на небольшие фрагменты и определял их нуклеотидную последовательность. Используя различные ферменты, Холли синтезировал все более крупные фрагменты и к 1965 г. определил структуру транспортной РНК, переносящей аланин в клетках дрожжей.

Метод Холли был сразу же взят на вооружение учеными, и вскоре удалось раскрыть структуры других транспортных рибонуклеиновых кислот. Оказалось, что молекула этих веществ имеет на одном конце триплет нуклеотидов (антикодон), который точно отвечает триплету матрицы. Так, транспортные РНК встречаются по определенной системе на длинной молекуле информационной РНК, являющейся копией соответствующего гена из молекулы ДНК. Транспортные РНК несут на своем хвосте различные аминокислоты, которые также упорядочиваются по определенной системе и с помощью ферментов соединяются в цепь. Этот процесс осуществляется в рибосомах — клеточных «фабриках» по производству белковых молекул.

Обширные и глубокие исследования Ниренберга, Кораны и Холли внесли ясность в вопрос о способе записи и использования генетической информации. В 1968 г. эти трое ученых были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за интерпретацию генетического кода и его функций в синтезе белка.

Совершенствуя свои методы синтеза полинуклеотид-

ных цепей, Корана сумел получить в 1970 г. первый искусственный ген (триплет). Это сыграло важную роль в зарождении генной инженерии. Синтезирование стало возможным лишь после того, как была определена последовательность нуклеотидов в гене. Эта сложнейшая задача в исследовании нуклеиновых кислот нашла свое решение лишь в последнее время.

Молекулярная генетика

В 1935 г. в Париж к известному генетику Борису Эфрусси прибыл молодой исследователь из Калифорнийского технологического института. Это был Джордж Уэлс Бидл. В Париже он вместе со своим французским коллегой начал эксперименты в области, пограничной между генетикой и биохимией. Маленькая мушка дрозофила по-прежнему оставалась для генетиков предпочтительным объектом исследования. Ученые решили проследить, как наследуется у нее глазной пигмент. Эти эксперименты побудили Бидла продолжить изучение биохимических основ наследственности, и это сделало его одним из пионеров зародившейся в 40-х годах новой науки — молекулярной генетики.

В 1937 г. Бидл уехал в Станфордский университет, где встретился с Эдуардом Тейтемом. Там началось их плодотворное сотрудничество. Прежде всего они пришли к заключению, что дрозофила — слишком сложный объект для исследования, и в качестве такового избрали плесневый грибок — нейроспору. Тейтем, работавший над диссертацией по обмену веществ у бактерий, как специалист-микробиолог, знал, что этот плесневый грибок может расти в искусственной среде, состоящей из сахара, соли и витамина Н. В ходе опытов грибок облучали рентгеновскими лучами, получая различные мутантные формы. Наиболее характерной особенностью этих мутантов было то, что они уже не могли расти в такой бедной среде: требовались добавки новых веществ. Это было истолковано как изменение ферментативных систем организма.

В свое время работы Г. Дж. Мёллера показали, что рентгеновское излучение вызывает изменения в генетическом материале. Теперь из опытов Бидла и Тейтема следовало, что мутации в генах непосредственно влияют на ферментативные системы организма. Это явилось пер-

вым доказательством того, что гены регулируют биохимические функции живых существ. Обобщая результаты своих исследований, Бидл и Тейтем в 1944 г. выдвинули широкоизвестную ныне концепцию «один ген — один фермент».

В 1958 г. Нобелевский комитет при Каролинском институте принял решение присудить Бидлу и Тейтему премию по физиологии и медицине за открытие влияния генов на обмен веществ. Вместе с ними Нобелевскую премию получил молодой исследователь Джошуа Ледерберг, который рано приобрел известность своими исследованиями по генетике бактерий. В 1946 г. он стал сотрудничать с Тейтемом в Йельском университете и за два года подготовил и защитил докторскую диссертацию.

Крупное открытие Ледерберга связано с исследованием механизмов конъюгации у бактерий: при совместном выращивании бактериальные клетки часто соприкасаются и обмениваются генетическим материалом. Ледерберг и Тейтем поставили опыты по совместному выращиванию мутантов бактерии кишечной палочки — одного из любимых объектов исследования для микробиологов. Опыты строились по тому же принципу, что и прежде: получали так называемые ауксотрофные мутанты, которые не способны уже расти в бедной питательными веществами среде, а испытывают потребность в специальных добавках. Ученые обнаружили, что при совместном выращивании таких бактерий появляются гибриды, объединяющие в себе признаки «родителей». Наблюдаемый результат объяснили конъюгацией клеток — своеобразным процессом полового размножения у бактерий.

При исследованиях под микроскопом Ледерберг заметил, что в точке соприкосновения двух клеток их стенки исчезают и образуется протоплазмальный мостик, по которому ДНК переходит из одной бактерии в другую. Это наблюдение привело Ледерберга к интересной идее: а что, если попробовать встряхнуть чашку с бактериями? Ведь в таком случае связь между бактериями должна прекратиться преждевременно и обмен ограничится лишь частью генетического материала. Исследуя затем свойства полученных штаммов гибридов, можно точно определить, какие гены переходят из одной бактерии в другую за тот или иной промежуток времени. Этот оригинальный метод дал возможность Ледербергу составить генетические карты микроорганизмов.

В зависимости от строения клеток живые организмы делятся на две крупные группы. Те, что устроены просто, называются прокариотами: их клетки не имеют оформленного ядра и ДНК у них находится в клетке в необособленном виде. К этой группе относятся бактерии. Более сложные организмы, эукариоты, имеют клеточное ядро, которое отделено мембраной от клеточной плазмы и содержит ДНК, связанную специфическими белками в хромосомы. Бактериальную ДНК иногда также называют хромосомой. Благодаря своему простому устройству генетический аппарат бактерий легче поддается исследованию, и это позволило французским ученым Франсуа Жакобу и Жаку Люсьену Моно изучить механизм регуляции генной активности.

В молодости ученый-медик Франсуа Жакоб мечтал стать хирургом. Но началась вторая мировая война, и ему пришлось поехать военным врачом в Африку. В 1944 г. при высадке десанта в Нормандии он был тяжело ранен, и это окончательно расстроило все его планы. Тогда Жакоб решил заняться наукой. В 1950 г. он попадает в Институт Пастера к известному микробиологу и вирусологу Андре Мишелю Львову. Там уже работал Моно, ученик Львова и Эфрусси.

Одним из важнейших вопросов, над которыми трудились в то время биологи, касался лизогении у некоторых бактерий. Это странное явление заключалось в том, что на плотных колониях бактерий неожиданно появлялись светлые пятна, вызванные разложением клеток. Андре Львов с сотрудниками установил, что ультрафиолетовое излучение может вызывать процесс распада бактерий, имеющих в своей наследственности фактор лизогенности. Это открытие позволило французскому ученому впервые правильно объяснить явление лизогении. А. М. Львов доказал, что в клетках лизогенных бактерий существует некая неинфекционная форма вируса (профаг), которая не размножается там, а прикрепляется к бактериальной ДНК. Становясь частью генетического аппарата, он влияет на механизм генной регуляции, вследствие чего теряет свою активность. Под внешним воздействием (например, ультрафиолетового излучения) профаг может оторваться от бактериальной хромосомы и превратиться в активный вирус, который и вызывает гибель клетки. Теория Львова представляла большой интерес, ибо впервые ставился вопрос о регуляции генной активности. За эту

работу А. М. Львов был удостоен в 1965 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Еще в 40-е годы высказывались предположения, что, возможно, функции генов регулируют гистоны (белки, связанные с ДНК). В 1958 г. Жакоб и Моно, изучая образование в бактериальной клетке фермента бета-галактозидазы, обнаружили аналогию между этими процессами и процессами ингибирования у лизогенных бактерий. Постепенно накапливая факты, они в 1961 г. выдвинули свою теорию регуляции генной активности.

Согласно этой теории, в ДНК кроме структурных генов, несущих информацию о процессах биосинтеза, есть гены-регуляторы и гены-операторы. Ген-регулятор кодирует синтезирование специфического вещества — репрессора. Оно присоединяется к гену-регулятору, который непосредственно регулирует деятельность структурных генов. В результате прекращается работа генов, а следовательно, и синтез белка. Если, однако, в клетку попадает некое вещество, индуктор, для построения которого нужен фермент, то репрессор соединяется с ним, освобождая ген-оператор. Начинается синтезирование информационной РНК, служащей матрицей для производства нужного белка. После того как вещество-индуктор полностью израсходуется, репрессор, непрерывно производимый геном-регулятором, вновь связывается с геном-оператором — и процесс прекращается. Это хороший пример использования принципов обратной связи на молекулярном уровне.

На основе своей теории Жакоб и Моно смогли более детально объяснить лизогению. Ранее уже было известно, что гены бактериофага читаются в различной последовательности. Эти ученые показали, что при блокировании первых генов полностью прекращается синтез вирусных частиц и вирусная ДНК прикрепляется к бактериальной хромосоме. При этом остальные гены вируса могут и не быть блокированными, а функционировать в бактериальной клетке, придавая ей новые свойства. Это обстоятельство используется сегодня генной инженерией.

Идея Жакоба и Моно оказали в 60-е годы большое влияние на развитие молекулярной биологии. В 1965 г. они вместе с А. М. Львовым получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытия, связанные с генетической регуляцией синтеза белка у бактерий.

В возникновении молекулярной генетики как науки большую роль сыграли исследования простейших живых организмов — вирусов. Особо важным моментом в развитии этой науки было изучение бактериофагов — вирусов бактерий. Исключительные заслуги в этой области имеют: Макс Дельбрюк, Алфред Дей Херши и Сальвадор Эдуард Лурия — физик, биохимик и врач, которые превратили учение о бактериофагах в науку.

Еще в 1939 г. Дельбрюк вместе с Эмори Леоном Эллисом изучили процесс размножения фагов. Было обнаружено, что он состоит из трех периодов: прикрепление фага к бактериям, скрытый период, в течение которого фаг размножается в клетке, и, наконец, период распада, ведущий к уничтожению бактерии и выделению в большом количестве новых фагов. Этот процесс наглядно показывал, как внешнее генетическое влияние может коренным образом изменить функции живой клетки. Еще в середине 30-х годов было известно, что вирусы являются нуклеопротеидами, подобными хромосомам высших организмов. Поэтому они представляли большой интерес в качестве модели для изучения функций гена. Именно это и побудило Дельбрюка заняться в 1939 г. бактериофагами.

Полный цикл размножения бактериофагов продолжается около 15 мин, причем один вирус дает сотни потомков. Очевидно, это значительно ускоряет исследования, и простое устройство фагов, раскрытое Лурией, позволяло испытать новые методы исследования. В 1946 г. Дельбрюк, Херши и другие ученые открыли явление рекомбинации генов у вирусов, что позволило построить генные карты. В 1952 г. Херши методом меченых атомов доказал, что только ДНК имеет значение для репликации вирусов. Хотя о роли ДНК стало известно еще из экспериментов Эйвери, лишь после работы Херши резко изменились взгляды на природу генов. Лурия открыл комплекс ферментов и особые состояния клетки, когда она может противостоять бактериофагу. Это имело большое значение для развития генной инженерии.

В конце 50-х и в 60-е годы многие ученые стали лауреатами Нобелевской премии за достижения в области генетики. Однако основополагающие работы трех патриархов современной молекулярной генетики (М. Дельбрюка, А. Херши и С. Лурии) получили признание Нобелевского комитета с большим опозданием: они были удостоены

ны Нобелевской премии по физиологии и медицине лишь в 1969 г.

Исследования бактериофагов показали, что они способны присоединяться к генетическому аппарату бактерии, становясь частью ее гена. В результате клетка не погибает, а продолжает размножаться и даже приобретает новые свойства. Вскоре подобные особенности были замечены и у других вирусов, в частности у так называемых онкогенных вирусов.

Еще в 1911 г. Фрэнсис Раус (Raus) совершенно точно установил, что один из видов саркомы у птиц (саркома Рауса) вызывается вирусом. В 1965 г. Ренато Дульбекко, итальянский ученый, работавший в США, заметил, что вирус полиомиелита может присоединяться к клеточной ДНК, становясь ее составной частью. Обычно этот вирус вызывает инфекцию, но в культурах тканей приводит к неопластической трансформации. Это явилось убедительным аргументом в пользу вирусной теории раковых заболеваний. Однако выяснилось, что у большинства «подозрительных» онкогенных вирусов основным генетическим материалом является РНК. К числу таких вирусов относился вирус саркомы Рауса. Оставалось неясным, как вирусы, содержащие РНК, могут присоединяться к клеточной ДНК высших организмов.

Пытаясь разрешить этот вопрос, Хоуард Мартин Темин из Висконсинского университета предположил в 1970 г., что возможен процесс обратной транскрипции*. Одной из важнейших основ молекулярной генетики (ее «центральной догмой») было представление, что наследственная информация движется только по линии ДНК — РНК — белок. Темин предположил, что вирусная РНК транскрибируется в ДНК, которая присоединяется к клеточному геному.

Вначале эта точка зрения была встречена в штыки. Но в 1970 г. Темин одновременно с Дейвидом Балтимором из Массачусетского технологического института открыл фермент РНК-зависимую ДНК-полимеразу, или обратную транскриптазу. Именно этот фермент осуществляет синтез ДНК на матрице вирусной РНК.

* Первые исследования возможности обратной передачи генетической информации от РНК к ДНК провел в 1961 г. советский генетик Сергей Михайлович Гершензон.— *Прим. ред.*

Открытие обратной транскрипции и присоединения вирусов к клеточному геному вселило в ученых надежды на новые успехи медицины. Вместе с тем указанные открытия имели и большое чисто теоретическое значение, позволив глубже проникнуть в молекулярные механизмы генетики. За свои достижения Д. Балтимор, Х. Темин и Р. Дульбекко были удостоены в 1975 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Генная инженерия

В начале 50-х годов известный вирусолог Сальвадор Лурья столкнулся с интересным явлением: фаги, выращиваемые на одном штамме бактерий, не развивались на другом. Было установлено, что причины этого не в генетическом различии фагов. Осталось исследовать возможность того, не принимают ли их бактерии различным образом. За этим, несомненно, стоял какой-то ферментативный процесс, но его сущность оставалась неясной до 1962 г., когда данным вопросом занялся Вернер Арбер из Биологического центра Базельского университета.

Вместе со своими сотрудниками он исследовал и сформулировал принципы так называемой штаммоспецифичной рестрикции и модификации ДНК. Оказалось, что при вхождении вируса в бактерию на него действует ферментативный аппарат, связанный с бактериальной ДНК (генным комплексом). Специальные ферменты (рестриктазы) атакуют и разрывают вирусную ДНК, ограничивая таким образом ее размножение и функционирование. В этом и состоит суть рестрикции. Дальнейшие исследования показали, что рестриктазы «распознают» определенные участки ДНК и прикрепляются к ним, чтобы разорвать цепь.

Рестрикция оказалась эффективным средством обезвреживания бактериофагов. Она позволяет, однако, уничтожать только некоторые разновидности фагов. Отдельные фаги приспособляются к определенным штаммам бактерий и обходят этот механизм, благодаря чему они существуют и размножаются. Арбер открыл возможные пути преодоления рестрикции. Он установил, что в бактерии имеется и другой фермент, который модифицирует химически определенный участок ДНК, подавляя действие рестриктаз. Результаты швейцарского ученого

в принципе имели важное значение, но казались далекими от практического применения. Открытые им «молекулярные ножницы» разрывали цепь ДНК неспецифично, так что не возникало возможности изолировать определенный участок. Ферменты прикреплялись в одном месте цепи ДНК, а разрывали ее в другом.

После Арбера этой новой, интригующей областью молекулярной генетики и энзимологии заинтересовались многие ученые. Подобные ферменты были обнаружены и в других микроорганизмах. В 1970 г. Гамильтон Смит из университета Джона Гопкинса в Балтиморе обнаружил, что рестриктаза микроорганизмов одного вида у другого вида микроорганизмов разрывает ДНК точно в том месте, где фермент прикрепляется. Это удачное открытие вызвало взрыв активности среди ученых. К 1975 г. различным группам исследователей удалось выделить свыше 50 рестриктаз, а сегодня их получены уже сотни. Все они распознают и отрывают от ДНК участок, состоящий из 4—6 пар нуклеотидов. Многие рестриктазы дают возможность разрывать ДНК в разных точках и разделять ее на различные фрагменты, содержащие определенные гены. Эти ферменты использовались не только для выделения генов, но и для составления генных карт. Такая работа была проведена в 1971 г. Даниэлем Натансом.

Этот ученый в течение многих лет исследовал на обезьянах один из вирусов и с помощью рестриктаз установил конкретно последовательность действия различных генов; в конечном счете он разобрался и в системе упорядоченности всех 5 тысяч пар нуклеотидов в двойной спирали ДНК вируса. Это было достигнуто с помощью 14 рестриктаз. (Для сравнения можно сказать, что ДНК человека и других высших животных имеет, по всей вероятности, свыше миллиона нуклеотидов.)

В 1972 г. Даниэль Натанс стал директором отдела микробиологии медицинского факультета университета Джона Гопкинса, где работал ассистентом Гамильтон Смит. Вместе со своими сотрудниками Натанс разработал эффективный метод выделения в чистом виде фрагментов ДНК с помощью электрофореза. Таким образом, ученые уже имели «молекулярные ножницы», вырезающие нужные фрагменты из ДНК, и владели методами выделения этих фрагментов. Осталось найти «транспортное средство», которое позволило бы вводить выделенные гены в клетку.

Такие механизмы, в сущности, были давно известны ученым. Еще в 40—50-х годах, когда закладывались основы бактериальной генетики, было открыто явление трансдукции (переноса генов из одной клетки в другую с помощью вируса). Ген прикрепляется к ДНК вируса, которая впоследствии становится частью хромосомы бактерии. Разумеется, этот механизм действовал лишь у вирусов, которые не уничтожают клетку сразу. Другой механизм связан с процессом полового размножения бактерий. Клетки нормально обмениваются генетическим материалом с помощью плазмид (небольших частиц, содержащих фрагменты ДНК). Если ввести в плазмиды какой-либо ген, то они превращаются в отличное «транспортное средство», переносящее ген в бактерии.

Создание и развитие генной инженерии, как и любой новой области науки, было результатом деятельности большого числа ученых и групп исследователей. Но всегда среди многих можно выделить лиц, внесших решающий вклад. Вернер Арбер открыл рестриктазы, Гамильтон Смит выделил первые рестриктазы, а Даниэль Натанс создал метод выделения генов и провел с помощью рестриктаз полное исследование вирусного генома. За свои замечательные научные достижения трое названных исследователей были удостоены в 1978 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

В числе основоположников генной инженерии стоит и имя Пола Берга из Станфордского университета. В 1972 г. путем химического воздействия он сумел соединить ДНК двух вирусов, получив молекулярный гибрид. Эта методика оказалась очень полезной, так как дала возможность присоединять различные гены к вирусу, используя его как транспортное средство для проникновения в клетку. Таким образом, возникли предпосылки для создания генных «библиотек». Гены, выделенные из самых различных организмов, могут вводиться в клетки бактерий с помощью фагов или плазмид и размножаться вместе с бактериями. Эти бактерии служат фондом генной «библиотеки», и при необходимости из них всегда можно извлечь ген, представляющий интерес для исследователя. Кроме того, гены, перенесенные в необычную среду, начинают действовать по-иному, и это создает возможность для изучения механизма их регуляции.

Важной проблемой в молекулярной биологии является определение нуклеотидной последовательности в

ДНК. Больших успехов в этой области добился Фредерик Сенгер, опытный экспериментатор, который в середине 50-х годов разработал метод определения аминокислотной последовательности белков и в 1958 г. получил Нобелевскую премию по химии за определение структуры инсулина.

В 1965 г. Сенгер начинает в Кембридже (где он постоянно работал) исследование структуры нуклеиновых кислот, в частности первичной структуры (нуклеотидной последовательности). С этой целью использовались меченые атомы, что позволило работать с ничтожно малым количеством экспериментального материала — порядка микрограммов. Исследовалась реакция синтеза второй комплементарной цепи, меченной радиоактивным фосфором, на матрице однострочной ДНК. Она осуществлялась в ходе четырех параллельно идущих опытов, в которых у каждого нуклеотида прерывался рост цепи. Полученные фрагменты ДНК разделяются с помощью электрофореза, что дает возможность точно определить длину конечного полинуклеотида. В каждом из четырех опытов реакция останавливалась соответственно на аденине, гуанине, цитозине и тимине. Зная фрагменты и число нуклеотидов в них, можно точно определить место каждого из этих оснований в молекуле ДНК.

Этот метод Сенгер с сотрудниками применили в 1977 г. для определения положения 16 500 нуклеотидов в ДНК митохондрий человека. Эти клеточные субстанции, генераторы энергии клетки, имеют собственную ДНК и относительную автономию. Предполагается, что они, как и хлоропласты, произошли от симбиотических микроорганизмов, приспособившихся к жизни в клетке. В группе, руководимой Сенгером, были разработаны и другие методы исследования нуклеиновых кислот, с помощью которых еще в 1967 г. удалось определить нуклеотидную последовательность одного из видов РНК, состоящей из 120 нуклеотидов, а в 1977 г. на двух страницах английского журнала *Nature* был напечатан петитом список всех 5375 нуклеотидов ДНК фага ФХ174: химическая формула бактериофага.

В 1977 г. Уолтер Гилберт из Гарвардского университета предложил новый метод определения места нуклеотидов, основанный на разрыве ДНК по определенному нуклеотиду. Начало этому методу было положено еще в 1966 г. совместной статьей Гилберта, его сотрудника

Э. Максама и советского ученого А. Д. Мирзабекова *. Советские ученые внесли значительный вклад в развитие этой методики. А. Д. Мирзабеков, А. М. Колчинский и А. Ф. Мельникова предложили метилировать аденин и гуанин, после чего разрывать ДНК, используя реакции с метилированными соединениями. Гилберт и Максам развили метод и открыли отдельные реакции, которые разрывают ДНК в определенных местах у каждого из четырех оснований. При этом получают фрагменты, которые исследуются также методом электрофореза.

Предварительным этапом в определении нуклеотидной последовательности является разрезание ДНК с помощью рестриктаз. Образующиеся фрагменты состоят из нескольких тысяч нуклеотидов, которые, в сущности, представляют собой отдельные гены. Так, шаг за шагом раскрывается молекулярная структура ДНК бактерий, растений и животных. Со временем, вероятно, будет определена и нуклеотидная последовательность ДНК человека, для записи которой потребуется, по-видимому, несколько томов. Тогда, быть может, и претворятся в жизнь слова Винера о «передаче человека по телеграфу».

Современные научные исследования — это, как правило, плод коллективного труда. Нобелевская премия, однако, индивидуальна, и ею награждаются лишь главные участники и вдохновители исследований. Пол Берг, Фредерик Сенгер ** и Уолтер Гилберт были удостоены Нобелевской премии по химии в 1980 г., и это символизировало признание крупных успехов, достигнутых многими учеными в области генной инженерии и молекулярной генетики.

В начале 1981 г. процесс выделения генов и получения из них различных цепей был автоматизирован. Генная инженерия в сочетании с микроэлектроникой предвещает чудо XXI в., когда человек, вероятно, научится управлять живой материей так же, как сегодня он управляет неживой. Дорогу к этому прокладывают современные опыты по молекулярной рекомбинации ДНК, кото-

* Принцип метода впервые наметил член-корреспондент АН СССР Е. Д. Свердлов, который предложил способ определения двух оснований — аденина и гуанина — в нуклеиновых кислотах. — *Прим. ред.*

** Ф. Сенгер первым среди ученых дважды получил Нобелевскую премию по химии. — *Прим. ред.*

рые позволяют получать невиданные гибриды и самые неожиданные сочетания генов.

Важные уточнения, касающиеся строения генома, были сделаны американским генетиком Барбарой Макклинток, которая с 1942 г. работает в известной лаборатории Колд Спринг Хэбор.

Вся научная деятельность этой исследовательницы связана с генетикой кукурузы. (Следует заметить, что для генетиков это растение является таким же классическим объектом исследования, как и дрозофила.) Барбара Макклинток пыталась выяснить, чем объясняется различный цвет зерен кукурузного початка. После сложных генетических анализов она пришла к выводу, что геном кукурузы содержит подвижный ген — когда он «прыгает» на другое место, подавленный ген, регулирующий окраску, проявляет свое действие, и зерно окрашивается.

Сообщение о том, что в геноме организма имеются элементы с непостоянным местом, вызвало определенный интерес в научных кругах, но в целом специалисты не обратили на него особого внимания. Однако в середине 70-х годов транспозоны были заново открыты — теперь уже методами молекулярной генетики — советским ученым Г. П. Георгиевым. Вскоре экспериментаторы научились выделять подвижные гены «*ин vitro*». Можно сказать, что генетики действительно находятся на пути к «конструированию» живых существ. И начало этой новой области науки было положено более чем 30 лет тому назад на опытном поле Барбары Макклинток, где она выращивала кукурузу. За открытие подвижных элементов генома Б. Макклинток была удостоена в 1983 г. Нобелевской премии по медицине и физиологии.

ХІІІ ФИЗИОЛОГИЯ

В первые годы после основания Нобелевского фонда одно имя часто называлось в списках кандидатов в лауреаты, подготавливаемых Каролинским институтом,— Иван Петрович Павлов, профессор Института экспериментальной медицины в Петербурге. Выдающийся русский ученый приобрел широкую известность благодаря своим новаторским исследованиям в физиологии.

Считается, что работы Павлова открыли новую эру в развитии этой науки. Его основным методом был так называемый хронический эксперимент. Цель его опытов — путем минимального вмешательства в деятельность организма высших животных исследовать функции различных органов и систем. Павлов разработал и усовершенствовал методы хирургических операций, посредством которых производилось наложение фистул на пищеварительные железы. Подопытные животные после операции долго сохраняли свою жизнеспособность, что позволяло всесторонне исследовать физиологию их пищеварительной системы. Это было исключительно важно, так как до работ Павлова было мало что известно о процессах пищеварения.

Разнообразные методы исследования, применяемые сотрудниками Павлова, способствовали быстрому получению данных относительно работы органов пищеварения. Искусственные отводы от слюнных желез, желудка и других органов системы пищеварения дали возможность исследовать секрецию желудочного сока и проводить его химический анализ. Наряду с этим были изучены моторные функции и нервная регуляция пищеварительной системы. Это было новое слово в физиологии, поскольку прежде большинство ученых и не предполагали, что нервная система играет какую-то роль в процессах пищеварения. Развивая в дальнейшем это направление, Павлов сделал крупный вклад в нейрофизиологию.

Располагая столь надежным и испытанным методом, Павлов и его сотрудники собрали огромное количество данных о зависимости процесса пищеварения от действия органов чувств и состояния нервной системы животных, от качества пищи и многих других факторов. Сотрудники Института экспериментальной медицины публиковали многочисленные научные сообщения и статьи, которые, несмотря на языковой барьер, становились известными во всем мире. Сам Павлов, направлявший работу всех своих сотрудников, редко фигурировал как соавтор в их публикациях. Это побудило Каролинский институт направить профессора Карла Тигерстеда в Петербург, чтобы выяснить, кто возглавляет столь плодотворную научную деятельность целого коллектива. Это позволило оценить роль И. П. Павлова, и в 1904 г. он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за работы по физиологии пищеварения.

Ученому исполнилось в ту пору 55 лет, и он был в расцвете творческих сил. Всю плодотворную работу Павлов продолжал еще три десятилетия, сосредоточив теперь основное внимание на физиологии высшей нервной деятельности. Им была создана целая научная школа, и его институт в окрестностях Ленинграда стал одним из крупнейших в мире центров исследований в области физиологии. За большие успехи в нейрофизиологии Павлова в 20-е годы вновь выдвигали на Нобелевскую премию, и, хотя его кандидатура на сей раз не прошла, сам этот факт свидетельствует о его высоком авторитете как ученого.

В начале нынешнего столетия датский физиолог Август Крөг из Копенгагенского университета занялся изучением процессов газообмена в тканях. Эта область была чрезвычайно трудна для исследования, так как возможности прямых измерений здесь весьма ограничены. Крөг разработал косвенные методы исследования диффузии кислорода и получил совершенно неожиданный результат: даже при очень тяжелой физической нагрузке содержание газа в мышцах оказалось почти таким же, как в капиллярах. Это было удивительным, поскольку предполагалось, что содержание кислорода в мышцах в данном случае должно уменьшаться, чтобы возрастала скорость диффузии. Датский ученый показал, что это достигается с помощью другого механизма.

Крөг решил исследовать непосредственно капилляры;

воспользовавшись для этого микроскопом. Он обнаружил, что при сокращении мышцы и действии различных раздражителей число капилляров растет, между ними возникают новые связи, сеть капилляров становится гуще. Это приводит к увеличению площади диффузии и расширяет возможности для проникновения кислорода в клетки. Подобную картину наблюдали и другие исследователи, однако до Крога никому не приходило в голову объяснить подобным образом пульсацию капилляров. Такой подход позволил Крогу объяснить количественные данные по газообмену в организме. Увеличение числа капилляров приводит, не ускоряя движения крови, к увеличению количества циркулирующей в организме крови, которая переносит кислород и питательные вещества. Увеличение скорости кровотока повлекло бы за собой сокращение времени диффузии, и тогда кровь не выполняла бы своих функций.

За исследования физиологии капиллярного кровообращения Август Крог был удостоен в 1920 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Одним из интереснейших изобретений известного французского физика Габриеля Липмана был капиллярный электрометр. В 1887 г. Август Уоллер с помощью такого прибора записал первую электрокардиограмму. Эти исследования привлекли внимание голландского физиолога Виллема Эйтховена из Лейденского университета. Он начал эксперименты с капиллярным электрометром и вскоре выявил его недостатки и ограниченные возможности. Оказалось, что аппарат имеет значительную инерцию, и снятая им электрокардиограмма не дает подлинной картины импульсов, возникающих в проводящих пучках сосудов сердца. Эйтховен разработал математические методы коррекции результатов, применил метод фоторегистрации, развил теорию электрокардиографии и таким образом в 90-е годы добился получения электрокардиограмм высокого качества. В 1895 г. он расчленил регистрируемые сигналы на составные части, связав их с различными моментами в деятельности сердца. Эта номенклатура сохранилась до настоящего времени.

Однако, несмотря на все усовершенствования, метод оставался очень сложным. Тогда Эйтховен предложил в 1903 г. радикальное решение — струнный гальванометр, с помощью которого можно было регистрировать малые и быстрые изменения электрических потенциа-

лов. Этот прибор — дальнейшее усовершенствование аналогичной конструкции, созданной Жаком Арсеном Д'Арсонвалем. Со струнного гальванометра начинается современная электрокардиография.

Еще в 1887 г. Уоллер показал, что при записи электрокардиограммы важно выбрать точки тела, от которых отводятся импульсы. Основываясь на результатах своих экспериментов, Эйнтховен предложил три точки отведения электрокардиограммы — от обеих рук и левой ноги, соединяя эти три точки попарно. С помощью многоканальных электрокардиографов запись сигналов можно делать одновременно. Эти принципы сохранились и по сей день.

Но деятельность Эйнтховена не ограничивалась только разработкой технических приспособлений. Как медик он пытался объяснять наблюдаемые явления с точки зрения биологии. Первое его открытие состояло в том, что каждый человек имеет свою специфическую электрокардиограмму, но у кардиограмм есть и общие черты. В 1906 г. он обнаружил, что при различных сердечных заболеваниях наблюдаются характерные отклонения в электрокардиограммах, что делает их исключительно ценными для диагностики. Эйнтховен установил, что суммирование электрофизиологической активности особых проводящих пучков создает в сердце биотоки, которые несут информацию о его деятельности.

Когда работа голландского ученого привлекла внимание Каролинского института, встал вопрос, возможно ли присуждение премии по физиологии и медицине за создание прибора. Подобных прецедентов еще не было; поэтому, когда Нобелевский комитет решил в 1924 г. наградить Эйнтховена, акцент мотивировки премии был смещен на открытие метода электрокардиографии. Но созданный Эйнтховеном струнный гальванометр и поныне используется для калибровки современных электрокардиографических аппаратов.

Однако, несмотря на все свои достоинства, электрокардиография является дистанционным методом наблюдения. До определенного времени никому и в голову не приходило, что сердце живого человека можно исследовать каким-то другим способом, кроме прослушивания, записи биотоков или рентгенографии. Так продолжалось до 1929 г., когда молодой хирург Вернер Форсман из клиники в Эберсвальде со свойственным молодости бесстрашием поставил на себе невероятный эксперимент.

Он ввел катетер в вену одной из рук на глубину 65 см, после чего отправился в рентгеновский кабинет, чтобы проверить, достиг ли конец катетера правого предсердия.

Этот эксперимент вызвал резкое осуждение в медицинских кругах. Сам по себе этот опыт не столь опасен, но мысль о подобном вмешательстве в организм живого человека приводила медиков в ужас. Руководство больницы запретило Форсману ставить подобные эксперименты. Его метод, однако, в 1940 г. применили два нью-йоркских врача. Дикинсон Ричардс и Андре Фредерик Курнан в течение нескольких лет занимались изучением кровообращения при различных заболеваниях и, поняв ограниченные возможности традиционных методов, решили прибегнуть к методу Форсмана, несмотря на его рискованность.

К счастью, опасения оказались напрасными. Катетер позволял непосредственно измерять давление и определять состав крови в труднодоступных участках, прилежащих к сердцу, и в самом сердце. Для клиницистов это имело исключительное значение. В 1941 г. Ричардс и Курнан опубликовали результаты своих исследований. Эти результаты, полученные в крупной клинике известными учеными, естественно, привлекли внимание всей медицинской общественности, чего не удалось добиться молодому врачу из Эберсвальда. Катетеризация сердца начала все более широко входить в медицинскую практику.

Во время второй мировой войны хирургам также пришлось включиться в борьбу. Ричардс и Курнан исследовали так называемый вторичный шок у людей, получивших тяжелые ранения. Оказалось, что большая потеря крови ведет к нарушениям в кровообращении и к шоку с летальным исходом. Использование катетеров позволило детально исследовать это состояние и найти способы его предотвращения. Впоследствии таким методом исследовались врожденные пороки сердца, что помогло значительно улучшить диагностику и, следовательно, повысить результативность хирургического вмешательства.

На успехи сердечной хирургии в 1956 г. обратил свое внимание Каролинский институт. Через 27 лет после своего замечательного эксперимента В. Форсман был назван в числе исследователей, внесших крупный вклад

в медицину. Вместе с ним Нобелевской премии по физиологии и медицине были удостоены Д. Ричардс и А. Курнан. Все трое получили награду за открытия, связанные с катетеризацией сердца и исследованием патологических изменений в кровеносной системе.

Исследования систем дыхания и кровообращения поставили вопрос о регуляции этих функций в организме. Еще в середине прошлого века было известно, что внутренние стенки аорты и сонной артерии имеют барорецепторы, контролирующие кровяное давление и посылающие сигналы в мозг, откуда при необходимости идут команды для его коррекции. В 1927 г. бельгийский ученый Корней Хейманс установил, что в тех же местах находятся и геморецепторы, регулирующие химический состав крови.

Добиться успеха в этих исследованиях помог оригинальный метод, разработанный отцом Хейманса, ректором Гентского университета. В 1912 г. он вместе с Э. де Соммером провел исследования нервной регуляции дыхания на двух собаках. Кровеносные сосуды одной собаки были соединены с кровеносными сосудами другой, в результате чего у них возникало общее кровообращение. У одной собаки прерывалась связь мозга с телом и функционировали только отдельные нервы. Это давало возможность проследить, какими путями идут в мозг сигналы об изменении дыхания и состава крови.

После длительных исследований, расширенных и углубленных молодым Хеймансом, выяснилось, что в аорте (в непосредственной близости от сердца) имеются специальные тельца, которые реагируют на химический состав крови и посылают в мозг сигналы о необходимости регуляции дыхания.

Указанный метод позволил исследовать различные физиологические процессы, например рефлексы дыхания и кровообращения, действие различных гормонов. К. Хейманс усовершенствовал и углубил метод. Эти исследования сделали его одним из крупнейших физиологов первой половины нашего столетия. Важное открытие было связано с хеморецепторами — «вкусовыми» органами, посредством которых мозг поддерживает дыхательное равновесие в организме. В 1939 г. коллегия профессоров Каролинского института приняла решение присудить К. Хеймансу Нобелевскую премию по физиологии и медицине. Премия была дана за открытие роли

синусного и аортального механизмов в регуляции кровообращения. В то время в Европе уже началась вторая мировая война, и премия была вручена К. Хеймансу в Генте. Лишь в 1945 г. он прочел в Стокгольме свою Нобелевскую лекцию, где подробно рассказал о своих знаменитых опытах со «спаренными» собаками.

Гормоны

В 1902 г. Уильям Мэддок Бейлисс и Эрнест Генри Старлинг установили, что в двенадцатиперстной кишке образуется некое вещество, которое, проникая сквозь стенки кишок, попадает в кровь и переносится ею в поджелудочную железу — орган, стимулирующий выделение желудочных соков. Они назвали это вещество секретин и ввели термин «гормон», что в переводе с греческого означает «возбудитель».

Исследование гормонов — это увлекательнейшая глава современной физиологии, которая пока еще не написана до конца. Ряд ученых, посвятивших себя этой области, были удостоены Нобелевской премии, а многие другие неоднократно выдвигались на соискание этой премии. Кандидатуры Бейлисса и Старлинга рассматривались в 1913 и 1914 гг., однако из-за начавшейся вскоре первой мировой войны Нобелевский комитет при Каролинском институте прекратил на время свою работу, и вклад упомянутых исследователей, сделавших конкретные открытия и теоретические обобщения, так и остался непризнанным. Кандидатура Старлинга вновь была выдвинута в 1926 г., но эксперты отклонили ее, сославшись на давность открытия ученого.

В то время как теоретические исследования в данной области физиологии вызвали сдержанное отношение, практические результаты быстро получали признание. Швейцарский хирург Теодор Кохер из клиники в Берне за свою работу по физиологии, патологии и хирургии щитовидной железы был удостоен Нобелевской премии уже в 1909 г. В тот год Нобелевская премия не случайно «уехала» в Швейцарию. В этой альпийской стране высоко в горах вода бедна многими полезными для организма веществами, в частности иодом, и это приводило к появлению заболевания, названного базедовой болезнью. При этой болезни щитовидная железа разрастается, сдавливая трахею и причиняя множество других неудобств. Хирург-

ги XIX в. пытались лечить эту болезнь наиболее естественным для них способом — путем вырезания зоба. К сожалению, операции часто заканчивались смертью пациента.

В сложившейся обстановке Теодор Кохер занялся в 1883 г. хирургией щитовидной железы. Он повторил исследования своих предшественников и поставил новые эксперименты, которыми убедительно доказал, что полное удаление этого органа ведет к неминуемой гибели. Кохер исследовал физиологию щитовидной железы и показал ее значение в общем обмене веществ в развитии организма. С помощью экстрактов из щитовидной железы он смог вылечить неправильно оперированных пациентов и поддерживать их в хорошем состоянии.

В конечном счете швейцарский хирург разработал целостный метод оперативного лечения щитовидной железы. Кохер убедительно доказал, что при операции щитовидной железы для сохранения ее функции необходимо оставить часть железы. Хирург собственноручно прооперировал несколько тысяч человек, а общее число тех, кому помог разработанный им метод лечения, не поддается учету.

В 80-е годы прошлого века благодаря работам французского ученого Шарля Броун-Секара исследователи направили свое внимание на некоторые органы, которые были похожи на железы, но не имели отводного канала. Единственной их связью с организмом служила кровеносная система. Так зародилась концепция о железах внутренней секреции.

Было известно, что поджелудочная железа — это железа внешней секреции. В ней происходит синтез пищеварительных ферментов, которые попадают в сок поджелудочной железы по специальному каналу, достигающему двенадцатиперстной кишки. Но еще в 1869 г. Пауль Лангерганс показал, что при гистологическом исследовании поджелудочной железы наблюдаются группы клеток, которые не связаны с остальной частью панкреатической ткани и не имеют связи с организмом посредством отводного канала. Эти группы клеток рассеяны равномерно по всей железе в виде своеобразных островков. Под этим названием они и остались в науке: островки Лангерганса.

Врачи давно заметили, что при анатомировании людей, умерших от диабета, находят изменения в подже-

лудочной железе. В 1901 г. русский врач Л. В. Соболев доказал, что островки Лангерганса играют роль желез внутренней секреции и потому очень важны для углеводного обмена. К сожалению, полная ясность в этот вопрос была внесена лишь спустя три десятилетия. В то же самое время, в конце прошлого века, Кохер успешно лечил своих пациентов экстрактами из щитовидной железы. Многие ученые пытались лечить диабет с помощью экстрактов из поджелудочной железы, но результаты были неубедительными и противоречивыми.

Молодой канадский ученый Фредерик Грант Бантинг первым понял, почему нельзя получить эффективно действующую вытяжку из поджелудочной железы. По существу, этот орган состоит из двух желез. Одна вырабатывает ферменты, разлагающие белки, другая — гормон белкового характера. При растирании в порошок железы, считал Бантинг, трипсин смешивается с гормоном и уничтожает его. Он решил воспользоваться экспериментальным методом, разработанным в 1901 г. Л. В. Соболевым, который установил, что при перевязке отводящего канала атрофируется вся ткань поджелудочной железы, за исключением островков Лангерганса. Это позволяло надеяться на возможность получения чистого экстракта с высоким содержанием гормонов.

В 1921 г. Бантинг преподавал фармакологию в Торонтском университете. Там он сблизился с профессором физиологии Джоном Джеймсом Рикардом Маклеодом, познакомил его со своими идеями и получил доступ в его лабораторию. Ассистентом Бантинга был Чарлз Бест. Первые эксперименты, проведенные на собаках в мае 1921 г., завершились успешно. Наконец был создан метод выделения гормона поджелудочной железы в чистом виде. Этот гормон синтезируется в островках Лангерганса. По-латински островок — «инсула»; поэтому еще в 1916 г. Шарпли Шейфер предложил назвать этот гормон инсулином. Вещество, которое ученые тщетно искали в течение нескольких десятилетий, наконец было открыто, и 23 января 1922 г. 14-летний юноша был выведен из диабетической комы и спасен благодаря инъекции инсулина. За время, прошедшее с тех пор, число спасенных исчисляется миллионами.

В 1923 г. Нобелевский комитет при Каролинском институте объявил о присуждении премии по физиологии и медицине Бантингу и Маклеоду за открытие и

выделение инсулина. Это решение вызвало бурную реакцию в мире ученых. Большинство специалистов, которые внимательно следили за этой работой, заявили, что Маклеод не принимал участия в решающих экспериментах и даже вообще отсутствовал в это время в лаборатории. Никому не известный Бест вообще не был выдвинут на Нобелевскую премию. Ситуация еще более осложнилась, когда один из сотрудников лаборатории заявил, что схема эксперимента была предложена одним студентом-третьекурсником, которому не разрешили принять участие в работе, сославшись на его недостаточную квалификацию.

Никто из лауреатов не присутствовал на торжественной церемонии в Стокгольме, и премии были переданы английскому послу. Бантинг демонстративно разделил причитающуюся ему долю денежной премии с Бестом, а Маклеод отдал половину своей суммы Дж. Колипу, сотруднику лаборатории, разработавшему наиболее эффективный метод выделения инсулина.

В 1929 г. почти одновременно Адольф Бутенандт в Германии и Эдуард Аделберт Дойзи в США выделили кристаллическое вещество, оказывающее воздействие на половые функции, которое сначала было названо фолликулином, а впоследствии — эстроном. В 1930 г. Гью Фредерик Мериан в Лондоне выделил новый половой гормон — эстрадиол. Вскоре после этого Бутенандт подтвердил это открытие и показал связь эстрадиола с эстроном. Методом спектрального анализа немецкий ученый в 1932 г. показал, что оба половых гормона относятся к стероидам. В 1931 г. из так называемого «желтого тела» в яичниках было выделено в кристаллическом виде новое вещество. Три года спустя Бутенандт получил его в чистом виде и назвал прогестероном. Тем временем Бутенандт и независимо от него Леопольд Ружичка открыли и исследовали первый мужской половой гормон — андростерон. Он оказался из той же группы стероидов.

Все открытия подвергались проверке методом химического синтеза. Вновь синтезированные гормоны обычно давали тот же эффект, что и природные вещества. Однако андростерон, экстрагированный из железы, оказывал более сильное действие по сравнению с синтезированным гормоном. Противоречие удалось разрешить в 1935 г., когда Эрнст Лакер установил, что существует

второй мужской половой гормон — тестостерон, имеющий очень высокую активность. Вскоре он был синтезирован почти одновременно Бутенандтом и Ружичкой.

Исследования Бутенандтом стероидов, и в частности половых гормонов, создали ему большой авторитет в ученом мире. В 1939 г. ему совместно с Ружичкой была присуждена Нобелевская премия по химии.

Как мы уже рассказывали (см. с. 193), руководство нацистской Германии запретило Бутенандту получать премию. Лишь десять лет спустя Бутенандт смог наконец приехать в Стокгольм, где ему были вручены золотая медаль и диплом лауреата. Однако денежная премия была возвращена в Нобелевский фонд.

В 30-е годы Филип Шоуолтер Хенч из клиники Майо в Рочестере (шт. Нью-Йорк) установил, что при беременности или заболевании желтухой в легкой форме подавляются симптомы некоторых ревматических заболеваний. Ученый совершенно правильно предположил, что это облегчение, возможно, вызывается наличием какого-то стероидного вещества (подобного половым гормонам), выделяемого при беременности, или желчными кислотами, которые задерживаются в организме человека при желтухе. Хенч пытался лечить ревматоидный артрит стероидами, которые Эдуард Кендалл, его коллега по клинике Майо, выделял из коры надпочечников (кортекса). Однако лишь спустя два десятилетия в этой области удалось добиться успеха.

Вначале считалось, что из кортекса выделяется гормон, который сразу был назван кортином. Он продлевал жизнь лабораторным животным без надпочечников и помогал людям, страдающим аддисоновой болезнью. Из-за ничтожной концентрации кортина в коре надпочечников работа с ним была очень затруднена, и только в середине 30-х годов стало ясно, что это — комплексное вещество. Первым достиг успеха Тадеуш Рейхштейн в Базеле. Он имел большой опыт в исследовании органических природных веществ, ибо более десяти лет занимался выделением из кофе ароматических субстанций — веществ с исключительно сложной структурой. Рейхштейн выделил три гормона со стероидной структурой, которые оказывали положительное воздействие на животных с удаленными надпочечниками. В то же время Кендалл выделил четвертый гормон. Всего таких активных веществ оказалось шесть. Наиболее известен из них

кортизон, являющийся ценным лекарством. Наряду с ним были открыты другие соединения, представляющие собой промежуточные продукты биосинтеза, которые не относятся к числу биологически активных.

Дальнейшие исследования показали, что эти шесть гормонов (кортикостероидов), несмотря на химическое сходство, значительно отличаются по своему физиологическому воздействию. Одни регулируют метаболизм сахара и биоэнергетику организма, а также температуру тела. Другие — деятельность почек, выделение солей и общий водно-солевой баланс в организме. Большая часть результатов, касающихся физиологического воздействия указанных гормонов, была получена Кендаллом и его сотрудниками. Они вместе с группой Рейхштейна подробно исследовали кортизон, который оказался очень эффективным лечебным препаратом. После выделения кортизона в чистом виде и особенно после того, как Рейхштейн нашел способ его получения в больших количествах из растительных стероидов, стало возможным проверить идею Хенча о взаимосвязи между наличием стероидов в организме и ревматическими заболеваниями. Подобные идеи высказывал и Ганс Селье в Канаде. Начатые им в 30-е годы эксперименты были закончены в 1949 г., в том же году были опубликованы результаты.

Кортизон действительно давал потрясающий эффект. Инвалиды, обреченные на неподвижность, за короткое время вставали на ноги. К сожалению, вскоре наступило разочарование. Инъекции кортизона приводили к неприятным последствиям — нарушался эндокринный баланс, например у женщин начинала расти борода и т. д. Это поняли, однако, позднее, а в период всеобщих восторгов в 1950 г. Каролинский институт принял решение присудить Кендаллу, Хенчу и Рейхштейну Нобелевскую премию по физиологии и медицине за исследование гормонов коры надпочечников, определение их структуры и биологического воздействия.

Хенч провел успешные опыты по лечению ревматических заболеваний инъекциями адренкортикотропного гормона. Это вещество выделяется передней частью гипофиза — главной железы внутренней секреции. Исследованием этой железы, гормоны которой регулируют деятельность надпочечников, щитовидной железы и ряда других органов, занимались многие ученые. Среди них наиболее известен аргентинский ученый Бернардо

Альберто Усай. Еще в 1924 г. он доказал, что гипофиз регулирует выделение инсулина и углеводный обмен.

Гипофиз — малое тело весом 0,5—0,6 г, расположенное у основания головного мозга в костном образовании, называемом «турецким седлом». Декарт считал, что это — место, где находится душа. Современные ученые гораздо более прозаичны, но тем не менее они также придерживаются мнения, что эта область головы играет очень важную роль. Она осуществляет связь между нервной системой и гормональным балансом организма. Еще в XIX в. были известны заболевания, связанные с патологическими изменениями гипофиза. Известный французский физиолог Этьен Марей установил, что при некоторых из них, как и при диабете, в моче наблюдается сахар. Это наводило на мысль о наличии связи между гипофизом и обменом углеводов в организме. Классический эксперимент для исследования функции гипофиза заключался в следующем: у подопытного животного удаляли железу (или часть ее) и наблюдали за его состоянием. Усай, профессор физиологии университета в Буэнос-Айресе, выбрал в качестве объекта исследования крупную лягушку Буфо мариус, в изобилии встречающуюся на берегах Ла-Платы.

Гипофиз человека по величине не больше боба фасоли. У лягушки он значительно меньше, и его трудно увидеть. Потребовались очень тонкие операции, которые аргентинский ученый проводил с большим упорством, и в конечном счете он добился интересных результатов. Усай удалял либо всю железу, либо ее переднюю часть. В опытах на собаках, гипофиз которых также мал — всего лишь с горошину, устранение передней части железы приводило к нарушению углеводного баланса и вызывало повышенную чувствительность животного к инсулину. Собаки и лягушки, оперированные таким образом, проявляли симптомы редко встречающейся у человека болезни. При обратной имплантации гипофиза симптомы исчезали.

Усай считается одним из крупнейших физиологов первой половины нынешнего столетия. Его большой научный авторитет принес ему в 1947 г. звание лауреата Нобелевской премии по физиологии и медицине, которого он удостоен за открытие роли гормона, выделяемого частью гипофиза, в метаболизме сахара. Награду с ним разделили супруги Карл Фердинанд и Гертти Кори, по-

лучившие Нобелевскую премию за открытия в области каталитического превращения гликогена.

Задняя часть гипофиза также синтезирует гормоны. Один из них, окситоцин, стимулирует сокращения матки и другие процессы, связанные с беременностью. Другой гормон, вазопрессин, повышает кровяное давление и регулирует деятельность почек. Еще в 1933 г. эти гормоны были выделены, и началось их исследование. Оказалось, что они состоят из сравнительно небольших молекул, что вселило надежду на возможность определения их строения имеющимися в то время средствами. Этой проблемой занялся профессор Винсент Дю Виньо, биохимик из университета Джорджа Вашингтона в Сент-Луисе (шт. Миссури).

Определение структуры гормонов шло поэтапно, путем постепенного отщепления аминокислот, входящих в цепи этих полипептидов. Это был новый подход для химии, но Дю Виньо справился со своей задачей блестяще. Он создал методы постепенного отщепления аминокислот — одна за другой, — таким образом установив их последовательность, откуда логически вытекала структура гормонов. Пять аминокислот образовывали кольцо, замкнутое прочно связанными атомами серы цистеиновых молекул. К этому кольцу, как хвост, были присоединены еще три аминокислоты; в целом полипептидная цепь имела форму цифры 9.

Следуя традициям, американский биохимик занялся синтезом гормона окситоцина, намереваясь таким путем доказать, что предложенная им структура верна. Вновь шаг за шагом проводились эксперименты до тех пор, пока не удалось нанизать все восемь аминокислот. Испытания на подопытных животных показали, что полученное вещество идентично природному.

Первый успешный синтез полипептидного гормона ознаменовал большой успех новой науки — молекулярной биологии. Это был предвестник будущих достижений. Винсент Дю Виньо, пионер этих исследований, был удостоен в 1955 г. Нобелевской премии по химии; она была присуждена ему за исследования важных для биохимии веществ, в частности серосодержащих аминокислот, а также за первый синтез гормонов задней доли гипофиза — окситоцина и вазопрессина.

В то время как Дю Виньо проводил свои знаменитые исследования гормонов, в Кембридже один молодой ис-

следователь поставил перед собой задачу, которая выглядела безнадежной. 25-летний Фредерик Сенгер решил определить структуру инсулина. Свои опыты он начал в 1943 г. в период, мало подходящий для научных исследований. Сенгеру приходилось делать открытия на каждом шагу, создавая новые методы для определения структуры белковых молекул.

Первым его достижением была разработка способа метить последнюю аминокислоту на том ее конце цепи, где есть аминогруппа; это делалось специальным веществом-красителем. Так было установлено, что инсулин, состоящий из 51 аминокислоты, имеет две полипептидные цепи, одна из которых содержит 31, а другая — 20 аминокислот. Это открытие значительно облегчило работу по исследованию структуры инсулина. Далее Сенгер продолжил изучение этих двух цепей, применяя для их частичного разделения слабые кислоты и ферменты. Полученные фрагменты, содержащие по несколько аминокислот, распределялись методом хроматографии или электрофореза, после чего определялась последовательность аминокислотных остатков в каждом из них. Разгадка этого молекулярного ребуса отняла у английского ученого 13 лет, но в конечном счете он достиг успеха.

В 1956 г. Сенгер уже мог сообщить своим коллегам полную последовательность аминокислот в двух цепях молекулы инсулина. В двух местах эти цепи соединялись так называемыми дисульфидными мостиками (два атома серы в соответствующих аминокислотах, прочно связанные между собой), а в одном месте дисульфидный мостик образовывал петлю. Этих данных было достаточно, чтобы определить пространственную структуру инсулина.

В 1958 г. Нобелевский комитет по химии принял решение наградить 40-летнего Сенгера, тем самым поощряя его на дальнейшие успехи в науке. Премия была присуждена за исследования структуры белков, в частности инсулина. В данном случае указание Альфреда Нобеля — давать премии перспективным молодым ученым — было выполнено в полной мере. После этого Сенгер занялся нуклеиновыми кислотами и в 1980 г. получил вторую Нобелевскую премию по химии — за исследования структуры нуклеиновых кислот. Этот второй успех также явился результатом разработки методов определения последовательности мономеров в молекулах биополиме-

ров — решения задачи, которой Сенгер посвятил всю свою деятельность ученого.

В основании мозга, над гипофизом, имеется некое образование, называемое гипоталамусом, который играет исключительно важную роль в регуляции функций организма. Это мост между нервной и гормональной системами. Еще в середине 50-х годов исследования Г. Харриса, М. Саффра и С. Мак-Кана показали, что гипоталамус регулирует функцию гипофиза, выделяя в кровь специальные вещества. Эти так называемые рилизинг-факторы стимулируют или ингибируют секрецию гипофизных гормонов, которые в свою очередь управляют работой надпочечников, половыми железами и щитовидной железой. Гормоны гипоталамуса выделяются в ничтожных количествах, и для их получения в чистом виде и исследования потребовалось 15 лет. В основном эта работа была выполнена Роже Гийменом в университете Бэйлора в Хьюстоне (шт. Техас) и Эндрю Виктором Шалли в Лаборатории эндокринологии в Нью-Орлеане (шт. Луизиана).

После длительных исследований выяснилось, что в гипоталамусе синтезируются вещества, состоящие из нескольких аминокислот. Исследование этих олигопептидов в конце 60-х — начале 70-х годов уже не было проблемой для биохимии, и вскоре их структуру удалось определить. Более того, были получены искусственные вещества, в десятки раз биологически более активные, а также вещества, которые ингибировали деятельность гормонов гипоталамуса. Это открывало путь для вмешательства в тончайший механизм регуляции функций организма.

В 1960 г. Саломон Берсон и его ученица Розалин Сасмен Ялоу заложили основы радиоиммунологических методов изучения белковых гормонов. Сочетание иммунных реакций с методом меченых атомов позволило чрезвычайно повысить чувствительность химического анализа и изучать гормоны гипоталамуса, несмотря на то что их концентрация в сыворотке крови в десять миллионов раз меньше, чем концентрация других белковых веществ. Берсон умер в 1970 г., но его ассистентка продолжала исследования.

Успехи, достигнутые в изучении гормонов, особенно рилизинг-факторов, были поистине впечатляющими, и в 1977 г. Нобелевский комитет принял решение о при-

суждении Р. Гиймену, Э. Шалли и Р. Ялоу Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Еще в XIX в. физиологи исследовали различные гормоны и в конце концов выяснили в общих чертах механизм гормональной регуляции. Этот механизм включает в себя эндокринные железы, которые связаны с нервной системой и тканями. Было очевидным, что гормон должен каким-то образом вызвать определенные реакции в клетке и, изменяя их физиологию, достигать нужного эффекта. Однако оставалось неясным, как это происходит. В 1957 г. американский биохимик Эрл Уилбур Сазерленд открыл вещество, которое усиливало воздействие адреналина на ход реакции распада гликогена в экстракте печеночной ткани. Это неизвестное вещество сохраняло свою активность даже после нагревания раствора до температуры кипения, когда происходила денатурация белков. Очевидно, это было некое низкомолекулярное и термостойкое соединение. Примерно в то же время было открыто производное аденозинтрифосфата (АТФ) — циклический аденозинмонофосфат (цАМФ). В нем фосфорная группа участвует в образовании кольца, придающего молекуле характерные свойства.

Открытие химиков побудило профессора Сазерленда предпринять вместе со своими сотрудниками обширные эксперименты в Вашингтонском университете. Его группа установила, что образование цАМФ — обязательный этап регуляции ряда процессов в клетке. Оказалось, что именно это вещество служит посредником между средой организма и внутренностью клетки, приводя к преобразованию гормонального сигнала в конкретную ферментативную реакцию. В клеточной мембране Сазерленд обнаружил специфические ферменты из группы так называемых аденилатциклаз. Каждая из них присуща соответствующему гормону. Молекула гормона стимулирует деятельность фермента, который в свою очередь превращает АТФ и цАМФ. Последнее движется внутри клетки, оказывая самое разнообразное воздействие на ее деятельность, например регулирует мышечное сокращение, синтез ДНК, клеточную секрецию и т. д. Из этого широкого спектра функций реализуется, в сущности, только часть, причем эта специфичность определяется аденилатциклазами, каждая из которых реагирует на определенный гормон. Оказывает влияние и специализация самой клетки. Так, мышечное волокно сокра-

щается, клетка железы осуществляет секрецию и т. д.

Открытие Сазерленда перекинуло мост между физиологией и цитологией. Возникло новое направление в исследовании конкретных механизмов регуляции — от уровня организма до клеточного и молекулярного уровней. Оказалось, что полученные данные имеют большое значение для медицины, так как позволяют выявить взаимосвязь ряда заболеваний с нарушениями в ферментативном комплексе, который осуществляет синтез и разложение цАМФ.

Эрл Сазерленд, положивший начало этому новому направлению в науке, был удостоен в 1971 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине за исследования механизма действия гормонов.

Большие успехи в молекулярной биологии не должны создавать впечатление, что с гормонами теперь полная ясность. Известны вещества, функции которых до конца не выяснены, и, кроме того, еще далеко не все гормоны открыты. В этом отношении особенно показателен пример с простагландинами.

В 1936 г. известный шведский ученый Ульф фон Эйлер обнаружил в семенной жидкости человека новый тип биомолекул. Считая, что они выделяются предстательной железой, он назвал их простагландинами. В дальнейшем выяснилось, что их источником являются семенные каналы, но название уже утвердилось. Этими соединениями заинтересовался молодой шведский биохимик Суне Бергстрём. Он приступил к исследованиям и в 50-е годы в числе других ученых определил структуру простагландинов. Оказалось, что это производные арахидоновой кислоты, которая является одним из незаменимых веществ в пище. Используя метод меченых атомов, в начале 60-х годов Бергстрём вместе со своим молодым сотрудником Бенгтом Самуэльссоном путем синтеза простагландинов получили окончательные доказательства.

Удачно используя хроматографию, Бергстрём выделил различные простагландины. В дальнейшем Самуэльссон, продолжив работу, показал механизм их действия. Простагландины были открыты во всех тканях и клетках животных организмов, в связи с чем в обиход вошел термин «тканевые гормоны». Характер их действия оказался довольно-таки разнообразным. Простагландины вызывают сокращение гладкой мускулатуры и участвуют

в регулировании кровяного давления, в работе дыхательной системы, некоторых желез внутренней секреции, в свертывании крови, а также влияют на процесс беременности. Последнее обстоятельство создало возможность для использования простагландинов в качестве противозачаточного средства; их детальные исследования значительно расширили возможности клиницистов в борьбе с различными заболеваниями.

Среди ученых, занимавшихся исследованием простагландинов, был и английский биохимик Джон Вейн. Он пришел к их изучению в поисках механизма лечебного действия аспирина и других подобных веществ. Ацетилсалициловая кислота, известная под торговым названием «аспирин», производится как лекарство с 1876 г., и лишь спустя 95 лет Джон Вейн выяснил механизм действия этого универсального лекарства. Оказалось, что аспирин блокирует синтез ряда вредно действующих на организм простагландинов, чем и объясняется его противовоспалительное действие. В связи с большой распространенностью простагландинов в организме человека аспирин оказался универсальным средством, способствующим улучшению физиологического состояния организма.

Проводившиеся в течение почти 50 лет исследования простагландинов привлекли наконец внимание экспертов из Каролинского института, которые присудили в 1982 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине своим коллегам по институту С. Бергстрёму и Б. Самуэльссону. Награду с ними разделил Дж. Вейн из Британского медицинского фонда Веллкам. В последнее десятилетие на основе тканевых гормонов были созданы медикаменты для облегчения родов и лечения тромбозов, артритов, гипертонии, язвы и многих других болезней. С простагландинами специалисты связывают надежды на дальнейшие успехи медицины.

Клеточная машина

К 50-м годам было установлено, что живая клетка представляет собой совершенную «машину» с исключительно сложной структурой, в которой одновременно происходят тысячи реакций разложения и синтеза, разрушения и созидания, благодаря чему поддерживается структура живой материи. Особый вклад в изучение

клетки внесли Джордж Эмиль Паладе из Рокфеллеровского института медицинских исследований в Нью-Йорке, Кристиан Рене Де Дюв из того же института и Альбер Клод из Брюссельского университета. Общим в их работе является то, что все они отдавали предпочтение методу дифференциального центрифугирования.

Ультрацентрифугу изобрел Теодор Сведберг для проведения исследований в коллоидной химии. Клеточные гомогенаты, с которыми работают биохимики, также относятся к коллоидным растворам, и многие биологи сразу же стали использовать метод центрифугирования. Однако длительное время не удавалось получить удовлетворительных результатов. Метод дифференциального центрифугирования был создан трудом большого числа ученых, среди которых ведущую роль играл Альбер Клод.

Суть метода проста. Клеточный гомогенат, представляющий собой смесь различных компонентов клетки, подвергается последовательному центрифугированию с увеличением числа оборотов. Таким образом создается искусственная гравитация, под действием которой из коллоидного раствора последовательно осаждаются все более легкие частицы. Ускорение, характеризующее вес частицы, измеряется в единицах «сведберг» и обозначается буквой S. Вначале осаждаются неразрушенные клетки. Жидкость переливается в другой сосуд, и центрифугирование продолжается таким же методом. Далее происходит последовательное выпадение в осадок крупных клеточных фрагментов, ядер, митохондрий, лизосом и рибосом. На каждом этапе А. Клод идентифицировал осаждаемые объекты, наблюдая их под микроскопом. Его исследования подтвердили, что с митохондриями связаны процессы окисления. Проведя биохимические эксперименты, он открыл в составе митохондрий некоторые из дыхательных ферментов.

Дальнейшее развитие метода дифференциального центрифугирования связано с именем Кристиана Де Дюва. Кульминацией его работы явилось открытие в 1963 г. лизосом. Это открытие в известной мере произошло случайно. Де Дюв и его сотрудники исследовали субклеточные фракции клеток печени крысы. Неожиданно в гомогенате было обнаружено резкое усиление ферментативной активности. Исследование этого феномена показало, что клетки имеют особые частицы, в кото-

рых содержатся ферменты, способные разлагать различные вещества. Разрыв лизосомы на части приводит к лизису (разрушению клеточных структур или самой клетки) — так в живых системах разрушается старое, чтобы дать место новому. Оказалось, что лизосомы есть практически во всех клетках и что они принимают самое деятельное участие в физиологических и патологических процессах, происходящих в клетке. Возник самостоятельный раздел клеточной патологии, который занимается изучением дефектов в структуре и функции лизосом.

Выделение фракций, состоящих из все более мелких частиц, потребовало использования электронного микроскопа. С помощью этого прибора больших успехов добился Джордж Паладе. Он подробно изучил митохондрии и рибосомы, описал ультраструктуру митохондрий, в частности гребешки на внутренней мембране, названные его именем. Многие годы рибосомы, подробно исследованные им, назывались также «гранулами Паладе». Используя ультрацентрифугу, он выделял субклеточные частицы, после чего искал их в структуре самой клетки, чтобы увидеть эти частицы в первоначальном виде и установить их взаимодействие с другими клеточными органеллами.

Альбер Клод сделал свои крупные открытия еще в 40-е годы. Наиболее активный период в деятельности Паладе и Де Дюва приходится на 50-е годы. В 1974 г. — с заметным опозданием — трое названные ученых были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине. Такая высокая оценка их труда Нобелевским комитетом при Каролинском институте была продиктована большой важностью исследований клетки, заменивших ныне классический биохимический эксперимент с гомогенными растворами. Эти исследования — свидетельство постепенного объединения биохимии с цитологией на уровне молекулярной биологии, когда химический состав и биологическая структура изучаются в комплексе. Именно в таком направлении видится будущее развитие науки о жизни.

В истории физиологии отчетливо прослеживается постепенный переход от исследований животных как целого к исследованиям тканей и экстрактов из них. С одной стороны, это позволило детально изучить процессы обмена веществ, а с другой — привело к потере связи между структурой и функцией. Лишь в 50—60-е годы,

с развитием современных методов исследования, физиологично клетки начали связывать с функциями субклеточных структур. Особенно большие успехи были достигнуты в изучении синтеза белковых веществ, осуществляемого в рибосомах по команде ДНК с помощью различных видов РНК. Теперь предстоит установить, где именно в клетке возникают и другие химические вещества. В настоящее время более значительных успехов удалось добиться в изучении их синтеза.

В то время как процесс разложения углеводов исследован сравнительно давно, их синтез долгое время оставался неразгаданным. Многие видные ученые допускали, что указанные реакции обратимы и сахара создаются так же, как и разлагаются. Лишь в 1949 г. аргентинский ученый Луис Федерико Лелуар, ученик Бернардо Усяя, сделал открытие, которое в корне изменило направление мыслей биохимиков. Он установил, что превращение моносахаридов из одного вида в другой происходит в присутствии какого-то неизвестного вещества. Выделив это вещество, Лелуар определил его химическую структуру. Оно представляло собой фрагмент углевода, связанный с нуклеотидом. Исследования аргентинского ученого показали, что трансформация моносахаридов происходит после их соединения с подобным нуклеотидом. Это делает их активными и реакцию возможной. Далее выяснилось, что с помощью нуклеотидов осуществляется биосинтез таких полисахаридов, как гликоген, крахмал, целлюлоза и т. д.

Эта идея имела большое значение для биохимии. Ученые отказались от представлений об обратимом характере этих реакций. Выяснилось, что разложение и синтез идут разными путями. Впоследствии было установлено, что это относится и к другим группам соединений, в частности к белкам и нуклеиновым кислотам.

Л. Лелуар специализировался в 1936 г. по биохимии у Ф. Г. Хопкинса в Кембридже, в 1944 г. был ассистентом Карла Кори, а затем Бернардо Усяя в Буэнос-Айресе. Восприняв опыт этих крупных ученых, он сумел внести свой собственный большой вклад в биохимию, что и принесло ему в 1970 г. Нобелевскую премию по химии.

Важное место в учении о метаболизме занимает исследование жирных кислот и других соединений, образующих большую группу липидов. Особый интерес представляют стерины, к которым относятся многие физио-

логически активные соединения. Химическая структура этих соединений начала выясняться в начале XX в.; в 1928 г. Генрих Виланд и Адольф Виндаус (Виланду премия была присуждена за 1927 г.) получили Нобелевскую премию по химии за исследования структуры соответственно желчных кислот и холестерина. Было установлено, что у животных и растений имеется большое число стеринов, например витамин D, половые гормоны, гормоны надпочечников и т. д. Некоторые из них были известны довольно давно. Холестерин был открыт еще 200 лет назад в желчных камнях. Однако детали механизма синтеза стеринов начали выясняться лишь после того, как Конрад Эмиль Блох и Феодор Линен применили для изучения цепи биохимических реакций метод меченых атомов.

Исследования этих ученых заложили основы современных представлений о динамике процессов в живых клетках. Фундаментальным открытием — оно было сделано в лаборатории Рудольфа Шёнхеймера в Колумбийском университете — явилось выяснение роли уксусной кислоты как структурного элемента при синтезе холестерина и жирных кислот. Эти исследования в основном выполнены Блохом. В то же самое время Линен в Мюнхенской лаборатории Генриха Виланда (его тестя) также изучал метаболизм уксусной кислоты и открыл ее активированное состояние, которое оказалось предшественником всех липидов человеческого организма. Этот активированный ацетат образуется в ряде процессов обмена веществ.

Работы Блоха и его сотрудников позволили выяснить, как из двууглеродной ацетатной группы получаются длинные молекулы с 30 атомами углерода. Была определена последовательность родственных соединений, близких в химическом отношении, но довольно далеких друг от друга в физиологическом плане. Оказалось, что они имеют общее происхождение и представляют собой просто этапы в цепи биосинтезов. Например, ланостерин выделяется из шерсти овец, а родственный ему холестерин широко распространен в крови и тканях человека. В свою очередь холестерин является предшественником желчных кислот некоторых половых гормонов.

Линен, который работал над теми же проблемами, получил аналогичные результаты. Однако наряду с этим он интересовался и клеточным аспектом проблемы, свя-

зывая его более тесно с обменом веществ и структурой. Кроме того, Линен показал, как может видоизменяться цепь синтезов, в результате чего вместо стероидов получаются терпены, каучуки и другие вещества. В этих реакциях участвуют и активированные изопреновые молекулы.

Биохимические исследования К. Блоха и Ф. Линена во многом способствовали изучению путей биосинтеза в организме одной биологически очень важной группы соединений. Холестерин давно интересовал медицину, так как его отложение на внутренних стенках кровеносных сосудов ведет к их сужению и закупорке. Проблема снятия этих отложений и поддержания кровеносной системы в должном состоянии все еще остается нерешенной. За исследования обмена холестерина и жирных кислот К. Блох и Ф. Линен были удостоены в 1964 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Химия клетки ведет свое начало с середины прошлого века. Одно из первых ее достижений — открытие нуклеиновых кислот. Как говорит само их название, эти кислоты связаны с ядром клетки. Они были открыты в 1869 г. Фридрихом Мишером. Сам он использовал термин «нуклеин», и лишь 20 лет спустя немецкий биохимик Р. Альтман ввел понятие нуклеиновой кислоты.

Свои открытия Мишер сделал, работая в лаборатории известного биохимика Ф. Гоппе-Зейлера. В 1879 г. в этой лаборатории начал исследования нуклеиновых кислот Альбрехт Коссель. Нуклеиновым кислотам и связанным с ними протенам он посвятил более четверти века. В 80-е годы Коссель, проведя успешные эксперименты по гидролизу нуклеиновых кислот, обнаружил, что они содержат аденин, гуанин, фосфорную кислоту и еще какое-то вещество, подобное сахару. В сущности, он открыл первичную структуру этих сложнейших биополимеров.

В клетке нуклеиновые кислоты тесно связаны с белками, имеющими щелочной характер. Коссель отдал много сил и времени их изучению. Оказалось, что они принадлежат к группе протаминов (которые относятся к простейшим белкам) и гистонов.

Исследования Косселя в биохимии происходили в очень важный для нее период — период ее утверждения как науки. Исследуя такие сложные соединения, как нуклеиновые кислоты и белки, ученый открыл ряд

их составных элементов: гипоксантин, аденин, гуанин (являющиеся составными частями нуклеина), а также аминокислотный гистидин. За свои достижения А. Коссель был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине.

В 1936 г. Макс Фердинанд Перуц, молодой австриец, работавший в Кавендишской лаборатории, приступил к исследованию структур гемоглобина методом рентгеноструктурного анализа. Это вещество переносит кислород в кровь и имеет огромное значение для физиологии. Первые рентгенограммы были получены в 1937 г. Объектом исследования служил гемоглобин лошади. Результаты было исключительно трудно интерпретировать, так как они требовали трудоемких вычислений, а ЭВМ тогда еще не существовало. Год за годом Перуц с исключительным терпением продолжал свои эксперименты, поддерживаемый и поощряемый руководителем лаборатории У. Л. Брэггом. В 1953 г. Перуц усовершенствовал метод рентгеноструктурного анализа, что облегчило расшифровку получаемых рентгенограмм. В 1959 г., после более чем двадцатилетней работы, Перуц и его сотрудники смогли наконец продемонстрировать пространственную структуру гемоглобина. В этой работе ему помогали многие ученые. Дж. Бернал научил его, как делать рентгенограммы, а Д. Кейлин, один из крупнейших английских биохимиков нашего века, обеспечил ему доступ в свою биохимическую лабораторию. Крик, Уотсон и Сенгер, будущие лауреаты Нобелевских премий, работали у Перуца и в свою очередь освоили его опыт.

В 1946 г. из английских военно-воздушных сил был демобилизован специалист, участвовавший в разработке радаров. Джон Кендрию, закончивший Кембриджский университет по специальности химика, вернувшись в этот научный центр, начал работать у Перуца. Под влиянием Бернала и Полинга он заинтересовался структурой белков и решил избрать объектом своих исследований небольшую белковую молекулу — миоглобин. Это вещество, родственное гемоглобину, содержится в мышцах. Его молекула, в 4 раза меньшая, чем у гемоглобина, служит своеобразным накопителем для кислорода. Наличием миоглобина объясняется красный цвет мышц. Особенно много миоглобина у морских млекопитающих, которые длительное время остаются под водой и потому нуждаются в большом запасе кислорода в тка-

нях тела; из-за большого содержания миоглобина их мышцы имеют очень темный цвет.

Кендрю и его сотрудники извлекали миоглобин из мяса кашалота и для получения контрастных рентгенограмм обрабатывали его ртутью или золотом. Так как миоглобин имеет сравнительно простую структуру, эта группа довольно быстро добилась успеха — в 1957 г. пространственная структура миоглобина была определена.

В 1962 г. Нобелевские комитеты по химии и по физиологии и медицине приняли решение о присуждении премий ученым, добившимся успехов в определении структуры гигантских биомолекул. Премии по физиологии и медицине были удостоены Фрэнсис Крик, Джеймс Уотсон и Морис Уилкинс за определение пространственной структуры ДНК. Лауреатами премии по химии стали Перуц и Кендрю, открывшие структуру гемоглобина и миоглобина.

Все эти исследования проводились методом рентгеноструктурного анализа, а для сработки результатов использовались первые, еще несовершенные ЭВМ. Сейчас в распоряжении исследователей имеется значительно более совершенная техника, которая дает возможность значительно ускорить исследование структуры биомолекул. В 1967 г. Д. Филипс определил структуру лизоцима. В те же 60-е годы Уильям Хоуард Стайн, Станфорд Мур и Кристиан Бемер Анфинсен установили структуру рибонуклеазы, за что были удостоены в 1972 г. Нобелевской премии по химии. Процесс этот — чрезвычайно медленный, но только через него можно перейти от молекулярных структур к молекулярным комплексам и клеточным субструктурам и объяснить строение живого существа во взаимосвязи с его функцией. Это одна из важнейших задач биологии будущего.

Дальнейший прогресс в исследовании молекулярных комплексов клетки был достигнут благодаря работам Арона Клуга из Лаборатории молекулярной биологии Медицинского исследовательского центра в Кембридже. Клуг сочетал метод рентгеноструктурного анализа с электронной микроскопией.

Клуг начал работать в Кембридже в 1949 г.; здесь он обучился искусству получения рентгенограмм у Розалинд Франклин, внесшей большой вклад в определение структуры ДНК. Желая установить, как нуклеиновая

кислота связывается с протенновыми молекулами, Круг начал с исследования вируса табачной мозаики. Накопленный при этом опыт оказал ему неоценимую помощь впоследствии, когда ученый стал заниматься хромосомами человека. В частности, он интересовался хроматином, составляющим основу хромосом. Во время деления клетки, когда ДНК хромосом находится в деспирализованном состоянии, хроматин различим в микроскоп. Нуклеопротенновая структура хромосом очень напоминает вирусы, которыми Круг уже занимался, что и позволило ему добиться в этой области значительных успехов.

Еще в 1968 г. Круг применил метод рентгеноструктурного анализа в сочетании с математической обработкой данных на ЭВМ. Впоследствии он освоил электронную микроскопию, повысив разрешающую способность метода до 2,8 Å (ангстрем; напомним, что диаметр атома водорода равен 1 Å). При этом Круг получал изображения, не пользуясь такими контрастными веществами, как, например, атомы тяжелых металлов.

При столь высокой разрешающей способности удается получить изображения большинства атомов химических элементов. Таким образом, химик имеет возможность наблюдать непосредственно молекулы и их комплексы. Вероятно, тайная мечта «увидеть» химическую реакцию волновала почти каждого исследователя, занимавшегося данной областью науки. Арон Круг, вплотную приблизившийся к этой заветной цели, был удостоен в 1982 г. Нобелевской премии по химии. Его исследования хроматина пролили луч света на тончайшую структуру генетического аппарата. Это, несомненно, ускорит исследования функции генов и, возможно, сыграет решающую роль в выяснении природы рака и других заболеваний. Рассматривая микромир в электронный микроскоп, специалисты по молекулярной биологии смогут лучше понять, как работает клеточная машина.

XIV НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ

В последние десятилетия XIX в. были достигнуты решающие успехи в изучении строения клеток тканей мозга. Начало этим открытиям положил Камилло Гольджи, профессор из Павии, который создал очень эффективный метод специфического окрашивания нервных клеток. Работая в самых различных областях экспериментальной медицины, он решил использовать для окрашивания препаратов ткани мозга нитрат серебра. Соли серебра, селективно поглощаясь нервными клетками, придавали им черный цвет. Это позволяло хорошо видеть различные отростки нервной клетки, благодаря чему итальянский ученый смог описать мелкие ответвления (дендриты) и крупный отросток (аксон), осуществляющие связь нервных клеток с другими клетками организма.

Гольджи никогда не придавал особого значения этому открытию, и даже не известно точно, когда оно было сделано. Метод окрашивания был принят на вооружение другими учеными, и микроанатомия мозга достигла большого прогресса. В 1891 г. Вильгельм Вальдейер ввел понятие нейрона как основного элемента нервной системы. Согласно его представлениям нейрон — это функциональная единица, состоящая из тела нервной клетки и отростков, которыми она связывается с другими клетками. Эта теория утвердилась в науке ценой больших усилий. Одним из самых убежденных ее противников был Гольджи, хотя теория возникла и развивалась в значительной степени благодаря его экспериментальным методам. Новые данные в подтверждение идей Вальдейера были получены в результате усовершенствования методов приготовления препаратов. Главная заслуга в этом принадлежит испанскому гистологу Сантьяго Рамон-и-Кахалю, который усовершенствовал методы Гольджи. Наряду с нитратом серебра он стал использо-

вать и хлорид золота. Этим соединением он пропитывал даже тончайшие отростки нейронов, делая их видимыми. Так, из хаоса переплетенных нитей и клеток ткани мозга вырисовывалась более ясная картина.

Гольджи описал несколько типов нервных клеток и их отростков. Он установил, что аксоны клеток мозга соединяются со спинным мозгом, осуществляя таким образом связь мозга с телом. Рамон-и-Кахаль провел обширные наблюдения структуры различных частей мозга и нервной системы, нередко исследуя структуры мозга на эмбриональной стадии развития, когда они имеют более простое строение, и это позволило лучше разобраться в устройстве мозга. Оба ученых приобрели широкую известность в начале нашего столетия; их кандидатуры неоднократно выдвигались на Нобелевскую премию. Однако против этого было немало возражений; при этом, в частности, ссылались на то, что Гольджи уже десятилетия не занимается названными проблемами и, в сущности, более известен теперь своими работами по субклеточным структурам. Вместе с тем Рамон-и-Кахаль по-прежнему активно работал и, безусловно, заслуживал высокой награды. Но ведь создателем метода был не он. Перед Нобелевским комитетом при Каролинском институте (который в первые годы более жестко следовал завещанию Альфреда Нобеля) встала сложная дилемма. С одной стороны, некоторые считали, что награждение Гольджи будет первым случаем присуждения премии как своего рода пенсии. С другой стороны, нельзя не отметить заслуги этих исследователей. Наконец, несмотря на колкие реплики, в 1906 г. был достигнут компромисс. Гольджи и Рамон-и-Кахаль получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине в знак признания их работ по исследованию структуры нервной системы.

Однако от выяснения структуры мозга до разгадки его функций было еще очень далеко. Эта задача выглядит отдаленной перспективой и сегодня, несмотря на огромные успехи нейрофизиологии. Как это обычно происходит в науке, исследователи начали с самого простого. Они поставили перед собой цель: понять, как действуют нервные волокна, проводящие импульсы.

Биоэлектричество как явление стало известно еще в конце XVIII в. благодаря опытам Луиджи Гальвани. В начале XIX в. оно было исследовано его соотечественниками Леопольдом Нобили и Карло Маттеучи. К 1843 г.

Эмиль Дюбуа-Реймон уже располагал достаточно совершенной техникой для изучения импульсов, идущих по нервному волокну. Он показал, что это импульс отрицательного электричества. Спустя несколько десятилетий Аларику Фритьофу Холмгрену удалось «подслушать» сигналы нервов с помощью телефона. Эти исследования позволили собрать данные о биоэлектрических явлениях. Генри Пикеринг Боудич установил, что функции нерва, в частности его возбуждение, осуществляются по закону «все или ничего», иначе говоря, сигнал возникает, лишь когда возбуждение достигает определенного порога. Эти результаты получили дальнейшее подтверждение в начале XX в. в работе Кейта Лукаса. Арчибальд Вивьен с сотрудниками исследовали выделение нервом тепла, показав, что при прохождении нервного импульса резко усиливается обмен веществ нервных клеток.

Эти опыты были поставлены в Кембриджском университете, где существовала крупная школа физиологов. После первой мировой войны туда вернулся из госпиталя молодой исследователь, который приступил к изучению нервных путей с помощью самой совершенной техники того времени. Эдгар Дуглас Эдриан, используя электронные усилительные лампы, которые обеспечивали тысячекратное усиление сигнала, смог уловить импульсы единичных нервных волокон — отростков нейрона. Он получил интересные данные о характере и распределении импульсов, которые впоследствии оказались очень ценными при изучении механизма возникновения биоэлектрического импульса.

Эдриан достиг больших успехов в исследовании проводящих путей нервных импульсов, особенно органов чувств. За свои работы он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине. Вместе с ним был награжден один из ветеранов нейрофизиологии — Чарлз Скотт Шеррингтон, исследовавший нейронный механизм рефлексов. Оба ученых получили премию за исследование функций нейронов. Эту проблему они рассматривали с разных сторон, взаимно дополняя результаты друг друга.

Технические усовершенствования обеспечили возможность более глубокого изучения функций нервов — проводников биоэлектричества. После работ Германа Гельмгольца, который в конце прошлого века измерял

скорость прохождения нервного импульса, в нашем столетии исследования этого рода продолжали бурно развиваться. Густав Йотлин установил, что толстые волокна проводят импульсы с большей скоростью. Эдриан открыл, что импульсы выделяются сериями, причем их частота повышается с увеличением силы раздражения. Это наводило на мысль, что нервы, подобно кабелям, состоят из пучков волокон-проводников. Джозефу Эрлангеру и Герберту Спенсеру Гассеру выпало счастье первыми установить сложную структуру нерва. В 1920 г. на конгрессе инженеров в Чикаго демонстрировались новые радиолампы-усилители и усовершенствованные электронные осциллографы, которые спустя два десятилетия после их изобретения Карлом Фердинандом Брауном достигли довольно высокого уровня. Записав с помощью этой техники нервные импульсы с весьма высокой точностью, Эрлангер и Гассер пришли в 1924 г. к выводу, что их сложный характер можно довольно легко объяснить, если принять, что сам нерв состоит из нескольких типов волокон, проводящих электрические импульсы с разной скоростью. Эти двое американских ученых, работавшие в известном Институте Джорджа Вашингтона в Сент-Луисе (шт. Миссури), установили наличие трех типов волокон, которые были обозначены первыми тремя буквами латинского алфавита. Наиболее толстые волокна типа *A* проводят импульсы со скоростью 5—100 м/с, волокна типа *B* — со скоростью 3—14 м/с и волокна типа *C* — со скоростью 0,3—3 м/с.

Эрлангер и Гассер сумели доказать, что отдельные волокна, входящие в состав нерва, служат различным целям. Толстые волокна, передающие импульсы с высокой скоростью, несут команду для быстрого действия мышц. Более тонким волокнам, по которым передается информация от органов чувств, столь высокая скорость не нужна. С наименьшей скоростью переносят импульсы нервные нити, проводящие, например, чувство боли. Это разнообразие — результат миллионов лет эволюции, в ходе которой выживали только существа, наиболее быстро приспособляющиеся к окружающим условиям.

В 1944 г., когда вторая мировая война подходила к концу, комитет при Каролинском институте возобновил свою деятельность; тогда-то премия по физиологии и медицине была присуждена Эрлангеру и Гассеру за открытие высокодифференцированных функций единич-

ных нервных волокон. Работы этих ученых явились крупным шагом вперед в развитии нейрофизиологии — науки, исследующей нервные структуры во взаимосвязи с их функциями.

К 50-м годам были получены наконец результаты, которые бесспорно показывали, как проводится нервный импульс. Еще Дюбуа-Реймон высказывал предположение, что биотоки обусловлены ориентацией молекул в живой клетке. После этого некоторые ученые связывали работу нерва с различными биохимическими процессами в его протоплазме. Постепенно, однако, выяснялось, что нервный импульс связан с мембранными явлениями. Известный физикохимик Вильгельм Фридрих Оствальд еще в 1890 г. высказал мысль, что возникновение электрических зарядов обусловлено различием в проницаемости ионов. В 1902 г. Юлиус Бернштейн, продемонстрировав замечательную интуицию и глубокое понимание проблемы, разработал первую мембранную теорию, которая объясняла появление нервного импульса различием в концентрации ионов на внутренней и внешней сторонах мембраны и изменением ее проницаемости. Эта теория была довольно умозрительной, но время показало, что в принципе она верна. В 1904 г. Эрнест Овертон внес важное уточнение в теорию, предложив механизм образования мембранного потенциала. Он выдвинул гипотезу, что электрический заряд возникает в результате различия концентрации ионов натрия и калия с разных сторон мембраны нервной клетки. Прошло почти полвека, прежде чем эта гипотеза стала научным фактом. В ее утверждение внесли вклад многие исследователи, среди которых особо следует выделить Алана Ллойда Ходжкина и Андру Филлинга Хаксли.

Их успех в значительной степени был обеспечен удачным выбором объекта для исследования. В 1938 г. Ходжкин находился в командировке в известной Морской лаборатории в Вудсхолле (шт. Массачусетс), где познакомился с работой К. Коула и Г. Дж. Кертиса, которые изучали прохождение нервных импульсов по гигантским аксонам кальмаров. Это необыкновенные нервные волокна: их диаметр достигает 1 мм. Такие крупные размеры волокон обусловлены необходимостью быстрого прохождения импульсов, так как кальмары, сепии и осьминоги — активные, быстро плавающие хищники. Поверхность нервного волокна возрастает про-

порционально квадрату линейного увеличения диаметра, и это повышает возможность прохождения импульса. У человека и других позвоночных животных проблема высокой скорости передачи нервных импульсов решена технически более элегантно: их нервные волокна обвиты изолирующей миелиновой оболочкой (из мягкотных нервных волокон), причем мембрана нервов открыта в так называемые перехваты Ранвье. Импульс проходит только в тех участках, где нет изоляции, и распространяется не по всей длине нерва, а движется по нему скачкообразно; одновременно с этим происходит усиление импульса.

Подобная структура выглядит значительно более совершенной, но также очень трудна для исследования. Счастливое открытие зоолога Дж. Йонга, который в 1936 г. установил, что огромные аксоны кальмаров вполне можно исследовать невооруженным глазом, предоставило нейрофизиологам замечательный объект для исследований. Ходжкин и Хаксли с помощью различных экспериментов подтвердили гипотезу Овертона. Один из таких опытов, задуманный П. Бейкером и Т. Шоу и проведенный ими вместе с Ходжкином в 1961 г., наилучшим образом иллюстрирует мембранную теорию.

Они взяли аксон кальмара и выдавили его из протоплазмы. После этого вводили в нервное волокно различные растворы и проверяли, как концентрация ионов сказывается на передаче нервного импульса. Было установлено, что мембранный потенциал зависит от концентрации калия и натрия снаружи и внутри нервного волокна. В плазме аксона концентрация ионов калия в 20—50 раз больше, чем в межклеточной среде, где преобладают ионы натрия и хлора. Это обусловлено тем обстоятельством, что мембрана свободно пропускает калий, но очень слабо — натрий. При возбуждении, когда проходит импульс, мембрана становится проницаемой и для натрия. В состоянии покоя на разных сторонах мембраны накапливаются электрические заряды разных знаков, что и обуславливает возникновение его мембранного потенциала. При возбуждении происходит деполяризация: проникновение ионов натрия в нервную клетку нейтрализует потенциал, а затем приводит к инверсии зарядов. В состоянии покоя внутренняя сторона клеточной мембраны заряжена отрицательно по отноше-

нию к внешней, а в момент возбуждения — положительно.

После того как импульс проходит, вступает в действие мембранный ферментативный комплекс, так называемый «натриевый насос», который восстанавливает исходное состояние нервной клетки и подготавливает ее для следующего импульса. Это занимает несколько миллисекунд, и поэтому импульсы не могут следовать друг за другом непрерывно. Мембранная теория Ходжкина и Хаксли, описывающая процессы генерации и передачи нервных импульсов, явилась крупным достижением физиологии XX в. Основные подтверждения в ее пользу были получены в 50-е годы, а в 1963 г. А. Ходжкину и А. Хаксли вместе с Джоном Эклсом была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине. (Интересно отметить, что Андру Хаксли — внук известного естествоиспытателя Томаса Хаксли, одного из соратников Дарвина, брат крупного биолога Джулиана Сорелла Хаксли и писателя Олдоса Хаксли.)

Изменение электрических зарядов приводит к возникновению в нервных клетках локальных токов и появлению волны возбуждения, т. е. нервного импульса. В организме этот импульс всегда распространяется от рецепторов к мозгу, а от него — к различным органам тела. Природа изобрела замечательный механизм, обеспечивающий прямолинейность проведения нервного сигнала и контроль за ним. Это своеобразное реле, которым заканчивается нерв, Шеррингтон назвал синапсом («связью»). В точке соприкосновения нерва с другим нервом или мышцей, железой и т. д. электрический сигнал преобразуется в химический. Возбужденная мембрана выделяет вещества-медиаторы, которые диффундируют к соседней мембране. Химическое воздействие возбуждает другой нерв, порождает новый электрический импульс. В синапсе импульс распространяется только в одном направлении. Химическое действие может не только возбуждать, но и подавлять нервный импульс, что очень важно для работы мозга. Исследование химических медиаторов началось в первые десятилетия нашего века. Это были первые шаги в чрезвычайно сложной области психохимии, которая сегодня составляет одну из увлекательнейших глав физиологии.

Химия мозга

Ученые, занимавшиеся исследованием биоэлектрических явлений в нервной системе, считали совершенно естественным, что нервы, подобно телеграфным кабелям, осуществляют связь как между собой, так и с различными органами тела. В начале века, однако, обнаружилось, что в работе нервной системы принимают участие химические вещества. В 1904 г. Томас Рентон Эллот выделил из сердцевинны надпочечников адреналин — вещество, которое оказывало на организм такое же воздействие, как и возбуждение симпатической нервной системы. Исследователь предположил, что это соединение вырабатывается в окончаниях нервных волокон симпатической нервной системы. Через десять лет, в 1914 г., Генри Халлетт Дейл опубликовал результаты исследований ацетилхолина. По своему воздействию это вещество напоминало возбуждение парасимпатической нервной системы, но оно в отличие от адреналина не обнаруживалось в теле, и это весьма затрудняло исследования.

Такие результаты привели ученых к мысли, что нервное возбуждение может вызываться определенными химическими соединениями, своеобразными переносчиками возбуждения. Эти гипотезы утвердились лишь в 1921 г., когда Отто Лёви поставил простой, но довольно своеобразный эксперимент. Изолировав и поместив в раствор сердце лягушки, он с помощью маленькой трубочки соединил его с сердцем другой лягушки. Раздражение первого сердца вызывало сокращение второго, что указывало на выделение в раствор какого-то вещества, способного вызывать нервные импульсы. Оно присутствовало в ничтожной концентрации, поэтому его выделение и определение было сопряжено с большими трудностями. Лёви и его сотрудник Э. Навратил открыли растительные соединения, тормозящие разложение парасимпатического вещества, что дало возможность установить его природу: это был хорошо известный ацетилхолин.

В дальнейшем указанное соединение было обнаружено и в других органах. Лёви и Навратил показали, что существует специфический фермент холинэстераза, который вызывает быстрое разложение ацетилхолина, и поэтому последний встречается в минимальных количествах. На этом этапе исследований большую роль сыграв

ли работы Г. Дейла. Используя метод, созданный Алексеем Васильевичем Кибяковым и независимо Вильгельмом Фельдбергом и Джоном Гэддамом, Дейл показал, что ацетилхолин образуется и в нервных связях различных структур нервной системы. Это вызвало оживленные дискуссии, так как впервые был поставлен вопрос о том, связана ли передача импульсов в нервной системе с химическими веществами.

Хотя, как уже говорилось, ацетилхолин выделяется в нервных окончаниях в ничтожно малых количествах (около одной стотысячной миллиграмма), Дейл и его сотрудники смогли показать, что он всегда возникает при передаче нервного импульса в синапсах (в местах соединения двух нервов или нервного волокна с рабочими органами, такими, как мышца, железа и т. д.).

Открытия Лёви, работавшего в Институте фармакологии в Граце (Австрия), и Дейла — из Национального института медицинских исследований в Лондоне положили начало нейрохимии, из которой в дальнейшем выросла психохимия. Это ознаменовало революционный переворот в изучении нервной системы. Новые идеи утвердились в результате упорной борьбы и получили признание в решении Каролинского института присудить в 1936 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине Г. Дейлу и О. Лёви за исследования химической природы передачи нервных импульсов. Это знак уважения к трудам двух ученых, которые в то время вместе работали в лаборатории Э. Г. Старлинга в Лондоне и сохранили тесные контакты в дальнейшем.

Открытие химических медиаторов оказало большое влияние на исследования в области нейрохимии. Вслед за адреналином и ацетилхолином был выделен ряд других веществ, участвующих в передаче нервных импульсов. К ним относятся такие соединения, как норадреналин, гистамин, серотонин и др. Этими открытиями заинтересовались многие фармакологи, так как изучение медиаторов позволило объяснить действие ряда токсичных и лекарственных препаратов и способствовало поиску новых лекарств. Итальянский химик Даниеле Бове, работавший почти 20 лет у Эмиля Ру в Пастеровском институте в Париже, посвятил свои научные исследования веществам, блокирующим действие химических медиаторов.

Еще в 1937 г. Бове получил первый антигистаминовый

препарат, на основе которого впоследствии были разработаны другие соединения для клинического применения. В дальнейшем Бове занялся алкалоидами, блокирующими действие нервных импульсов.

Алкалоиды отличаются довольно сложной структурой, и их вытяжки из природных веществ имеют непостоянный состав и дают непредсказуемый эффект. Это значительно затрудняет их клиническое использование. Бове и его группа постепенно научились синтезировать вещества с более простой структурой, которые оказывали такое же действие, что и природные алкалоиды, не давая при этом нежелательных побочных эффектов. Например, на основе кураре были созданы препараты, эффективно парализующие мышцы и значительно облегчающие хирургические операции.

От экспериментальной нейрофармакологии Бове пришел к психофармакологии. Эта сравнительно новая область науки изучает химические процессы, происходящие в центральных структурах нервной системы. С помощью соответствующих веществ стало возможным непосредственное вмешательство в деятельность мозга. Бове, в частности, занимался диэтиламином лизергиновой кислоты, более известной под сокращенным названием «ЛСД». Это соединение, случайно открытое одним швейцарским химиком, оказывает исключительно сильное воздействие на психику. Сегодня оно используется даже как наркотик. Открытие подобных веществ создает угрожающую перспективу манипуляции сознанием человека с помощью различных препаратов. К счастью, человечество еще далеко от этого, но в лечении различных заболеваний химическим путем психофармакология уже имеет великолепные достижения.

В 1957 г., когда стали намечаться пути развития этой области, Бове была присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине за открытия, связанные с изучением механизма действия синтетических соединений лекарственных препаратов.

Изучением химических механизмов передачи нервных импульсов занимался и австрийский ученый Дж. Кэрью Эклс, ассистент Шеррингтона, многие годы работавший в Оксфордском университете, а затем в Австралии, Новой Зеландии и США. С помощью микроэлектродов Эклс исследовал механизм передачи нервных импульсов через синапсы. Измеряя мембранный потенциал, Эклс

показал, как возникает возбуждение и торможение под действием химических медиаторов. В момент, когда химическое вещество оказывает стимулирующее действие, в нервном волокне возникает характерный импульс, который передает информацию дальше. Эти точные и тонкие исследования были сделаны приблизительно в то же время, когда Ходжкин и Хаксли разрабатывали мембранную теорию передачи нервного импульса. Исследования Эклса в значительной степени содействовали выяснению общей картины, так как он занимался мембранным потенциалом в области синапсов — своеобразных реле живого организма. В 1963 г. Эклс вместе с Ходжкином и Хаксли были удостоены Нобелевской премии.

Исследования Дейла и Лёви в 20-е годы просто привели к идее о химических механизмах передачи нервных импульсов. В дальнейшем Эклс выяснил некоторые элементы этого процесса, в частности возникновение мембранных потенциалов. Новым этапом было исследование на ультрамикроскопическом уровне процессов в синапсах в сочетании с изучением биохимических механизмов, что создало довольно целостное представление об этих явлениях.

Один из ассистентов Эклса продолжил начатые им в Сиднее исследования, углубив представления об электрофизиологических явлениях в синапсах, связывающих моторные нервы с мышечными волокнами. Это Бернард Кац, немецкий эмигрант, проработавший несколько лет у Арчибалда Вивьена Хилла в Лондоне, а в 1939 г. переехавший в Сидней к Эклсу, чтобы заняться там исследованием процессов в нервно-мышечных соединениях. В 1946 г. он вновь возвратился к Хиллу и несколько лет спустя стал заведовать кафедрой биофизики Лондонского университета, не прекращая в течение всего этого времени исследований нервно-мышечных процессов.

В 1946 г. Ульф фон Эйлер (Эйлер-Хельпин), новый представитель большой династии ученых, отец которого, Ханс Эйлер-Хельпин, был лауреатом Нобелевской премии по химии в 1929 г., сделал интересное открытие. Он установил, что норадреналин служит медиатором для симпатической нервной системы. Вместе со своими сотрудниками Эйлер обнаружил, что на конце нервного волокна в синаптической мембране образуются небольшие гранулы, в которых синтезируется и хранится химический медиатор. Достигая поверхности мембраны, гра-

нулы освобождают вещество-посредник, которое проникает на расстояние 200—500 Å к мембране следующего нерва. Именно так осуществляется химическая передача импульса.

Джулиус Аксельрод из Нью-Йорка выяснил дальнейшую «судьбу» медиатора. Он показал, как это вещество инактивируется в результате воздействия специального фермента. После этого медиатор возвращается обратно и вновь попадает в гранулу, готовый к новому импульсу. Оказалось, что природа выработала быстрый, эффективный и экономичный способ работы синапсов.

Химическая передача нервных импульсов оказалась исключительно важной проблемой. Установлено, что некоторые психические заболевания связаны с нарушениями в медиаторах и синапсах. Дальнейшие исследования показали, что мозг использует для передачи сигналов еще более сложные вещества, и, в сущности, он напоминает гигантскую железу. Разгадка тайн биохимии мозга, несомненно, имеет особое значение для клинической медицины и экспериментальной физиологии. Д. Аксельрод, У. Эйлер и Б. Кац, внесшие большой вклад в исследование этих вопросов, были удостоены в 1970 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине. Она была присуждена им за исследования медиаторов и их роли в передаче нервных импульсов.

Мозг и поведение

В 30-е годы в исследовании высшей нервной деятельности наметилось новое направление, которое постепенно оформилось в самостоятельную науку. Речь идет об этологии, изучающей поведение животных в естественных условиях. По-гречески «этнос» означает «поведение, характер, нрав». Отличительная черта этой науки — использование полевых методов. Как и естествоиспытатели прошлого, этологи проводят дни и недели на природе, внимательно наблюдая за животными в естественных условиях и получая этограммы, фиксирующие с помощью киносъемки различные моменты поведения животных. Особенно большие заслуги в этой области принадлежат трем ученым. Это Карл фон Фриш, Конрад Лоренц и Николас Тинберген.

Имя профессора Фриша навсегда останется связанным с пчелами. В течение многих лет он исследовал слож-

ные взаимоотношения между многочисленными обитателями ульев, пытаясь проникнуть в тайные законы, управляющие этим обществом. Столь высокая организация невозможна без сложной системы коммуникации. Фриш поставил перед собой задачу расшифровать язык этих насекомых и добился своей цели.

Прежде всего он пометил пчел, чтобы можно было различать их. Повсюду вокруг улья исследователи расставляли мисочки с сахаром, о которых тотчас же становилось известно всему улью. Фриш заметил, что, обнаружив сахар, пчела быстро возвращается в улей и исполняет своеобразный танец, которым уведомляет остальных пчел о местонахождении лакомства. Этот танец рассказывает обо всем: расстоянии до объекта, направлении на него и о положении Солнца, которое служит ориентиром. Аналогичную информацию получают пилоты перед вылетом к определенной цели, так что принципы навигации одинаковы для всех. Следуя полученным указаниям, пчелы вылетают и быстро находят источник питания.

Эти проведенные на раннем этапе исследования показали, что в поведении животных весьма разнообразно проявляются примитивные рефлексy, которые были исследованы еще в XIX в. Впоследствии Лоренц и Тиннберген рассматривали более сложную картину поведения многих видов птиц, млекопитающих, рыб и насекомых. Они установили, что во многих случаях поведение животных определяется врожденными инстинктами, причем под влиянием разных ключевых стимуляторов проявляются различные его элементы. Обычно определенная ситуация играет роль сигнала, который «отключает» механизм торможения в мозгу и приводит в действие сложный комплекс инстинктивных реакций. Сигналами могут служить звуки, запахи, а также морфологические признаки, связанные с формой и окраской животных.

Наряду с этим животные наделены своеобразным языком, с помощью которого они обмениваются информацией. Это дает им возможность обучаться в пределах их способностей, развивать новые формы поведения и более гибко реагировать на изменения в окружающей среде. Взаимосвязь между врожденным и приобретенным — проблема, которая издавна интересовала исследователей психической деятельности и которая в этологии решается сравнительно легко и однозначно. Просто-напросто жи-

вотные, как и люди, имеют психику, хотя и более элементарную.

Имена Фриша, Лоренца и Тинбергена значились в списках кандидатов на Нобелевскую премию еще в 50-х годах. Однако эксперты Каролинского института, преимущественно медики, считали, что исследования указанных специалистов в области зоологии вряд ли можно «втиснуть» в рамки медицины и физиологии. Их мнение изменилось лишь после того, как стало понятно, что животные — удобная модель для исследования сложной психики человека. Совершенно очевидно, что этологи во многом способствуют развитию психологии вообще, помогая ей найти новый подход к проблемам. Поэтому в 1973 г. Каролинский институт наконец принял решение о присуждении К. Фришу, К. Лоренцу и Н. Тинбергену Нобелевской премии по физиологии и медицине за создание и развитие новой научной дисциплины — этологии.

Важным этапом в развитии нейрофизиологии стали исследования английского ученого Чарлза Скотта Шеррингтона в начале XX в. Соединив данные различных авторов со своими собственными экспериментальными результатами, он глубоко исследовал нейронный механизм рефлексов — самых элементарных актов поведения.

Исследования анатомов позволили в общих чертах понять строение нервной системы. Вершиной достижений в этой области были работы Камилло Гольджи и Сантьяго Рамона-и-Кахаля, заложивших основы нейронной теории. Было установлено, что в спинном и головном мозге на различных уровнях имеются комплексы нейронов, соединенных между собой отростками. Это — серое и белое вещество (нервные клетки и связывающие их нервные волокна).

В 1893 г. Шеррингтон решил разобраться, как осуществляется простой рефлекс, возникающий при постукивании невролога по колену резиновым молоточком. Он выяснил, каким путем сигналы раздражения доходят от рецептора к нервному центру, откуда по двигательному нерву поступают команды к мышцам. После этого успеха Шеррингтон перешел к изучению более сложных рефлексов, реализующихся в более высокоорганизованных участках мозга. Он исследовал нервную регуляцию ходьбы, бега и других функций организма. Результаты своих исследований Шеррингтон обобщил в монографии,

изданной в 1906 г. По мнению его коллег-современников, этот труд можно было сравнивать лишь с работами Павлова в данной области. Английский ученый исследовал особенности проведения возбуждения в рефлекторной дуге и выяснил, что она состоит из афферентных нейронов, воспринимающих раздражение, промежуточных нейронов, обрабатывающих информацию, и эфферентных нейронов, посылающих команды к рабочим органам. Он установил однонаправленность проведения возбуждения в синапсе и наличие синаптической задержки. Открыл явления взаимодействия рефлексов, их облегчения, конвергенции и т. д.

Еще в 1902 г. Шеррингтона выдвигали на Нобелевскую премию, однако он был удостоен этой награды лишь в 1932 г. в возрасте 75 лет. Он разделил Нобелевскую премию с Эдгаром Дугласом Эдрианом. Шеррингтон исследовал нейроны, а его более молодой коллега — распространение нервных импульсов. Оба ученых рассматривали проблему рефлексов, но с противоположных направлений.

Большой вклад в изучение рефлекторных механизмов поведения внесла школа советских физиологов. В 20-е годы И. П. Павлова повторно выдвигали на Нобелевскую премию, и, хотя он не получил ее, этот факт, безусловно, свидетельствует о высокой оценке его достижений. Большие заслуги в изучении координации рефлексов принадлежат советскому физиологу Алексею Алексеевичу Ухтомскому, который в 1931 г. получил премию имени В. И. Ленина за созданную им теорию доминанты. Эта теория описывает взаимодействие нервных центров, и особенно случаи, когда какой-либо из них, имеющий повышенную активность, доминирует над другими.

В первые десятилетия нашего века португальский нейрохирург Антонио Каэтану ди Абреу Фрейриди Эгаш Мониш приобрел известность благодаря созданному им методу радикального лечения ряда психических заболеваний. В своей клинике в Лиссабоне он детально разработал методику так называемой префронтальной лейкотомии (разрез белого вещества переднего мозга). Такое хирургическое вмешательство эффективно излечивало различные психические заболевания, связанные с депрессией, невротами страха, навязчивыми идеями, манией преследования и многими случаями шизофрении. Радикальная операция (часто ее называют «лоботомией») по-

зволюла восстановить до приемлемого уровня психику людей, находившихся в состоянии полной инвалидности. Когда было невозможно радикально излечить пациента, лоботомия по крайней мере помогала уменьшить его страдания.

Эташ Монини помог тысячам людей вернуться к нормальной жизни, и в 1949 г. он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине. Вместе с ним был награжден швейцарский физиолог Вальтер Рудольф Гесс, который исследовал мозг с помощью инструмента значительно более тонкого, чем хирургический скальпель.

В 1928 г. Гесс занялся исследованием различных структур мозга путем электрического раздражения. В то время он был уже известным физиологом, специализировавшимся у таких светил, как Ленгли, Шеррингтон, Старлинг, Хопкинс, Дейл и другие. В 1917 г. стал директором Физиологического института в Цюрихе. Это обеспечило ему значительную свободу в исследовательской деятельности, которую он использовал в полной мере.

Швейцарский ученый разработал метод вживления электродов в различные структуры мозга (главным объектом его исследования был гипоталамус), что позволило изучать их функции и реакции. Во время своей Нобелевской лекции в 1949 г. Гесс показал фильм, продемонстрировавший поведение подопытных кошек с вживленными в мозг электродами; по желанию экспериментатора животные шипели и бросались на воображаемого врага, успокаивались, засыпали, просыпались, занимались поисками пищи и т. д. Гесс вводил электроды в средний и промежуточный мозг — в две из пяти частей головного мозга, регулирующих ряд физиологических процессов и элементарных реакций поведения. Созданный им метод открыл широкую область для исследований, в которую сразу же устремились многие ученые. Особых успехов добился здесь Хосе Мануэль Родригес Дельгадо. Как истинный испанец, он пренебрег кошками и занялся быками, управляя ими с помощью имплантированных электродов лучше самых знаменитых тореадоров.

Развитие нейрохирургии привело к интересному открытию, пролившему свет на работу обоих полушарий головного мозга. В 60-е годы в целях борьбы с эпилепсией стали перерезать мозолистое тело — пучок нервных во-

локон, связывающих полушария головного мозга. После такой операции больные на первый взгляд не отличались от здоровых людей. Но профессор психологии Калифорнийского технологического института Роджер Сперри высказал предположение, что эта процедура далеко не безобидна. Уже при первых своих наблюдениях в 1968 г. он заметил, что у пациентов с «расщепленным мозгом» в буквальном смысле левая рука не ведает, что делает правая.

Сперри предпринял обширную серию экспериментов, используя самые различные психологические тесты. Его целью было исследовать, как реагируют оба полушария на воздействие света. У нормальных людей это трудно выяснить, но при лечении эпилепсии трудности отпадают. Сперри показал, что после рассечения мозолистого тела мозга процессы в каждом полушарии протекают независимо. Он доказал, что каждое полушарие мозга выполняет свои собственные функции: левое ответственно за речь, письмо и счет, правое — за восприятие пространственных взаимосвязей и интуитивное распознавание окружающих предметов. Поскольку нервные пути пересекаются, правое полушарие управляет левой половиной тела, а левое — правой. Поэтому, если оперированный человек касается левой рукой какого-либо предмета, то он его узнает, но не может назвать. Необходимо, чтобы на помощь пришла правая рука — тогда информация от осязания преобразуется в левом полушарии в словесное описание. В дальнейшем Сперри выявил пластичность речевых функций, обнаружив, что у больных с рассеченным мозолистым телом (в особенности у молодых людей) со временем речевые функции правого полушария совершенствуются. В связи с этим Сперри высказал предположение, что взаимодействие между двумя полушариями обусловлено их различной «специализацией».

Оригинальные исследования Роджера Сперри показали, что нервный субстрат сознания образуют именно большие полушария головного мозга и связи между ними. Будучи развитыми у человека в наибольшей степени, они полностью доминируют над более примитивными структурами, унаследованными эволюционным путем. За свои замечательные открытия в области функциональной специализации полушарий мозга Роджер Сперри был удостоен в 1981 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине. Эту почетную награду разделили с ним

американский ученый Дэвид Хьюбел и шведский исследователь Торстен Визел за открытия в области обработки информации в зрительной системе.

Исследование органов чувств

Мозг, как и любая ЭВМ, нуждается в источниках информации. Его информационными каналами служат органы чувств — настоящие окна в мир, которые улавливают свет, звуки, а также многие другие сигналы окружающей среды и кодируют их в нервные импульсы, идущие в мозг.

Важнейшим органом чувств является зрение. Более 90 процентов информации об окружающем мире человек получает с помощью глаз. Теория зрения была разработана военным врачом Германом Гельмгольцем, который затем от медицины перешел к физике, став одним из известнейших естествоиспытателей XIX в.

В 1853 г. Гельмгольц объяснил, как происходит аккомодация — фокусировка глаза на близких и далеких предметах. Под роговицей глаза находится хрусталик, главная функция которого как раз и заключается в фокусировке изображения на глазное дно, покрытое светочувствительной сетчаткой. Хрусталик заключен в специальную капсулу и поддерживается нитями, которые изменяют его кривизну. При сокращении определенных мышц нити расслабляются и хрусталик благодаря своей эластичности становится более выпуклым, что увеличивает его преломляющую способность и уменьшает фокусное расстояние. Так глаз фокусируется на близких предметах.

Теория Гельмгольца была принята ученым миром с удовлетворением, и никто не ожидал, что в нее можно что-либо добавить, пока за изучение глаза не взялся другой врач, который также отдавал предпочтение физике. В 1890 г. молодой исследователь из Стокгольма Альвар Гульстранд публикует свою докторскую диссертацию по теории астигматизма (один из дефектов зрительного восприятия, который устраняется с помощью очков с цилиндрическими стеклами). В последующие два десятилетия Гульстранд все глубже проникал в оптику, расширяя свои знания, пока наконец не стал одним из крупнейших специалистов в этой области.

Гульстранд поставил перед собой исключительно

трудную задачу — детально изучить оптическую систему глаза. Прежде всего он установил, что изменение кривизны глазного хрусталика только на две трети обеспечивает увеличение преломляющей способности, необходимой для точной фокусировки. Таким образом, выяснилось, что теория Гельмгольца охватывает не все явления. Шведский офтальмолог, ставший профессором Упсальского университета, обратил внимание на особое микростроение глазного хрусталика: он состоит из большого количества прозрачных нитей. Обнаружилось, что при аккомодации наряду с изменением кривизны оптической поверхности хрусталика происходит и перемещение нитей, в результате чего изменяется показатель преломления, — это и дает дополнительное увеличение преломляющей способности хрусталика. Все эти выводы стали возможны благодаря многочисленным тончайшим экспериментам и сложной теоретической обработке данных. Открытие новых фактов в области, где на протяжении более полувека все выглядело незыблемым, явилось большой неожиданностью для научных кругов. В 1911 г. Альвар Гульстранд был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за работы по диоптрике глаза, в частности за исследование астигматизма и аккомодации.

В 1865 г. Фритъоф Холмгрен из Упсальского университета впервые записал электроретинограмму. Он установил, что при освещении глаза в его сетчатке (ретине) возникают электрические импульсы. В 20-е годы нашего века в результате работ Эдгара Эдриана и Юнгве Зотермана стало возможным исследовать отдельные сенсорные клетки и их электрические сигналы. Примерно в то же время молодой шведский исследователь Рагнар Гранит, родившийся в Финляндии, специализировался по электрофизиологии у Шеррингтона. Для исследования глазной сетчатки, служащей приемником светового излучения, он использовал самые совершенные методы того времени. Анализируя электроретинограммы, он показал существование зрения двух типов. Один реализуется в полумраке, когда действуют преимущественно те клетки сетчатки, которые называются палочками. При сильном освещении вступают в действие и так называемые колбочки — клетки другого типа, чувствительные к цветам.

Гранит предположил, что в клетках сетчатки имеются специальные вещества, реагирующие на яркость света. Он назвал эти вещества доминаторами, в отличие от дру-

гих субстанций — модуляторов, которые, по его мнению, воспринимают соответственно красный, зеленый и синий цвета и находятся в специализированных клетках, обеспечивающих цветовое зрение, — колбочках. Палочки обладают высокой чувствительностью к свету, реагируя даже на единичные фотоны, но не воспринимают цвета. Это делают колбочки, имеющие, однако, более низкую чувствительность к свету. Не случайно старая поговорка говорит: «Ночью все кошки серые».

В период первой мировой войны в Дании было установлено, что один из видов нарушения зрения, так называемая «куриная слепота», связан с недостатком витамина А. В начале 30-х годов молодой зоолог из Колумбийского университета Джордж Уолд (Георг Вальд), находясь в командировке в Европе и работая в лаборатории Отто Генриха Варбурга, установил, что в сетчатке глаза содержится витамин А. Пока в Далеме (Берлин) проводились эксперименты, из Цюриха пришла весть, что Пауль Каррер и его сотрудники определили структуру этого витамина. Уолд сразу же выехал в Швейцарию, чтобы ознакомиться с новейшими результатами. После этого он продолжил свои исследования у Отто Мейергофа в Гейдельбергском университете. Там Уолд показал, что зрительный пигмент родопсин состоит из ретинена (вещества, близкого по структуре витамину А) и белка опсина.

Это открытие было сделано в 1934 г. За несколько десятилетий до этого в том же университете Вилли Кюне исследовал желтый зрительный пигмент родопсин, незадолго до этого открытый (1877) Францем Боллом. Эксперименты Уолда, проведенные вместе с его сотрудницей Рут Хебарт (впоследствии ставшей женой Уолда), уточнили и закрепили представление о том, что зрительный пигмент в сетчатке глаза состоит из двух частей. Небольшая молекула, названная хромофором, связывается с большой белковой молекулой опсина. Под действием светового кванта этот комплекс распадается, что ведет к серии реакций, которые в конечном счете и порождают электрический импульс в фоторецепторной клетке. Как говорил Уолд, все химические, физиологические и психологические изменения — это всего лишь «темные последствия» первоначальной световой реакции. Хромофор, который позднее стали называть ретиненом (от названия сетчатки — «рети́на»), оказался производным

витамина А, а тот в свою очередь является производным каротина, вещества, содержащегося в моркови и придающего ей хорошо знакомую всем окраску. Так было доказано большое значение для зрения витамина А и каротиноидов.

Глаз — это совершенная телекамера, снабженная, кроме того, «ЭВМ». Начало исследований, которые привели к такому представлению, связано с опытами Эдриана и Зотермана над единичными рецепторными клетками. Углубляя их эксперименты, американский физиолог и биохимик Холден Кефер Хартлайн получил интересные результаты. В 1931 г., закончив биологический факультет университета Джона Гопкинса и пройдя специализацию у Гейзенберга и Зоммерфельда в Европе, Хартлайн стал работать в университете шт. Пенсильвания в Филадельфии. Там он начал исследование зрения, избрав для этой цели удивительно подходящий объект: мечехвоста — членистоногого, живой окаменелости, оставшейся от далеких эпох. Это крошечное существо, обитатель морских лагун, имеет множество глазок, которые соединены длинными нервами с центрами мозга. Эти анатомические особенности были очень удобны для изучения функций зрительного аппарата. Исследования нервных волокон показали, что оптическое изображение, попадающее на светочувствительные клетки, подвергается обработке. Одни клетки реагируют на яркость, другие на форму, третьи на цвет, четвертые на движение и т. д. Вся эта информация кодируется в нервных импульсах и поступает в мозг.

В 1967 г. Нобелевский комитет при Каролинском институте оценил значение названных работ, присудив двум физиологам, Рагнару Граниту и Холдену Хартлайну, совместно с биохимиком Джорджем Уолдом Нобелевскую премию по физиологии и медицине за их исследования первичных физиологических и химических зрительных процессов.

Уже упоминавшимся ранее Дэвиду Хьюбелу и Торстену Визелу из Гарвардского университета удалось выяснить основные детали строения той части коры головного мозга, в которую поступают сигналы от органов зрения. Они раскрыли принципы переработки информации в нейронных структурах мозга. Еще Павлов говорил, что принимающие системы служат своеобразными биологическими анализаторами, которые «дробят» внешние

воздействия, выделяя различные признаки. Не было, однако, известно, как именно это происходит.

В отличие от примитивных животных (например, лягушки), имеющих в сетчатке специализированные нейроны, которые распознают некоторые признаки объектов, у млекопитающих фоторецепторные клетки слабо специализированы и распознавание признаков осуществляется в коре больших полушарий головного мозга. В своих опытах Хьюбел и Визел использовали в качестве зрительного стимула (раздражителя) линию — простейший элемент формы.

Оказалось, что в зависимости от ориентации линии импульсы, генерируемые нейронами-детекторами, отличаются по своим характеристикам. Иными словами, нервные клетки специализированы таким образом, что реагируют на положение линии. Дальнейшие исследования показали, что это универсальный принцип работы анализаторов мозга независимо от того, с каким из органов чувств они связаны.

После этого успеха Хьюбел и Визел приступили к изучению структуры детекторов. Они использовали два основных экспериментальных метода.

С помощью микроэлектродов, вводимых в зрительную кору головного мозга, исследователи установили, что область, где перерабатываются поступающие в мозг сигналы, состоит из «островков» диаметром 1 мм и толщиной 2 мм. Эти колонки нейронов наделены общим свойством: они максимально реагируют на линии одного и того же наклона, т. е. на один элементарный зрительный признак.

Другой метод, которым пользовались Хьюбел и Визел, — введение диоксиглюкозы, меченой тритием или радиоактивным углеродом. Сахар — это «топливо» для мозга. Активно действующие нейроны быстро его расщепляют, причем отходы уносятся кровью. Если на животного, помещенного в темноту, подействовать простым зрительным раздражителем, а затем извлечь его мозг и приготовить из него тонкие срезы, то участки, где обнаружена поглощенная радиоактивная глюкоза, покажут, какие нейроны среагировали на раздражитель. (Далее за движением меченой диоксиглюкозы можно следить с помощью сканирующего гамма-томографа.) Результаты подтвердили реальность существования нейронных колонок в зрительной коре головного мозга...

В заключение своих экспериментов Хьюбел и Визел исследовали процесс формирования анализаторов мозга в процессе развития лабораторных животных. Помещая молодых животных в условия зрительной изоляции, они строго контролировали действующие на них зрительные раздражители. Было установлено, что формирование тех или иных детекторов зависит от поступающей в них зрительной информации: формируются только те детекторы, которые возбуждаются предметами, окружающими животное в ранний период его развития. Так, животные, выращенные в «вертикальной среде», не имели детекторов горизонтальных линий и не могли преодолевать горизонтальные препятствия. Соответственно животные, выращенные в «горизонтальной среде», не могли пройти даже между ножками стула. Таким образом, был открыт метод изучения взаимоотношений признаков (генетически обусловленных и определяемых внешним воздействием) при формировании мозга. За эти плодотворные и обширные научные исследования Д. Хьюбел и Т. Визел были удостоены в 1981 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине; вместе с ними был награжден и Р. Сперри.

Возможно, следующим после глаза наиболее важным органом чувств является ухо. Его анатомия известна в подробностях довольно давно. Ушная раковина играет роль своеобразного рупора, улавливающего звуковые колебания и направляющего их к барабанной перепонке. Это маленькая мембрана, отделяющая внешнее ухо от внутреннего. Барабанная перепонка соединена с тремя косточками, образующими систему рычагов, передающих вибрацию другой мембране, расположенной на «входе» улитки — спиралевидного образования во внутреннем ухе. Именно в улитке звуковые колебания преобразуются в нервные импульсы. Как это происходит, показал американский физик (венгр по национальности) Дьёрдь Бекеши.

В 20-е годы он работал в венгерской фирме «Телефон систем лаборатории» и занимался проблемами эксплуатации телефонных линий. В то время междугородные разговоры были сопряжены с большими трудностями, и специалисты постоянно искали причины плохого качества связи. Исследуя все элементы системы телефонной связи, Бекеши совершенно логично пришел к конечному приемнику сигнала — к человеческому уху. Он подхо-

дил к проблеме с деловой точки зрения — как физик и инженер. Техники с ужасом стали замечать на своих станках и машинах в лаборатории следы анатомических препаратов. Бекеша резал, расчленял и исследовал ухо, пытаясь выяснить, как оно работает. С невероятной изобретательностью он разработал метод исследования органа слуха и создал прибор для этой цели (аудиометр Бекеша). Его познания в области физики и электроники давали ему большие преимущества перед другими исследователями, которые зачастую ограничивались бесплодным теоретизированием.

Бекеша исследовал ухо и процесс звукового восприятия от начала до конца: восприятие звуковых колебаний барабанной перепонкой, передачу их через слуховые косточки на мембрану внутреннего уха, возникновение гидравлических колебаний в улитке и преобразование их в кодированные нервные импульсы в ее базилярной мембране, на которой расположены рецепторы. Мало ученых, которые внесли бы столь большой индивидуальный вклад в эту область. Бекеша показал, как именно воспринимается звук. В начале базилярной мембраны, где нити более жесткие, улавливаются высокие частоты, а в верхней ее части с гибкими нитями — низкие частоты. Спиралевидное строение улитки увеличивает ее длину при общей компактности. Длина мембраны определяет диапазон воспринимаемых частот, который у человека простирается от 16 до 16 000 Гц (герц, или колебаний в секунду).

Большой вклад Бекеша в исследование физиологии слуха, сделанный в 30—40-е годы, не мог не привлечь внимания, и в 1961 г. профессора из Каролинского института приняли наконец решение присудить ему Нобелевскую премию по физиологии и медицине.

Вслед за улиткой в ухе расположены полукружные каналы. Они действительно имеют вид двух половинок окружности и представляют собой дуги, расположенные в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Долгое время об их функциях ничего не было известно. На протяжении всего XIX в. исследованием полукружных каналов занимались многие крупные ученые. Врачи накапливали клинический опыт, а теоретики, в частности Эрнст Мах, доказывали, что три взаимно перпендикулярных канала служат как раз тем устройством, которое определяет положение тела в пространстве.

В мае 1905 г. в изучении вестибулярного аппарата был

сделан большой шаг вперед. Австрийский врач Роберт Барани, специалист-оториноларинголог, установил, что если в ухо вбрызнуть холодную воду, то это вызывает потерю равновесия и головокружение. Вбрызгивание теплой воды дает тот же эффект, причем инстинктивно тело движется в противоположном направлении. Это явление объяснили следующим образом: нагревание или охлаждение полукружных каналов приводит в движение эндолимфу. В нерве вестибулярного аппарата возникает импульс, и движение эндолимфы воспринимается мозгом как нарушение положения тела. Чисто рефлекторно вступают в действие соответствующие мышцы, и человек, сопротивляясь мнимому падению, теряет равновесие.

Этот тест стал началом серии экспериментов, в ходе которых Барани разработал методы клинического исследования вестибулярного аппарата. Предложенные им методы диагностики резко снизили смертность от инфекций и воспалений внутреннего уха. Его теоретические работы по нервной регуляции, связанные с координацией движений и равновесием тела, привели к выяснению функций одного из важнейших органов чувств — органа равновесия. За работы по физиологии и патологии вестибулярного аппарата, выполненные в первое десятилетие нашего века, Барани был удостоен в 1914 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

ХУ МЕДИЦИНСКАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ

В середине XIX в. — после того, как выяснилось, что микроорганизмы играют роль возбудителей заболеваний, — в микробиологии царил полный хаос. Отсутствовали конкретные данные о различных болезнях. Результаты экспериментов были противоречивы: одни болезни, казалось, вызываются сразу несколькими микроорганизмами, в других случаях, наоборот, обнаруживалось, что один микроб служит причиной различных заболеваний. Наконец, возникла теория, которая утверждала, что все бактерии являются возбудителями болезней. Среди широкой публики распространялись невероятнейшие слухи, которые порождали панический страх в отношении животных и любых других возможных источников заразы. Такое положение продолжалось до 70-х годов, когда немецкий микробиолог Роберт Кох разработал первые эффективные методы изучения микроорганизмов.

Важнейшим его достижением явилось создание питательных сред, в которых можно было выращивать микроорганизмы. Прежде всего он испробовал жидкость глаза убойного скота, потом крахмал, затем желатин и наконец агар-агар — особое вещество, представляющее собой смесь двух кислых полисахаридов, содержащихся в клеточных стенках красных водорослей; оно растворяется в горячей воде, а при охлаждении образует плотный студень, превращая тем самым в желе питательные растворы различного состава. Разработка методов выращивания микроорганизмов имела для бактериологии огромное значение, оказавшись в каком-то смысле важнее микроскопа. Ведь микробы представляют собой всего лишь какие-то палочки, точки, запятые, и вообще их внешний вид мало что дает с точки зрения классификации. Вместе с тем на геле из агар-агара любой микроорганизм образует колонию довольно больших размеров и характерной формы. Это позволяет невооруженным гла-

зом определять различные виды микробов и даже их количество в пробе.

Располагая столь эффективными методами исследования, Кох смог сформулировать основные принципы медицинской микробиологии, показав, как установить связь между определенным микроорганизмом и данным заболеванием:

1. Искать микроорганизмы в случаях любых болезней.

2. Их число и распределение должно объяснять клиническую картину заболевания.

3. Каждая инфекция непременно имеет своего возбудителя, который необходимо подробно охарактеризовать морфологически.

Эта знаменитая триада Коха легла в основу развития бактериологии. Кох показал важность этих принципов, выделяя микроорганизмы у больных людей и животных, выращивая их в питательных средах, идентифицируя микробы и выясняя в опытах на лабораторных животных, какой из микроорганизмов является возбудителем той или иной болезни. Кульминационным моментом экспериментов Коха было открытие возбудителя туберкулеза (палочка Коха), о чем он и сообщил 24 мая 1882 г. на заседании Общества физиологов в Берлине.

В коротком докладе, опечатанном всего на двух страницах, Кох описывал туберкулезные палочки, методы их окрашивания, наблюдения за ними в зараженных тканях с помощью микроскопа и выращивания микробов. Выводы его были простыми и ясными. Итак, возбудитель туберкулеза был теперь известен. Для медицины XIX в. это было сенсацией первой величины. Кох стал знаменитостью.

Еще в момент организации Нобелевского комитета при Каролинском институте имя Коха не раз упоминалось в списках кандидатов на премию, но это предложение обычно отклонялось под тем предлогом, что его открытие было сделано более двух десятилетий назад. Лишь в 1905 г. эксперты пришли к соглашению. Роберт Кох был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за исследования и открытия, связанные с возбудителями туберкулеза.

Знаменитая теория Луи Пастера о невозможности самозарождения указала на роль микроорганизмов в процессах брожения и гниения, подтолкнув многих уче-

ных на поиски возбудителей различных болезней, жертвами которых становились миллионы людей. Одним из таких серьезных заболеваний во второй половине XIX в. была малярия. Эта болезнь сопутствует человеку с древних времен. Ее название в переводе с итальянского означает «плохой воздух»: люди считали, что причиной болезни являются зловонные испарения болот. В 1879 г. молодой французский военный врач, направленный в Алжир, занялся другими исследованиями, которые в конечном счете показали, что существует группа болезнетворных микроорганизмов, отличных от бактерий, к которой относится и возбудитель малярии.

Шарль Луи Альфонс Лаверан пытался выяснить, каким образом в кровь больных малярией попадают частицы черного пигмента. Проявив большое терпение и наблюдательность при работе с микроскопом, он наконец обнаружил, что в красных клетках крови больных малярией имеется какой-то паразит. Лаверан провел обширные исследования воды, почвы и воздуха в Алжире и Южной Италии, однако так и не нашел возбудителя болезни. Он не смог культивировать его и в питательной среде, как того требовали постулаты Коха. Высказывалось предположение, что малярия переносится кровососущими насекомыми, например комарами, но пока это оставалось всего лишь гипотезой. Именно в этот решающий момент в судьбе военного врача Лаверана произошли перемены, которые вынудили его отказаться от дальнейших поисков возбудителя малярии. Добившись продвижения по службе, он покинул Алжир и стал профессором гигиены в военном госпитале в Валь дё Грасе, где (к сожалению!) не было малярийных комаров. Лаверан продолжал плодотворно работать в других областях протистологии, основы которой он заложил, а малярией занялись другие ученые. Итальянский гистолог Камилло Гольджи исследовал течение болезни, установив, что лихорадка периодически повторялась (через 48 или 72 ч), разрушая красные кровяные тельца. Проблема распространения малярии была, однако, решена английским микробиологом Рональдом Россом, также военным врачом, родившимся, жившим и работавшим в Индии.

В конце прошлого века в этой огромной стране от малярии умирали миллионы людей. Даже в такой стране цивилизованной Европы, как Италия, жертвы этой болезни исчислялись тысячами. Малярия гнала людей из

районов с плодородными землями или ограничивала их деятельность в таких районах. Английский исследователь Патрик Мансон считал, что малярия разносится комарами, но, живя, как и Лаверан, в Северной Европе, он не имел возможности проводить практические исследования в обоснование своего предположения. Однако его идеи оказали большое влияние на студента-медика Рональда Росса, который после завершения учебы в Англии вернулся в Индию, намереваясь посвятить все свое свободное время исследованию малярии.

В конце XIX в. для военного врача было непозволительно роскошью вести научные исследования. В своих воспоминаниях Росс писал, как часто начальство перебрасывало его на новое место как раз в момент решающей фазы экспериментов. Однако, несмотря на все трудности, через два с половиной года исследований он наконец выяснил, как развиваются возбудители малярии, попадая из слюнных желез комара в кровь человека, оттуда в печень, затем в эритроциты и вновь к комару-кровопийце.

Представив полученные данные, Росс предложил также конкретные меры борьбы с малярией. В соответствии с его рекомендациями производилось осушение болот, заливка их нефтью для уничтожения личинок комара; предпринимались и другие меры подобного рода. Болезнь, хотя и медленно, начала отступать. Росс сделал свое открытие в 1897 г. и обрел всемирную известность. О всеобщем признании его заслуг говорит хотя бы тот факт, что он стал вторым лауреатом Нобелевской премии по физиологии и медицине. Каролинский институт удостоил его этого высокого отличия в 1902 г. за работы по изучению причин возникновения и закономерностей распространения малярии.

В тот период Лаверан, один из крупнейших авторитетов в протистологии, полностью отошел от своей деятельности офицера-медика и целиком посвятил себя научной работе в Пастеровском институте. Под влиянием его исследований немало молодых ученых занялись изучением простейших — паразитов, являющихся возбудителями ряда тропических болезней. Многие из этих ученых посылали свои материалы в Париж Лаверану, который успешно разгадывал циклы развития все новых возбудителей болезней. Ему не пришлось разгадать тайну малярии, но он компенсировал это успешным исследовани-

ем причин множества других заболеваний животных и человека. Наиболее известны его исследования трипаносом, среди которых находится и возбудитель смертельной сонной болезни. В 1907 г. Лаверан был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине, что является признанием его исследования роли протейших как возбудителей заболеваний. Он, в сущности, сыграл в протистологии такую же роль, как Кох и Пастер в медицинской бактериологии.

Среди молодых ученых, испытавших на себе благотворное влияние идей Лаверана, прежде всего следует назвать француза Шарля Николя, который многие годы был директором Пастеровского института в Тунисе, и американского микробиолога Макса Тейлера, родившегося в ЮАР. Первый исследовал возбудителей тифа, второй — желтой лихорадки.

Работая в Тунисе, Шарль Николь вскоре столкнулся с периодическими эпидемиями сыпного тифа. Ученый высокой квалификации, он поставил задачу — изучить эту проблему, следуя принципам медицинской микробиологии. Вскоре он установил, что больные являются источником инфекции до момента поступления в больницу, там же они становятся безопасны. Николь понял, что болезнь распространяется переносчиками, с которыми можно бороться мылом и водой. Эти простые гигиенические меры уничтожают, в частности, бельевую вошь, которая, как подозревалось, может быть переносчиком тифа.

Эта мысль высказывалась еще в 80-е годы XIX в., однако на нее не обращали особого внимания. В 1909 г. Николь поставил эксперименты, которые недвусмысленно подтвердили эту гипотезу. Вызвав тиф у шимпанзе — а затем и у макак — с помощью вшей-переносчиков, а также путем вливания крови больного, он показал, что инфекция передается здоровым животным через укус паразита. Вскоре после этого были приняты необходимые меры, и всего через два года Тунис был избавлен от болезни, которая с незапамятных времен уничтожала его жителей. Борьба против сыпного тифа была сведена, таким образом, к борьбе со вшами. В Европе это приветствовали как большой успех, но никто не предполагал, что открытие Николя может иметь какое-то значение для «цивилизованного мира», — считалось, что опасность тифа ограничивается пределами Туниса и ряда других подобных районов.

Однако спустя всего лишь несколько лет от этого мнения пришлось отказаться. Первая мировая война принесла в Европу хаос и разрушение. Сыпной тиф выполз из глухих уголков, где таился десятилетиями. Эпидемия приняла устрашающие масштабы. Только энергичное вмешательство врачей позволило ограничить распространение болезни. В странах, где этого не удалось сделать, последствия были катастрофическими. Так, в 1915 г. в Сербии тиф унес пять процентов населения. Потери от тифа могли бы значительно превзойти гибель в военных действиях (как это и случалось в прошлые века), если бы врачи не предпринимали активных гигиенических мер. Таким образом, открытие Ш. Николя спасло жизнь миллионам людей, и в знак признания его заслуг он был удостоен в 1928 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Европе суждено было пережить еще одну грандиозную эпидемию тифа — на этот раз во время второй мировой войны. Но теперь врачи располагали более действенными методами борьбы с ним. В 1943 г. в Неаполе был испробован сильнодействующий препарат ДДТ, который, уничтожая вшей в исключительно короткий срок, остановил зарождавшуюся эпидемию. Создатель препарата швейцарский ученый Пауль Мюллер стал в 1948 г. лауреатом Нобелевской премии по физиологии и медицине. Впоследствии обнаружилось, что препарат Мюллера служит очень эффективным средством борьбы с сельскохозяйственными вредителями*.

В 1881 г. кубинский врач Карлос Хуан Финлей (Финлей-и-Баррес) опубликовал свои работы по изучению комаров как переносчиков желтой лихорадки. Поскольку Куба была испанской колонией, то материалы попали в Королевскую академию в Мадрид, где им было выделено соответствующее место в архивах, и на этом вопрос закрылся. К сожалению, никто не обратил внимания на исследования Финлея. Желтая лихорадка продолжала уничтожать людей.

Во время испано-американской войны 1898 г. Кубу оккупировала армия США, и по указанию американских властей там была создана комиссия по борьбе с желтой

* В настоящее время использование препарата ДДТ повсеместно запрещено, так как оказалось, что этот ядохимикат обладает способностью накапливаться в природе, вызывая нежелательные последствия. — *Прим. ред.*

лихорадкой во главе с военным врачом Уолтером Ридом. Начались широкомасштабные исследования с целью выявить возбудителя болезни, и наконец удалось доказать, что им является особый вид комаров. Все болота вокруг Гаваны были осушены, и вскоре желтая лихорадка исчезла. Казалось, что болезнь побеждена, однако очень скоро выяснилось, что еще рано торжествовать победу.

В 1911 г. группа врачей из Южной Америки сообщила о случаях желтой лихорадки глубоко в джунглях, где нет ни городов, ни больных людей, у которых комары могли бы высасывать зараженную кровь. Возникло подозрение, что, может быть, возбудитель желтой лихорадки обитает в организме обезьян, которые служат для него как бы резервуаром. Исследования были длительными и трудными. Шесть ученых отдела здравоохранения Рокфеллеровского фонда погибли от желтой лихорадки, но в 1927 г. все же удалось добиться первых успехов. В экспериментальных условиях лихорадка джунглей была перенесена на обезьян, и, таким образом, было доказано, что упомянутое предположение правильно. Следующий шаг в борьбе с желтой лихорадкой сделал Макс Тейлер, работавший в Йельском университете.

В 1930 г. Тейлер сумел заразить желтой лихорадкой двух мышей. Они несравненно дешевле обезьян, и это позволило значительно ускорить исследования. В свое время еще комиссия Рида установила, что эта болезнь вызывается вирусом. Тейлер показал, что переболевшие мыши повторно не заражаются. Это оказалось удобным эпидемиологическим тестом для выявления связи между желтой лихорадкой и лихорадкой джунглей. В дальнейшем Тейлер сделал интересное открытие: возбудитель инфекции (он оказался вирусом), переносимый от одной мыши к другой, постепенно слабеет, пока наконец не перестает вызывать заболевание, сохраняя способность вырабатывать у организма иммунитет. После этого Тейлер получил мутант вируса — одну из его разновидностей, которая безопасна, но также вызывает иммунные реакции.

Работы Тейлера сделали возможной массовую вакцинацию людей в тропиках и позволили свести желтую лихорадку до масштабов незначительного заболевания. В 1951 г. М. Тейлер был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за исследования, связанные с желтой лихорадкой, и разработку методов борьбы с ней.

Решающий шаг в борьбе с болезнетворными бактериями был сделан Робертом Кохом, который создал метод выращивания микробов в культурах. Это открыло широкую дорогу для исследований, и в конце концов через несколько десятилетий после его открытий были найдены способы борьбы с болезнетворными бактериями.

В вирусологии положение оказалось более сложным, так как вирусы не могут жить самостоятельно. Лишь в 40-е годы нашего века были созданы эффективные методы их размножения, что заложило основы молодой науки — вирусологии.

Начало этой науке было положено опытами Алексиса Карреля и Росса Гренвилла Гаррисона по культивированию клеток в питательной среде. Оба ученых быстро поняли, что тканевые культуры для вирусов являются такой же питательной средой, как агаровый гель с бульоном для бактерий. Первые успешные опыты по выращиванию вирусов были осуществлены в 1925 г. Вскоре указанный метод был использован для борьбы с опасными возбудителями болезней. В 1949 г. группа исследователей из Бостона опубликовала небольшую статью, в которой описывался метод культивирования вируса полиомиелита. Джон Эндерс из детской клиники в Бостоне вместе со своими сотрудниками Фредериком Роббинсом и Томасом Уэллером умело использовали тканевые культуры для выращивания этих вирусов. Это открыло новую эпоху в исследованиях вирусов.

Еще в 1936 г. Альберт Брюс Сабин и Петр Костюшко Олицкий пытались выращивать вирус полиомиелита, однако их опыты не принесли успеха. Утвердилось мнение, что после поражения вирусом нервной ткани его можно выращивать только на такой культуре, а нервные клетки очень трудно поддаются культивированию «in vitro».

Упомянутые исследователи из Бостона через 12 лет решили проверить эти данные, применяя значительно более совершенную методику. В их распоряжении были новые антибиотики, которые убивают бактерии, но сохраняют клетки ткани. В экспериментах были использованы культуры из эмбриональных клеток человека. К великой радости ученых, полиовирус размножался в самых различных тканях. Пораженные клетки были ясно различимы под микроскопом, и это дало возможность создать тесты, удобные для диагностики.

Открытие Эндерса, Роббинса и Уэллера произошло в момент, когда детский паралич (полиомиелит) стал серьезной проблемой, приобретая характер эпидемии. С помощью тканевых культур исследователи получили вакцины, позволившие осуществить эффективную профилактику заболевания. Исследование велось двумя методами: путем последовательного переноса вирусов из одной культуры в другую, что ослабляло их патогенность, либо поиском подходящего штамма, который иммунизировали, не вызывая болезни. В первом случае А. Сабинем была получена вакцина, использовавшаяся в Советском Союзе, Хилари Копровским — в Польше и Геральдом Коксом — в Латинской Америке. Во втором случае Джонас Солк получил вакцину, которая нашла применение в США и странах Западной Европы.

После проведения массовой вакцинации детский паралич ушел в область воспоминаний. Но еще в 1954 г., когда развернулась борьба с полиомиелитом, Каролинский институт присудил Нобелевскую премию по физиологии и медицине Д. Эндерсу, Ф. Роббинсу и Т. Уэллеру за разработку методов культивирования вирусов полиомиелита.

Серьезную проблему для современной медицины представляет вирусный гепатит. Это заболевание иногда начинается после переливания крови. Долгое время ученые не могли установить, кто из доноров является носителем потенциальной опасности. Лишь в 1963 г. Барух Бламберг получил результаты, которые пролили свет на данный вопрос. Специалист по медицинской генетике, Бламберг изучал полиморфизм белков в сыворотке крови человека. В 1963 г. он обнаружил необычный белок в крови больных гемофилией, которым многократно делали переливание крови. Этот белок иммунно связывался только с белками из крови австралийских аборигенов, и поэтому ученый назвал его австралийским антигеном.

В ходе дальнейших исследований Бламберг доказал, что этот антиген обнаруживается у большинства больных так называемым гепатитом В. Так была разработана первая иммунологическая схема вирусного гепатита, что стимулировало проведение широких исследований в этой области. Были разработаны методы лабораторного контроля доноров, что значительно уменьшило число случаев заболевания гепатитом после переливания крови. Создана была вакцина и для профилактики гепатита В. Ранее

неуловимый вирус стал объектом исследования вирусологов, иммунологов и эпидемиологов, которые применяли для его изучения новые высокочувствительные, специфические методы.

Раскрыв тайну гепатита, ученые получили возможность начать атаку на гепатит А и гепатит С. Открытие профессора Пенсильванского университета Баруха Бламберга явилось первым шагом в широкомасштабных исследованиях, позволивших спасти здоровье тысячам людей. В 1976 г. Бламберг был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за исследования вирусного гепатита. Вместе с ним был награжден Даниел Карлтон Гайдузек из Неврологического центра Национального института здравоохранения США, создавший теорию медленных вирусных инфекций человека.

В 1956 г. служащий австралийской администрации обнаружил странную болезнь среди членов племени форэ, населяющего северо-восточное плато острова Новая Гвинея. Местные жители называли эту болезнь «куру» (что означает «смеющаяся смерть») из-за периодически наступающего у больных неконтрольного смеха. За какой-нибудь год здоровые люди превращались в развалины и погибали. В том же году в этот район отправилась научная экспедиция с целью раскрыть тайну болезни, несущей смерть. Ее руководителем был Д. К. Гайдузек, работавший тогда в Институте медицинских исследований в Мельбурне, — официально врач, а в действительности этнограф, вирусолог, эпидемиолог, антрополог — словом, человек энциклопедических знаний и интересов.

Ученые быстро установили, что болезнь встречается только среди взрослых и отсутствует у детей из этого племени, которые жили далеко, в школе-интернате. Значит, загадка скрывалась где-то в пределах тысячи квадратных километров территории, занимаемой племенем форэ. Было тщательно исследовано свыше 400 факторов окружающей среды, но, к сожалению, безрезультатно. Параллельно этнографы изучали быт племени. Завоевав доверие местных жителей, они были посвящены в их самые тайные обычаи и ритуалы. Оказалось, например, что обряд погребения сопровождается съедением мозга умерших, в том числе и умерших от «смеющейся смерти». Это открытие давало уже проблеск надежды. Доктор Гайдузек тотчас же поставил опыты на лабораторных животных: экстракт мозговой ткани умерших от куру людей

был введен шимпанзе. После длительного ожидания (в течение полутора лет) ученые обнаружили симптомы болезни.

«Смеющаяся смерть» оказалась «медленной вирусной инфекцией». Под этим названием объединен ряд заболеваний, описанных исландским микробиологом Б. Сигурдсоном в 1954 г., которые имеют исключительно длительный инкубационный период. После того как причина болезни была раскрыта, доктор Гайдузек сумел убедить людей племени форе отказаться от рокового ритуала. Таким образом, «смеющаяся смерть» канула в Лету.

Эти открытия дали мощный толчок изучению ряда других болезней хронического характера, наблюдаемых у животных и человека, относительно которых имеется подозрение, что они относятся к медленным вирусным инфекциям. В этой области работает много ученых, но Гайдузек является среди них бесспорным лидером. За большие заслуги в борьбе с заболеваниями такого рода Д. К. Гайдузек был удостоен в 1976 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине, которую, как уже говорилось, он разделил с Б. С. Бламбергом.

С развитием цивилизации, повышением культурного уровня населения и открытием мощных лекарств инфекционные болезни одна за другой оказались побежденными. Тогда на передний план, согласно медицинской статистике, вышли заболевания, эффективные средства борьбы с которыми пока еще не найдены. Одно из таких заболеваний — рак.

Эта болезнь известна врачам очень давно. Еще в XIX в. были предприняты первые попытки объяснить, почему тот или иной орган тела неожиданно патологически трансформируется, «вступая в конфликт» с организмом, нарушая его функции и наконец уничтожая его. Рудольф Вирхов, создатель теории клеточной патологии, предположил, что нормальные клетки превращаются в раковые при продолжительном механическом, тепловом или химическом раздражении. Другие авторы считали, что раковые клетки — это клетки, вернувшиеся в эмбриональное состояние. В конце прошлого века, в период развития медицинской микробиологии, совершенно естественным был поиск микроба — возбудителя раковой болезни. Поиски оказались безрезультатными; тогда ученые решили, что, возможно, возбудителем рака является вирус. Действительно, в 1908 г. датские ученые В. Эллер-

ман и О. Банг обнаружили у птиц вирус, вызывающий лимфоматоз. Два года спустя 30-летний американский исследователь Фрэнсис Пейтон Роус (Роус) из Рокфеллеровского института медицинских исследований в Нью-Йорке открыл вирус, вызывавший саркому у кур. Это уже опухоль, поражающая мышечную ткань, тогда как лейкемия (лимфоматоз) — болезнь крови. Но когда в 1911 г. Роус доложил о результатах своих исследований, его сообщение встретили с большим недоверием. Один маститый коллега даже пошутил, что если найден вирус этой саркомы, то, очевидно, это не рак, поскольку все знают, что причина рака неизвестна.

Причиной подобного недоверия и гипотетичности различных теорий рака является то обстоятельство, что до сих пор не удалось вызвать рак искусственным путем. Было установлено, что некоторые виды рака связаны с профессиональной деятельностью человека. Например, выяснилось, что трубочисты и рабочие химической промышленности заболевают раком чаще людей других профессий. В 1910 г. французские исследователи Клюне, Мири и Роло Лапуант действием рентгеновских лучей вызвали саркому у крыс; но тем не менее отсутствовала удобная экспериментальная методика, которая бы позволила искусственно вызывать болезнь. Так продолжалось до 1913 г., когда Йоханнес Фибигер, микробиолог и патологоанатом из Копенгагенского университета, сообщил, что разработал метод, позволяющий искусственно вызывать рак.

В 1907 г. в своей лаборатории в Копенгагене Фибигер обнаружил у подопытных крыс странные опухоли желудка. Исследуя строение неопластичной ткани, он заметил в центре каждой опухоли паразитического червя спироптеру. Последующие эксперименты Фибигера показали, что заражение крыс паразитами обычно ведет к образованию опухолей при механическом и химическом раздражении. Возможность получения рака искусственным путем (метод Фибигера сводился к скармливанию крысам тараканов, зараженных спироптерой) оказала огромное влияние на экспериментальную медицину. Ученые были воодушевлены, узнав, что их датский коллега наконец нашел возбудителя одного из видов раковых опухолей. Даже самые ярые критики Фибигера вынуждены были признать его вклад в медицину того времени. Мнение научной общественности было учтено экспертами

из Каролинского института, и в 1926 г. Й. Фибигер был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине, которую он получил в 1927 г.

Постепенно, однако, над этим крупным открытием стала нависать тень. Японский исследователь А. Фудзикама сумел вызвать ту же самую опухоль без паразитов. Он показал, что результаты Фибигера скорее всего следует объяснить бедной витаминами диетой. Аналогичные результаты были получены и в других лабораториях, и сегодня считают, что воодушевление успехом Фибигера, как и само его награждение, по-видимому, были несколько поспешными, а его результаты — ошибочными. Остается, однако, бесспорным, что его работа стимулировала исследования в области экспериментального канцерогенеза. Всего лишь через два года после опытов Фибигера два исследователя сделали сообщение о канцерогенном действии дегтя. Вскоре после этого стали открывать все новые и новые вещества, вызывающие рост опухолей. Сейчас этот печальный список уже довольно велик, но он дает возможность осуществлять контроль пищевых продуктов и следить за их чистотой. Казалось, верх одержала химическая теория рака. Однако вирусная теория, находясь в тени, постепенно набирала силу.

В 1932 г. Ричард Шоуп из Рокфеллеровского института медицинских исследований в Нью-Йорке попросил своего коллегу Ф. П. Роуса помочь ему разобраться в вопросе, касающемся одной из доброкачественных опухолей (папиломы) у диких зайцев. Она могла вызываться бесклеточным экстрактом, в котором предполагалось наличие вируса. Исследовав проблему, Роус показал, что эти опухоли ограничены в росте, регрессируют и самопроизвольно исчезают через определенное время. При соответствующих условиях, однако, они могут превратиться в злокачественные. Особенно отчетливо это наблюдалось при добавлении в пищу небольшой дозы канцерогенных веществ.

Так Роус пришел к представлению о «прогрессии опухолей». Согласно Роусу, раковые клетки могут пребывать в состоянии «спячки», пока какой-нибудь химический агент (вирус или иной раздражитель) не «разбудит» агрессивность этих дремлющих клеток. Его теория была встречена с большим скептицизмом. Среди ученых глубоко укоренилось мнение, что инфекция не может быть причиной рака. Все вирусные опухоли рассматривались как

странные исключения, а «саркома Рауса» — просто как болезнь кур, не имеющая никакого отношения к людям. Тем не менее вирусная теория сделала еще шаг вперед.

Главное препятствие на пути признания этой теории состояло в том, что не был известен ни соответствующий вирус, ни его взаимодействие с клеткой. Ученые знали, что вирус — это внеклеточный паразит, который приводит к гибели клетки, и не могли представить, каким образом вирус мог бы вызывать трансформацию клетки. Положение радикально изменилось в 50-е годы, с появлением молекулярной генетики. Подробные исследования вирусов показали, что они обычно приводят к уничтожению клетки, в которую они проникают. Бывает, что они включаются в генетический аппарат клетки, в результате чего нормальная клетка перерождается в раковую. Исследования на молекулярном уровне подтвердили правоту Рауса и других ученых, которые еще в начале века отстаивали вирусную теорию рака. Волна энтузиазма подняла престарелого ученого на вершину славы, и в 1966 г. (через 55 лет после своего открытия) Фрэнсис Раус был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие опухолеродных вирусов.

Методы лечения

Одна из важных проблем хирургии в начале нашего столетия была связана с поисками методов сшивания кровеносных сосудов. Использовались различные способы; например, сосуды скреплялись с помощью трубок из кости, абсорбирующей металл, серебро или золото. Эти сложные и неэффективные методы полностью вышли из употребления после того, как французский хирург Алексис Каррель нашел способ сшивания артерий и вен «конец в конец», предложив для этой цели несколько видоизменить острие иглы. После натяжения нити концы кровеносных сосудов изгибаются таким образом, что соприкасаются только внутренними стенками. Это позволяло избежать опасности возникновения тромбов.

Открытие Карреля дало хирургам возможность проводить сложные операции. Дальнейшие работы Карреля посвящены трансплантации. Пересадка органов — давняя мечта человечества. Каррель произвел на животных множество операций по пересадке органов, показав, что хирургия в принципе уже созрела для такого рода опе-

раций. Медицинская наука в целом, однако, еще не была готова. Организм неизбежно отторгал пересаженные органы, а ученые того времени не имели ни малейшего понятия о тканевой несовместимости. Казалось, что пересадка органов может успешно осуществляться только между однойяцевыми близнецами. Обладая интуицией крупного ученого, Каррель уже тогда поставил вопрос о специальном подборе доноров, предвосхитив тем самым современные представления о тканево-групповой совместимости организмов.

Эта проблема не решена и поныне. Трансплантация до сих пор остается лишь крайней мерой в тех случаях, когда нет иного выбора. Так что медицинской науке еще предстоит искать пути решения вопроса о замене органов — возможно, путем использования механизмов регенерации или «выращивания» в пробирке запасных частей для организма. Однако мы несколько отвлеклись от работ Карреля, который благодаря ловкости рук и острому уму остался в истории медицины прежде всего как великий хирург. В начале века его деятельность дала мощный толчок развитию хирургии, и в 1912 г. за создание методов сшивания кровеносных сосудов и работы по трансплантации органов А. Каррель был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Родившись в туманном Торсхавне на Фарерских островах, Нильс Рюберг Финзен (Финсен), еще будучи студентом-медиком в Копенгагене, посвятил себя фототерапии (светолечению) — изучению благотворного действия на человеческий организм ультрафиолетового излучения. Ознакомившись с имеющимися в этой области результатами, Финзен организовал в 1893 г. лечение больных оспой в комнатах с красным светом; это позволяло предотвратить образование шрамов на коже. Затем Финзен занялся одним из самых тяжелых заболеваний, причинявшим страдания миллионам людей. Речь идет о туберкулезе кожи, при котором, в частности, на коже лица, образуются язвы. Ранее некоторые врачи уже предпринимали попытки лечить туберкулез кожи концентрированным солнечным светом. При таком лечении больная ткань выжигалась, и это приводило к образованию шрамов. Финзен решил применить ультрафиолетовые лучи, которые, как было известно, оказывают бактерицидное действие. В естественных условиях больные подвергались воздействию солнечного света; при лечении в

помещении для этого использовалась электрическая дуга. В этом случае ожогов не происходило, а туберкулезные бактерии погибали под действием ультрафиолетового излучения.

Результаты были поистине замечательные. Люди с очень тяжелой формой болезни полностью выздоравливали. Новость об успехах доктора Финзена облетела мир; тысячи отчаявшихся больных устремились к врачу с надеждой на излечение. Эти впечатляющие результаты полностью соответствовали духу завещания А. Нобеля, и поэтому уже в 1903 г. Н. Финзен был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине.

С древних времен известна поговорка «клин клином вышибают». Еще Гиппократ знал, что душевнобольные, переболев лихорадкой, могут вылечиться или по крайней мере значительно улучшить свое состояние. Вообще говоря, клиницисты уже давно замечали это, но лишь в конце прошлого века появился врач, решивший построить на этом терапию психических заболеваний. В 1887 г. Юлиус Вагнер-Яурега из психиатрической клиники Венского университета опубликовал полученные им результаты лечения психических больных путем заражения их инфекционными заболеваниями. Он имел, в частности, в виду малярию, от которой сравнительно легко можно было потом избавиться с помощью хинина. Но решение заразить душевнобольного опасной инфекционной болезнью в общем-то ставит серьезные проблемы из области медицинской этики, и австрийский врач в конце концов бросил заниматься подобными экспериментами. Однако в своей клинической практике в различных психиатрических лечебницах страны он по-прежнему сталкивался со случаями спонтанной ремиссии у душевнобольных, перенесших пневмонию, абсцесс или другие острые инфекционные заболевания. Особенно показательны были случаи с прогрессирующим параличом, последствием тяжелых форм сифилиса. Медицина не располагала никакими средствами лечения этого паралича, и больные были обречены на пребывание в психиатрических клиниках до конца своих дней. Но в 1917 г. один из пациентов Вагнера-Яурегга заболел малярией, и лихорадочное состояние изменило исход болезни. Врач, наверное, воспринял это как перст судьбы, потому что вскоре начал эксперименты, целенаправленно заражая малярией больных прогрессирующим параличом. Были достигнуты уди-

вительные результаты. Если без такого лечения выживало не более одного процента больных, то после применения необычной терапии у 30—40 процентов больных наблюдалось полное выздоровление или значительное улучшение состояния здоровья. Люди, обреченные на смерть, возвращались к нормальной жизни.

Сегодня прогрессивный паралич, как и сам сифилис, лечатся с помощью сильных антибиотиков; но шесть десятилетий назад таких лекарств не существовало и метод Вагнера-Яурега был единственным спасительным средством. Лично он за 10 лет вылечил тысячу больных. Через кабинеты его коллег из всех стран мира прошли еще много тысяч несчастных. Заслуги австрийского врача перед человечеством получили высокую оценку, и в 1927 г. он был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие терапевтического значения заражения малярией для лечения прогрессивного паралича.

В 1920 г. Джордж Хойт Уипл из Калифорнийского университета занялся изучением влияния пищи на работу кроветворных органов. Логика его экспериментов была проста и ясна. Он делал солидное кровопускание подопытным собакам, после чего, назначив им соответствующую диету, следил за процессом восстановления крови. Кровяная жидкость очень быстро пополнялась за счет притока из тканей. Это, однако, вызывало разжижение крови, так как количество кровяных клеток в определенном объеме уменьшалось и практически приводило к возникновению искусственной анемии. Врачам было хорошо известно, что при потере крови и анемии необходимо усиленное питание. Оставалось, однако, неясным, какая из составных частей пищи в этом отношении наиболее действенна. Простые эксперименты Уипла позволили ответить на этот вопрос.

Одних из обескровленных собак кормили мясом, других — внутренностями, третьих — смешанной растительной пищей. Было установлено, что кровь быстрее всего восстанавливается при потреблении сырой печени, далее идут почки, мясо и некоторые растительные продукты, например абрикосы. Опыты Уипла, начатые в Калифорнийском университете в Сан-Франциско и продолженные в Рочестерском университете в Нью-Йорке, были хорошо спланированы, аккуратно проведены и вызвали интерес в медицинских кругах. Два врача из Гарвардского уни-

верситета решили поставить подобные эксперименты на людях, причем не на добровольцах, в лабораторных условиях, а на больных, страдающих злокачественным малокровием в остройшей форме. При этом заболевании наблюдаются значительная потеря веса и изменение состава крови: количество красных кровяных телец уменьшается с 5 млн. до 1 млн. или даже до 600—700 тысяч в 1 мм³. За небольшим исключением, болезнь в течение нескольких месяцев приводила к смерти.

Джордж Ричардс Майнот и Уильям Парри Мёрфи воспользовались открытием Уипла, чтобы помочь своим пациентам. Их первая работа была опубликована в 1926 г. под названием «Лечение злокачественного малокровия специальной диетой». Пациентам давали печень, почки, мясо и овощи, т. е. продукты, наиболее эффективные в экспериментах с лабораторными животными. Впоследствии Майнот и Мёрфи остановились на сырой говяжьей печени, давая ее пациентам по несколько сот граммов в день. Потребовались, однако, немалые усилия, чтобы убедить больных согласиться на такую непривлекательную диету. Нелегко было также и преодолеть скептицизм коллег, которые, занимаясь поисками возбудителя болезни, отказывались верить, что иногда достаточно было стабилизировать болезнь, не вылечивая ее окончательно. Как раз в 20-е годы в экстракте поджелудочной железы было обнаружено вещество, названное инсулином. Оно оказалось эффективным средством, с помощью которого удавалось поддерживать нормальное состояние больных диабетом, хотя и путем периодических инъекций. Под влиянием работ Майнота и Мёрфи постепенно возобладало мнение, что и в печени содержится какой-то активный агент, предотвращающий развитие злокачественного малокровия.

Исследования, начавшиеся с простых экспериментов Уипла и продолженные опытами Майнота и Мёрфи, привели к полной победе над злокачественным малокровием. «Печеночная терапия» и другие методы лечения, развившиеся на ее основе, позволили спасти десятки тысяч людей и вычеркнуть эту болезнь из числа потенциально опасных для человека. Это послужило достаточно веским основанием для Каролинского института, чтобы присудить в 1934 г. премию по физиологии и медицине Дж. Уиплу, Дж. Майноту и У. Мёрфи за открытие метода лечения злокачественного малокровия.

Исследования биохимиков показали, что активное вещество, содержащееся в печени, имеет сложный состав. Оно состоит из мукопротеина, выделяемого стенками желудка, и еще одного вещества, которое оказалось витамином В₁₂. В наши дни злокачественное малокровие и другие заболевания, связанные с нехваткой этого витамина, лечатся всего лишь одной инъекцией. В ряде случаев при анемии уместно использование и витамина В₉ — фолиевой кислоты. Она, как и витамин В₁₂, является кофактором ферментов, принимающих участие в гемопоезе.

XIX в. стал свидетелем зарождения и быстрого развития органической химии. К концу столетия было разработано огромное количество методов синтеза. Немецкий ученый Пауль Эрлих решил воспользоваться ими для получения новых лекарств. Это ознаменовало начало современного этапа химиотерапии, для которого характерно целенаправленное синтезирование лекарственных препаратов.

Эрлих мечтал о «магической пуле», которая поражала бы возбудителя болезни, не причиняя вреда организму. Талантливый руководитель, он объединил вокруг себя группу химиков, которые с завидным упорством занимались исследованием разнообразных химических веществ, пока наконец шестьсот шестое апробированное соединение не показало лечебного эффекта, — так было найдено средство против бледной спирохеты, возбудителя сифилиса. Препарат сальварсан («спасительный мышьяк») помогал излечивать и некоторые другие инфекционные заболевания. Так в 1909 г. Эрлих обрел всемирную известность, и его пример вдохновил многих ученых на поиски и синтез новых лекарственных веществ.

Эрлих, один из пионеров иммунологии, за эти открытия был удостоен в 1908 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине. В 1912 и 1913 гг. его кандидатуру вновь выдвигали на Нобелевскую премию, но пока Нобелевский комитет колебался и выжидал, создатель сальварсана умер (1915), и тем самым вопрос был снят.

После мышьяковых препаратов Эрлиха ученые занялись поиском других аналогичных соединений. Фирма «Байер» предложила лекарства атебрин и плазмохин, содержащие сурьму. Они оказывали лечебное действие против малярии и некоторых тропических болезней. Успешно были использованы в качестве лекарства про-

тив сифилиса и соединения висмута. В то время как средства лечения заболеваний, вызываемых простейшими, были найдены, перед бактериальными инфекциями врачи оставались бессильными. Так продолжалось до 1933 г., когда группа исследователей, работавшая под руководством Герхарда Домагк, сообщила об успешных испытаниях синтезированного красного пронтозила — первого антибактериального средства.

В лаборатории немецкого микробиолога и химика проводились систематические исследования по заражению лабораторных животных патогенными бактериями. После этого путем инъекции животным вводилось испытываемое вещество и велось тщательное наблюдение за дальнейшим развитием болезни. 20 декабря 1932 г. профессор Домагк ввел мышам гемолитические стрептококки в дозе, в 10 раз превышающей смертельную. Спустя полтора часа некоторым из зараженных животных сделали инъекцию пронтозила — соединения из группы сульфаниламидов. Через 4 дня инфекция полностью уничтожила животных контрольной группы, а мыши, которым был введен пронтозил, выздоровели. Уже в начале 1933 г. новое лекарство получили клиницисты, чтобы опробовать на практике. В мае того же года на научном конгрессе был сделан первый доклад о результатах проведенных испытаний. Постепенно в научных кругах узнали о появлении нового сильного средства против болезнетворных бактерий. Официальное сообщение Герхард Домагк сделал, однако, лишь в феврале 1935 г., когда уже были известны все подробности о пронтозиле и его действии. Отныне новое лекарство стало производиться в промышленных масштабах и широко внедряться в практику.

Открытие Г. Домагк и сейчас, спустя десятилетия, оценивается как революция в медицине. Оно стимулировало дальнейшие исследования антибиотиков. Большой вклад немецкого ученого был бесспорен, и в 1939 г. профессора Каролинского института приняли решение присудить ему Нобелевскую премию по физиологии и медицине за получение пронтозила, эффективного средства против бактериальных инфекций. Нацистские руководители Германии заставили профессора Домагк «отказаться» от премии, но после окончания второй мировой войны он, как и другие немецкие ученые — нобелевские лауреаты, смог получить медаль и диплом.

Успешное использование сульфаниламидов в борьбе

против инфекции сыграло решающую роль в упрочении позиций химиотерапии. Многие ученые посвятили себя исследованию таинственных веществ, выделяемых микроорганизмами и способных подавлять развитие других микроорганизмов. В сущности, этот антагонизм ученые наблюдали еще в прошлом веке, но, поскольку было неизвестно, как его использовать на практике, интерес к этому явлению медленно угасал. Как заявил много лет спустя Александер Флеминг, хорошо известный факт об антагонизме бактерий скорее задержал, нежели стимулировал, исследование антимикробных субстанций.

Английский микробиолог и биохимик А. Флеминг приобрел известность в 1922 г. благодаря открытию фермента лизоцима. Этот фермент, содержащийся в слезной жидкости, слюне и некоторых тканях, вызывает лизис — разрушение микроорганизмов. К сожалению, такое его действие избирательно и проявляется только в особых условиях. В 1928 г., занимаясь исследованиями стафилококков, Флеминг случайно заметил, что бактериальные культуры заражены плесенью и в местах, куда проникла плесень, культуры стафилококка погибли. К тому времени ученый обладал уже достаточным опытом выделения биологически активных веществ. Его мысль также работала в соответствующем направлении. Как он сам говорил позднее, главная его задача в данном случае состояла в том, чтобы не пренебрегать фактом, который в общем-то можно было считать тривиальным, так как об антагонизме между микроорганизмами уже в какой-то степени было известно.

Флеминг стал культивировать эту зеленую плесень — пенициллиум и вскоре обнаружил, что в жидкую питательную среду проникает крайне сильнодействующее антибиотическое вещество, уничтожающее микробов даже при очень низкой его концентрации. В соответствии со сложившейся традицией Флеминг назвал его пенициллином — по наименованию выделяющего его организма. В 1929 г. Флеминг описал сильное антибиотическое действие пенициллина, после чего провел эксперименты по его практическому применению, используя активный раствор пенициллина для очистки ран. Пенициллин, которым пользовался ученый, был сильно загрязнен различными веществами, и поэтому его действие нельзя было оценить в полной мере. Тем не менее Флемингу удалось выяснить, какие группы бактерий он уничтожает, а так-

же тот важный факт, что он не затрагивает белых кровяных телец, обладающих повышенной чувствительностью.

Через три года после открытия Флеминга группа английских биохимиков попыталась получить пенициллин в чистом виде. Попытка не удалась, так как оказалось, что антибиотик легко теряет свои свойства в процессе очистки. Какое-то время он оставался биохимической экзотикой, пока им не занялись всерьез Эрнст Борис Чейн и Хоуард Уолтер Флори из Оксфордского университета.

В 1938 г. эти двое ученых приступили к исследованиям антибактериальных веществ, образуемых микроорганизмами. Они уже работали с лизоцимом, и это привело их к сотрудничеству с Флемингом, от которого они и получили штаммы пенициллина. Исследователи поставили перед собой трудную задачу — выделить пенициллин в чистом виде. Чейн и Флори собрали группу талантливых сотрудников, увлеченно работающих в своей области, и скоро начали получать хорошие результаты. К 1940 г. была создана реальная возможность для использования пенициллина в качестве лекарства — разработана технология его очистки от веществ, дающих вредный побочный эффект. Это было время, когда все сильнее разгорался пожар второй мировой войны. Официальное сообщение об открытии пенициллина было сделано в августе 1941 г. После этого в США в исключительно короткие сроки были построены огромные предприятия по производству пенициллина для нужд армии. Немецкая и японская разведывательные службы приложили немало усилий, чтобы узнать тайну этого лекарства, о котором ходили легенды; однако до конца войны оно осталось достоянием только стран антигитлеровской коалиции.

Три исследователя, открывшие и выделившие пенициллин в чистом виде, обрели поистине всемирную известность. Флеминг и Флори были возведены в пары, стали членами научных обществ и академий наук разных стран. Флеминг был выбран почетным вождем племени кайова в Северной Америке. Но самое большое научное признание пришло к ученым в 1945 г.: Каролинский институт присудил А. Флемингу, Э. Б. Чейну и Х. У. Флори Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие пенициллина и исследование его терапевтических свойств.

В одном грамме почвы содержатся миллионы бактерий, плесеней и других микроорганизмов. Все они взаимо-

действуют между собой; каждый из этих микроорганизмов выделяет какие-то вещества, которые либо стимулируют, либо подавляют его соседей. Очевидно, имеется возможность найти среди них соединения, оказывающие антибактериальное действие. Например, было известно, что туберкулезные палочки, попадая в почву, быстро погибают. В 1932 г. Американская ассоциация по борьбе с туберкулезом поручила профессору Зельману Абрахаму Ваксману, известному специалисту-микробиологу из сельскохозяйственного колледжа Рочестерского университета в Нью-Брансуике, провести исчерпывающие исследования в этой области.

Подтвердив результаты предшествующих наблюдений, Ваксман сделал вывод, что исчезновение туберкулезных бактерий обусловлено действием микробного антагонизма. Для практического удобства он ввел в употребление короткий термин — антибиотик. Согласно его определению, антибиотик — это вещество, производимое одним микробом для борьбы с другим.

Особенно увлекли Ваксмана грибки из группы актиномицетов; еще в 1915 г. он выделил из почвы один из видов актиномицетов — актиномицес гризеус. В 1943 г. это название изменили на стрептомицес, и в том же году был получен антибиотик стрептомицин. Небольшая плесень оказалась источником эффективного антибиотика, который, великолепно дополняя пенициллин, уничтожал те микробы, которые еще оставались неуязвимыми.

В январе 1944 г. Ваксман и его сотрудники опубликовали совместную работу, где описывалось новое лекарство. Вскоре после этого врачи из клиники Майо в Рочестере (шт. Нью-Йорк) провели клиническое опробование стрептомицина. Пациенты с неизлечимой формой туберкулеза обрели надежду на спасение. Впервые врачи получили средство для борьбы с «белой чумой». Это было крупным успехом, и в 1952 г. З. А. Ваксман был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие стрептомицина — первого антибиотика, эффективного средства борьбы с туберкулезом.

В поисках методов лечения заболевания существует и другое направление, связанное с использованием естественных механизмов регуляции и защиты организма. Мы уже рассказывали о Вагнере-Яурегге, который излечивал одну болезнь, пробуждая защитные силы организма с помощью другой. Чарлз Брентон Хаггинс из Чикаго

ского университета приобрел известность тем, что стал использовать механизм гормональной регуляции для лечения некоторых раковых заболеваний. Его объектом исследования была предстательная железа (простата). Развитие и функции этого органа мужской половой системы находятся под непосредственным воздействием половых гормонов. Хаггинс задался вопросом: а не продолжают ли и раковые клетки испытывать влияние гормонов и нельзя ли это использовать для регуляции и подавления роста опухоли? Опыты на собаках показали, что это возможно. Женские половые гормоны успешно подавляли рост клеток предстательной железы, в том числе и тех, которые претерпели злокачественное перерождение. Подобный эффект наблюдался и при устранении половых желез, так как при этом вырабатывалось меньше мужских половых гормонов, стимулирующих рост клеток простаты.

То обстоятельство, что злокачественные клетки предстательной железы сохраняли способность реагировать на гормоны, было сразу использовано для лечения больных. Взявшись за пациентов, от которых отказались даже хирурги, Хаггинс добился замечательных результатов. С помощью разработанного им метода гормонотерапии (применяя женские половые гормоны) он добился излечения рака предстательной железы. Это был совершенно новый способ лечения раковых заболеваний. Клетки опухоли подвергались воздействию специфических веществ, дарованных самой природой. Подобный метод, хотя и в ограниченной степени, был использован и для лечения рака молочной железы. Хаггинс не только достиг сенсационных результатов, но и внес ценный вклад в теорию терапии, подав идею использования для лечебных целей веществ, синтезируемых самим организмом. Впоследствии были созданы комплексные методы уничтожения раковых клеток. Например, гормон связывался химическим путем с молекулой ядовитого вещества, в результате чего яд не уничтожал клетки «без разбора», а попадал точно в цель — в клетку, которая реагировала на этот гормон. За открытия, связанные с гормональным лечением рака предстательной железы, Хаггинс вместе с Роусом был удостоен в 1966 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Организм человека и других живых существ имеет сложную систему защиты от инородных тел и молекул. В природе существует множество разнообразных бактерий и вирусов, значительная часть которых патогенна. Но против многих из них человек имеет естественный врожденный иммунитет. При некоторых заболеваниях болезнетворные бактерии, попадая в организм, пробуждают его защитные силы на борьбу с болезнью. Это приобретенный активный иммунитет. При других заболеваниях организм также вырабатывает антитела, борющиеся с «нашествием», но это происходит очень медленно и потому не может оказать эффективного воздействия на болезнь. В таком случае организму следует помочь, введя в кровяную сыворотку готовые антитела из другого организма. Это приобретенный пассивный иммунитет.

Методы вакцинации, предложенные английским врачом Эдуардом Дженнером в конце XVIII в., которые усовершенствовали Луи Пастер и другие ученые в XIX в., дают возможность развить у организма приобретенный активный иммунитет. С помощью искусственно введенных патогенов, которые по своему действию похожи на настоящих возбудителей болезни, организм учится бороться с попавшими в него опасными микробами и распознавать их. Другому исследователю, немецкому бактериологу Эмилю Адольфу Берингу, принадлежит первый метод создания пассивного иммунитета. Он разработал способ иммунизации против дифтерии; победа, одержанная над этой болезнью, вызвала в конце прошлого века порыв энтузиазма.

В 1890 г. Беринг вместе со своим сотрудником японским микробиологом Шибасабуро Китасато установил, что при инъекции животным стерильных культур из бацилл столбняка или дифтерии в крови образуются антитела, способные нейтрализовать токсины, выделяемые

живыми бактериями. Выяснилось одно еще более важное обстоятельство, а именно что антитоксины одного животного, введенные другому, могут излечивать. Эти чудодейственные вещества содержались в кровяной сыворотке. Через год, в ночь на рождество 1891 г., в одной из берлинских клиник была перелита сыворотка больному ребенку. Это был первый случай лечения человека от дифтерии с помощью сыворотки. Вскоре этот метод получил широкое распространение во всем мире, и смертность от дифтерии снизилась от 35 до 5%. Лечебную сыворотку получали от животных (например, лошадей) и после очистки использовали для лечения людей.

Исследования Беринга не только привели к победе над дифтерией, но и открыли новую область в медицине, дав мощный толчок развитию иммунологии. Завоевав мировую известность, Э. Беринг в 1901 г. по праву стал первым лауреатом Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие лечебных свойств сыворотки.

В начале нынешнего века было сделано одно интересное открытие: выяснилось, что иммунология позволяет объяснить явления, наблюдаемые при переливании крови. В 1901 г. австрийский иммунолог Карл Ландштейнер сообщил ученому миру, что открыл три различные группы крови человека, а в 1902 г. его сотрудник Адриано Штурли описал и четвертую группу. Однако, как ни странно, это столь важное открытие не вызвало в то время особого интереса.

Еще в 1903 г. Ландштейнер утверждал, что случаи шока, желтухи и гемоглобинурии, наблюдаемые нередко при переливании крови, вызываются несовместимостью различных групп крови. Но лишь в 1909 г. в медицинских кругах возобладало мнение, что переливание крови между людьми, имеющими одну и ту же группу крови, абсолютно безопасно. Так, первым последствием открытия Ландштейнера оказалось введение в медицинскую практику переливания крови, что имело исключительно большое значение для хирургии и в ряде случаев для клинической медицины.

В тот же период, в 1901—1903 гг., Карл Ландштейнер показал, что знание групп крови людей очень важно и для судебной медицины. Красные кровяные тельца характеризуются различными факторами, определяющими группу крови данного лица. У одних людей эритроциты имеют фактор А, эритроциты других содержат

фактор В. У некоторых людей возможно присутствие двух факторов одновременно (это группа крови АВ) или их отсутствие (группа О). Так выяснилось, что группа крови — это одна из «характеристик» человека.

Третьей областью, где нашло применение открытие Ландштейнера, была иммуногенетика, основателем которой он по праву считается.

Ландштейнер продолжал активную научную деятельность до преклонного возраста; он умер 24 июня 1943 г. в своей лаборатории от сердечного приступа. Неутомимый исследователь внес заметный вклад в различные области экспериментальной медицины, но его важнейшим достижением, безусловно, было открытие групп крови. За это открытие К. Ландштейнер был удостоен в 1930 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

Еще Эдуард Дженнер, производя первые вакцинации, заметил, что иногда они не уничтожают восприимчивость организма к болезни, а, наоборот, вызывают острую реакцию. Для получения антидифтерийной сыворотки Беринг иммунизировал лошадей, у которых затем и брали кровяную плазму, содержащую антитела. Все лошади получали одну и ту же дозу токсина путем последовательных инъекций через определенные промежутки времени. Однако у некоторых животных, хотя это случалось довольно редко, наблюдался шок, а иные из них даже умирали. После того как сыворотка стала широко применяться для терапии, подобные явления наблюдали и другие ученые. Французский физиолог и бактериолог Шарль Рише из Парижского университета первым понял, что здесь речь идет не о случайности, а о некой, пока еще неизвестной закономерности жизненных процессов.

Открытие, подтвердившее это предположение, в какой-то степени было случайным. Как-то Рише плавал на яхте с принцем Монако Альбертом, проявлявшим большой интерес к океанографии, и тот посоветовал ученому заняться секрецией яда медуз из рода физалий. Однако путешествие было непродолжительным, и по возвращении во Францию Рише вынужден был довольствоваться родственниками физалии с побережья Атлантического океана. В его лаборатории экстрагированный из медуз яд вводили путем инъекции собакам. Рише ожидал, что, привыкнув к яду, животные приобретут иммунитет (так

стало принято говорить об искусственно созданной устойчивости организма к болезням). Однако, к большому удивлению ученого, повторное введение яда оказывалось роковым для собак; они приобрели не иммунитет, а, напротив, повышенную чувствительность.

Более десяти лет посвятил Рише исследованию этого феномена. Изучив все его особенности, он показал, что это явление как бы обратное иммунитету. Рише назвал его анафилаксией, что значит «обратная профилактика». Открытие Рише тотчас принесло непосредственную пользу медицине. Ученые разработали тесты для предварительной проверки реакции организма на введение тех или иных веществ, чтобы предотвратить наступление смертельного шока. В 1907 г. Рише установил, что анафилаксия возникает при переливании кровяной сыворотки, т. е. она связана с каким-то химическим веществом, содержащимся в крови. Французский ученый изложил свои результаты в опубликованной в 1912 г. монографии. В следующем, 1913 г. Шарль Рише был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине за открытие и исследование явления анафилаксии.

Рише положил начало новому направлению в медицине. Оказалось, что ряд заболеваний связан с проявлением сверхчувствительности организма. Эти заболевания стали объектом новой науки — аллергологии. Термин «аллергия» был введен Клемансом Пирке в 1906 г. Метод борьбы с анафилаксией предложил русский ученый Александр Михайлович Безредка, ученик и сотрудник И. И. Мечникова (он ввел термин «анафилактический шок»). Он обосновал принципы десенсибилизации — постепенного введения в исключительно малых дозах опасного вещества до тех пор, пока организм к нему не привыкнет (этот прием предупреждения шока при лечении сывороткой получил название «метод Безредки»). И по сей день аллергия остается острой проблемой медицины, а анафилактический шок порой застаёт врачей врасплох. Однако в принципе наука располагает средствами для борьбы с ними.

Первые исследователи иммунитета считали, что эта реакция организма направлена исключительно против болезнетворных бактерий. Но Жюлю Борде, директору Пастеровского института в Брюсселе, удалось показать, что существуют иммунные реакции и против безобидных клеток других организмов и что это универсальная реак-

ция организма на любые инородные тела. Так было положено начало неинфекционной иммунологии.

Изучая иммунологические процессы, Борде обнаружил, что в иных случаях неудобно использовать бактерии в качестве антител. Микроорганизмы быстро размножаются, и на этом фоне картина иммунных процессов нарушается, так что их становится трудно интерпретировать. Оказалось, что легче вводить в качестве антител клетки из другого организма, например красные кровяные тельца. Борде первый исследовал эффект такого воздействия, показав, что это очень удобная модель для исследования, поскольку чужие клетки вызывают точно такую же иммунную реакцию, что и микробы. Впоследствии выяснилось, что эти исследования Борде имели значительно более глубокий смысл, так как показали биологическую несовместимость клеток различных организмов, т. е. они поставили проблему, которая до сих пор занимает умы трансплантологов. В сущности, именно продолжая и совершенствуя опыты Борде по иммунному отторжению красных кровяных клеток, Ландштейнер и открыл группы крови человека.

Огромный научный вклад в иммунологию принес бельгийскому ученому широкую известность. В 1919 г. Ж. Борде получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытия, связанные с иммунитетом. Своей деятельностью ученый внес ценный вклад в теоретическую разработку и практическое использование иммунологии.

В 1882 г. в одной из лабораторий Мессины (Италия) русский ученый Илья Ильич Мечников занимался исследованиями в области сравнительной эмбриологии. Объектом служили личинки морской звезды. В 20-х числах декабря Мечников поставил простой эксперимент: вставил в эти личинки небольшие растительные колючки. На следующее утро он заметил, что около колючек собрались подвижные клетки, которые стремились уничтожить инородное тело. Он подробно описал свои наблюдения, и в 1883 г. рассказал о них известному австрийскому зоологу Карлу Клаусу. Венский профессор предложил назвать это явление фагоцитозом, а подвижные клетки — фагоцитами (что значит «пожирающие клетки»).

Это было крупным открытием И. И. Мечникова, но, в сущности, оно явилось закономерным итогом всей его предшествующей деятельности. 80-е годы XIX в. были

периодом утверждения иммунологии, и теория Мечникова возникла как раз вовремя. К сожалению, медики, для которых она в первую очередь и предназначалась, просто-напросто отвергли его «зоологические доводы». Факты свидетельствовали о том, что сыворотка содержит активные вещества, нейтрализующие токсины, и, как стало понятно позднее, эти вещества разрушают и микроорганизмы. Однако ученые того времени для построения своих теорий «не нуждались» в белых кровяных тельцах, и, более того, многие из них продолжали считать, что эти элементы не являются нормой для крови, а образуются только при болезни и инфекции. Нападкам подвергались не только теоретические исследования Мечникова, но и его практическая деятельность. В 1886 г. он совместно с Н. Ф. Гамалеей и Я. Ю. Барабаром в Одессе основал первую в России бактериологическую станцию. Местные врачи не могли смириться с тем, что человек, не являющийся профессиональным медиком, пытается навязывать им новые методы, и всячески мешали его работе. В 1888 г. Мечников поехал для консультаций в Париж к Пастеру. Но вместо советов Пастер предложил лабораторию в своем институте. Там Мечников и остался до конца своей жизни.

После проверки своей теории на личинках морской звезды Мечников взялся за более сложные организмы, включая организм человека. Он добился интересных и впечатляющих успехов в различных областях микробиологии и иммунологии и приобрел всемирную известность. В 1903 г. английские ученые Альмрот Райт и Стюарт Дуглас обнаружили в сыворотке иммунизированных животных вещества (они называли их опсонинами), которые, прилипая к бактериям, как бы подготавливают их поглощение фагоцитами. Образно говоря, бактерии должны быть «намазаны маслом», прежде чем их съедят фагоциты. Это в известной степени сближало биологическую теорию иммунитета с развиваемой Эрлихом химической теорией этого явления.

В 90-е годы прошлого столетия бесспорным лидером химического направления в иммунологии был Пауль Эрлих. Он первым установил существование латентного периода между инъекцией токсичных веществ и образованием антител, развил концепцию амбоцептора и компонента — веществ, участвующих в «подготовке» микробов к уничтожению и в самом их уничтожении. Эрлих

исследовал процесс передачи иммунитета через плаценту и материнское молоко, уточнив тем самым различие между врожденным активным иммунитетом и активным иммунитетом, приобретаемым организмом, а также пассивным иммунитетом, который вырабатывается в результате инъекции сыворотки. Эрлих, будучи медиком по образованию, имел мышление химика и неустанно искал пути к выявлению сущности антител. Он первым показал, что они, вероятнее всего, являются глобулинами, т. е. белковыми молекулами шаровидного строения, присутствующими в сыворотке крови. Вершина достижений Эрлиха в иммунологии — так называемая теория «боковых цепей». Он выдвинул гипотезу, что клетка имеет рецепторы, которые улавливают инородные тела и модифицируются, приспособляясь к ним. Это вырабатывает у них способность немедленно распознавать врага при повторной встрече. Гениальная догадка Эрлиха получила подтверждение десятилетия спустя, когда Родни Роберт Портер и Джералд Эдельман определили молекулярное строение антител.

В 1908 г. Нобелевский комитет при Каролинском институте, как бы стремясь примирить двух давних оппонентов — И. И. Мечникова и П. Эрлиха, принял решение об одновременном присуждении им Нобелевской премии по физиологии и медицине в знак признания выдающихся заслуг в развитии иммунологии. Мечников привнес в эту науку клеточную теорию, а Эрлих приблизился к раскрытию молекулярного механизма иммунной реакции. Но в момент награждения никто из них уже не занимался иммунологией.

Исследовав кишечную микрофлору, Мечников пришел к выводу, что выделяемые ею токсины отравляют организм и ускоряют его старение. В связи с этим он рекомендовал потреблять больше кислого молока — эта диета одно время была весьма популярной.

Поняв ограниченные возможности сывороточной терапии, Эрлих вернулся к занятиям своей молодости — подбору красителей для окрашивания препаратов, предназначенных для исследований под микроскопом. Теперь он попытался модифицировать химические красители, с тем чтобы получить из них лекарственные средства. И действительно, создав свой знаменитый сальварсан, он стал одним из основателей современной химиотера-

нии. Его кандидатура вторично выдвигалась на Нобелевскую премию.

Первые данные о деятельности иммунной системы организма были получены при изучении различных заболеваний. Прошли, однако, десятилетия, прежде чем стало ясно, что иммунные процессы — это универсальное биологическое явление, одна из фундаментальных особенностей живых организмов. В 40-е годы возник новый подход к изучению данного явления. Среди тех, кто внес значительный вклад в эти исследования, был Питер Брайан Медавар, английский зоолог и иммунолог, родившийся в Рио-де-Жанейро. В годы второй мировой войны этот ученый много занимался проблемой пересадки кожи. В 1947 г., будучи профессором зоологии Бирмингемского университета, Медавар продолжил свою работу, создав тест для определения зиготности телят-близнецов путем пересадки кожи. Так он познакомился с одним из исследований Ричарда Оуэна, осуществленным в 1945 г. В нем описывалось, как у эмбрионов телят-близнецов иногда соединяются кровеносные системы, что приводит к взаимному обмену клетками крови. У одного из новорожденных до 50% клеток крови могут быть от другого индивида, и, несмотря на это, организм не показывает реакции отторжения. Значение этого факта для иммунологии первым оценил Фрэнк Макфарлейн Бёрнет из Института медицинских исследований Уолтера и Элизы Холл в Мельбурне.

Австралийский иммунолог обратил внимание на то обстоятельство, что способность организма к иммунной реакции не наследуется, а развивается в первые недели жизни. Основываясь на этом факте, Бёрнет разработал в 1949 г. общую теорию иммунитета. Согласно этой теории, главная задача иммунной системы заключается в распознании «своего» и «чужого» и борьбе с «чужим». Эта способность начинает развиваться в организме к концу внутриутробного периода, и, если в этот период в организм попадают инородные тела (как это было у телят-близнецов), то еще недоразвитая иммунная система организма принимает их за «своих».

Однако это оставалось всего лишь хорошей теорией, пока Медавар со своими сотрудниками не дал ей экспериментального подтверждения. Вначале исследователи производили пересадку кожи у телят, а затем ставили эксперименты на мышах. Последние были особенно удоб-

ны, ибо позволяли работать с так называемыми чистыми линиями, т. е. животными, которые длительное время скрещивались между собой, поэтому были генетически почти идентичными. Решающие эксперименты были осуществлены в 1951—1953 гг. Питером Медавара, Руппертом Биллингемом и Лесли Брентом. Они подтвердили идеи Бёрнета о постепенном развитии иммунной системы и возможности приобретения организмом иммуноtolерантности (терпимости к инородным телам) на ранних этапах его развития. В то же самое время Милан Гашек в Праге пришел к подобным выводам, работая с цыплятами, но он исходил из иных теоретических посылок.

Эти исследования в конце 40-х — начале 50-х годов дали толчок теоретическим обобщениям в иммунологии, благодаря чему эта наука приблизилась к разгадке молекулярных основ иммунитета. В знак признания этих успехов эксперты Каролинского института приняли в 1960 г. решение присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Бёрнету и Медавару за открытие явления приобретенной иммуноtolерантности.

В то время были уже достигнуты решающие успехи в исследовании природы молекул, ответственных за иммунные реакции. Еще в конце прошлого века удалось установить, что при иммунных реакциях происходит связывание какого-то вещества из кровяной сыворотки с антигеном, попавшим извне. Позднее выяснилось, что антитела — это белковые вещества. Но лишь в 1959 г. два исследователя нашли способ расщепления молекул антител на фрагменты, удобные для исследования. Это были Родни Портер из Национального института медицинских исследований в Лондоне и Джералд Эдельман из Рокфеллеровского института медицинских исследований в Нью-Йорке. Работая параллельно, они определили структуру антител — иммуноглобулинов.

Некоторые из аминокислот, входящих в состав полипептидных цепей, содержат серу. Между атомами серы, находящимися в соседних цепях, могут образовываться так называемые дисульфидные мостики, связывающие цепи. Эдельман разрушал эти мостики специальными редуцирующими агентами, расщепляя таким образом белковые молекулы на иммуноглобулинные фрагменты. Портер достиг того же результата с помощью фермента папаина и показал наличие в антителе трех участков. Два из них (одинаковые по своей химической природе)

способны взаимодействовать с антигеном. Третий выполняет иные биологические функции, характерные для молекулы антитела в целом; оказалось, что этот участок одинаков во всех антителах. Так выяснилась важная особенность иммуноглобулинов: наличие фрагментов, общих для молекул всех антител, и фрагментов, определяющих специфичность данного антитела. Результаты Портера хорошо согласовывались с выводами Эдельмана о наличии в молекуле иммуноглобулина тяжелых и легких пептидных цепей.

Основываясь на этих данных, Портер предложил в 1962 г. схему строения молекулы антител; согласно его схеме, молекула иммуноглобулина состоит из четырех цепей. Две из них — «тяжелые», содержащие много аминокислот. Эти цепи связаны между собой дисульфидными мостиками, и такими же мостиками к ним прикреплены две «легкие» цепи. Впоследствии эта схема получила убедительное подтверждение. В лаборатории Эдельмана было доказано, что даже у самых низших позвоночных (мног и акул) молекулы антител построены по такому же принципу.

Удивительная способность иммуноглобулинов к модификации существенно затруднила исследования на раннем этапе. Выход нашел Эдельман, показав, что при некоторых заболеваниях образуются гомогенные иммуноглобулины. В 1965 г. в его лаборатории было начато исследование структуры пептидных цепей этих антител, завершившееся через четыре года полным успехом: была расшифрована структура молекулы одного из иммуноглобулинов. Подтвердилось предположение о том, что пептидные цепи молекул этих белков состоят из двух частей: изменяющейся, которая участвует в иммунной реакции, и постоянной, характерной для антител данного вида. Результаты Эдельмана, полученные при исследовании антител больных людей, были подтверждены Портером на нормальных иммуноглобулинах.

Портер внес значительный вклад в изучение структуры активного центра антител, показав, что антиген соединяется как с тяжелой, так и с легкой пептидной цепью. Эдельман уточнил представления о третичной структуре активного центра антител, установив, что пептидные цепи состоят из компактных глобул и напоминают нитку бус. Эта схема была подтверждена многими экспериментами.

Решающий вклад Р. Портера и Д. Эдельмана в изучение структуры антител, сделанный в 60-е годы, выдвинул этих ученых на ведущее место в мировой науке. За свои выдающиеся открытия они были удостоены в 1972 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине.

70-е годы ознаменовались новыми успехами в иммунологии, что выдвинуло ее в число самых современных наук. В Каролинский институт поступали все новые предложения о награждении ученых, работающих в этой области. Такое предложение, в частности, было выдвинуто в 1979 г., но общее собрание экспертов отклонило предварительное решение Нобелевского комитета, присудив премию по физиологии и медицине двум физикам — создателям компьютерного томографа. Однако в следующем, 1980 г. премия была присуждена трем ученым, работавшим в области иммуногенетики.

Один из лауреатов, Джордж Дэвис Снелл, был уже в почтенном возрасте — 77 лет. Более трех десятилетий он проработал в лаборатории Джексона в Бар-Харборе, и в 40-е годы был в числе создателей иммуногенетики. Работая с чистыми линиями мышей, он первым сформулировал пять основных генетических законов совместимости тканей: пересадка возможна в пределах одной линии, а осуществленная между животными различных линий, она оканчивается неудачей; возможна пересадка от родительских линий, но пересадка от родительских линий довольно далеких поколений редко приводит к успеху; гибриды первого поколения не отторгают тканей, пересаженных от второго и последующих гибридных поколений. С генетической точки зрения эти закономерности означают, что самые незначительные генетические различия между донором и реципиентом ведут к отторжению инородного материала.

На основании этих исследований Снелл пришел к выводу, что за реакцию несовместимости отвечает группа генов, локализованных в так называемых H-системах (от латинского «гистосовместимость», т. е. тканевая совместимость). Известно 14 таких систем генов, причем система, условно обозначаемая «H-2», играет ведущую роль в отторжении чужой ткани при пересадке. Детальные исследования показали исключительно сложную генетическую структуру этих систем. Так, система H-2 включает около 500 генов, которые не только контролируют отторжение чужой ткани, но и регулируют самые

различные иммунные реакции. Исследования проблемы несовместимости тканей на мышах стимулировали проведение подобных исследований и на человеке. Одним из пионеров в этой области был Жан Доссе из клиники Сан Луи в Париже, один из 40 французских академиков.

В 1958 г., исследуя сыворотку крови пациентов, которым многократно переливали чужую кровь, Доссе обнаружил новую систему антигенов, связанных с лейкоцитами; он установил ее генетическое разнообразие и показал доминирующее участие генов этой системы в реакциях несовместимости при трансплантации. Впоследствии эти антигены были объединены в систему HLA (аббревиатура от английского Human Leucocytes Antigens — человеческие лейкоцитные антигены).

С этого интересного открытия начались исследования, которые в конце концов позволили распределять (подобно донорам крови) доноров тканей и органов по группам, что значительно повысило возможности трансплантологов. В новое направление науки включились десятки известных ученых всего мира. Выяснилось, в частности, что система HLA является аналогом системы H-2 у мышей. Это еще один пример того, как чистая наука приносит важный практический результат. «Мышинная модель» способствовала быстрому развитию иммуногенетики человека, и результаты лабораторных исследований нашли вскоре широкое практическое применение.

Исследованием систем генов, играющих столь важную роль в регулировании иммунных процессов, в 60—70-е годы занялась также большая группа ученых, возглавляемая Барухом Бенацерафом, профессором патологии Гарвардского университета. Этот ученый, родившийся в Каракасе (Венесуэла), был избран в июле 1980 г. президентом Международного союза иммунологов.

В конце 60-х годов Бенацераф с сотрудниками изучал генетический механизм иммунной реакции организма. То, что эта реакция обусловлена действием генетических факторов, ученым было известно давно, однако лишь в 60-е годы благодаря успехам генетиков, которые усовершенствовали метод работы с чистыми линиями, и иммунохимиков, синтезировавших белковые антигены, эта область иммунологии получила дальнейшее развитие. Строго контролируя условия, исследователи могли теперь изучать иммунные реакции конкретных генов. Выяснилось, что каждый организм имеет уникаль-

ный набор генов, входящих в систему гистосовместимости, чем и определяется его строго индивидуальная реакция на инородные вещества. Это открытие имело важное практическое значение, ибо ученые поняли, что при профилактической вакцинации необходимо учитывать индивидуальную специфику организма.

Впоследствии Бенаццераф и возглавляемый им коллектив иммунологов уточнили роль систем H-2 и HLA в развитии иммунной реакции; подтвердилось, что они регулируют иммунологические процессы в организме: отторжение трансплантатов, аутоиммунные расстройства, реакцию на вакцинацию, возникновение раковых патологий и иммунодефицитных состояний.

Многие серьезные заболевания, с которыми медицина пока еще не в состоянии справиться, имеют иммунную основу. Развитие иммуногенетики дает возможность путем сочетания методов генной и иммунной инженерии воздействовать на иммунитет в самой его основе, заменяя дефектные гены и создавая новые популяции защитных клеток, способных бороться с пагубным для организма воздействием. Эти возможности были заложены работами Джорджа Снелла, Жана Доссе и Баруха Бенаццерафа — лауреатов Нобелевской премии по физиологии и медицине за 1980 г.

В 1955 г. датский исследователь, родившийся в Англии, Нильс Ерне разработал новый теоретический метод, который обеспечивал огромное разнообразие антител, защищающих организм от инородных клеток и молекул. В своей так называемой клонально-селекционной теории (селекционной гипотезе образования антител) он постулировал, что каждая иммунная клетка (лимфоцит) несет информацию, необходимую для образования специфического антитела. В процессе иммунной реакции клетки, производящие соответствующие антитела, усиленно делятся, предохраняя тем самым организм от проникновения чужеродных элементов.

Из этих открытий следовало, что если в клеточной культуре вырастить «потомство» лимфоцита, то из него можно выделить специфические вещества, оказывающие сильное терапевтическое воздействие. Было только не понятно, как реализовать все это на практике.

Лимфоциты весьма чувствительны и быстро погибают в искусственной среде. Но с другой стороны, хорошо известно, что раковые клетки способны размножаться

на протяжении неограниченно долгого времени. Это обстоятельство и было использовано аргентинским иммунологом Цезарем Мильштейном, работавшим в Лаборатории молекулярной биологии в Кембридже, и молодым западногерманским исследователем Георгом Келером, также приехавшим в Кембридж. Они смогли добиться слияния лимфоцитов со злокачественными клетками миеломы. Полученные гибридные клетки (или, как их стали называть, гибридомы) могли производить антитела, и в то же время их в изобилии можно было выращивать в искусственной среде.

Это экспериментальное достижение произвело подлинную сенсацию среди иммунологов. Вернулась надежда на возможность терапии посредством строго специфических антител, которые, подобно «магическим пулям», поражают врагов организма. Правда, прошедшее десятилетие несколько охладило энтузиазм, но вместе с тем обнаружилось, что метод получения антител с помощью гибридов (метод гибридом) открывает огромные возможности для диагностики. Как заметил советский иммунолог Г. И. Абелев, этот метод служит своего рода «иммунологическим микроскопом».

За огромное достижение в экспериментальной иммунологии Ц. Мильштейн и Г. Келер были удостоены в 1984 г. Нобелевской премии по физиологии и медицине. По этому поводу английский журнал *Nature* отметил, что некоторые Нобелевские премии «неизбежны», и вопрос только в том, когда наступит их черед. Вместе с двумя экспериментаторами был награжден и Нильс Эрне, клонально-селекционная теория которого легла в основу техники получения гибридом.

Взаимодействие клеток

Одно из самых темных мест в биологии — это вопрос о взаимодействии клеток между собой и о факторах, управляющих их ростом, развитием и дифференциацией. Ученые исследуют эту проблему еще с прошлого века, когда наметились первые успехи в эмбриологии, но, к сожалению, до сих пор ничего определенного сказать по этому поводу не удалось.

Одним из пионеров в исследовании морфогенеза по праву считается немецкий гистолог Вильгельм Гис. Он выдвинул гипотезу о наличии у зародыша неких орга-

нообразующих участков, которые содержат в себе зачатки будущих органов. Более конкретные данные были получены другим немецким ученым — Вильгельмом Ру. Действуя раскаленной иглой на различные участки зародыша, он установил, что для некоторых животных характерна строгая специализация клеток, тогда как у других она не столь сильна и при повреждении определенных участков эмбриона они могут компенсироваться соседними клетками. Плодотворная работа Ру по изучению онтогенеза животных оказала большое влияние на развитие этой области исследований. В первые годы нашего столетия его кандидатуру не раз выдвигали на Нобелевскую премию, но Нобелевский комитет отклонял ее, ссылаясь на давность открытий ученого.

Исследования Ру расширил и углубил немецкий эмбриолог Ханс Шпеман. В его распоряжении был более богатый набор инструментов: тонкие скальпели, микропипетки, волосяные петли, стеклянные иглы. С помощью такого инструментария Шпеман, демонстрируя удивительное терпение и мастерство, проводил тончайшие микрохирургические операции на эмбрионе, позволившие ему узнать много нового и интересного. В одном из экспериментов он занимался пересадкой зачатка глаза в различные участки тела зародыша и установил, что кожа над этим зачатком везде превращалась в роговицу. Это навело его на мысль, что различные части эмбриона выделяют вещества, оказывающие влияние на развитие соседних частей. Свои основополагающие эксперименты Шпеман проводил в период 1901—1918 гг.

И все это время он искал новые подтверждения своей идеи, пересаживая и меняя местами различные части зародыша. У одного эмбриона он взял нервную пластинку, которая обычно развивается в мозг, помещал ее в кожу другого эмбриона и обнаруживал, что там она превращается в обычную кожу. Он поставил и обратный эксперимент: взяв часть эпидермиса второго эмбриона, он поместил ее на место нервной пластинки в первый, где она развилась в полноценный мозг. Шпеман пошел дальше. Он сформулировал так называемую теорию «организационных центров», описав различные точки зародыша, где выделяются вещества — по действию подобные гормонам, — которые влияют на дифференциацию и специализацию клеток. Эти исследования не только чрезвычайно интересны теоретически, но и очень важ-

ны для практики, ибо проливают свет на проблему регенерации. Возможности человека в этом отношении весьма скромны, тогда как, например, у ящериц вырастают новые хвосты, а у тритонов даже новые конечности. (Как было бы прекрасно, если бы и человек располагал такими возможностями!) Оценив по достоинству результаты Шпемана, эксперты Каролинского института приняли в 1935 г. решение присудить ему Нобелевскую премию по физиологии и медицине за открытие «организационных центров» в развивающемся эмбрионе.

Проблема взаимодействия клеток тесно связана с генной инженерией и новым направлением иммунологии — иммунной инженерией. Эти направления постепенно объединяются, обеспечивая удивительный синтез, который откроет перед человеком возможность управления живой материей. В его руках она станет такой же пластичной и податливой, как глина в руках скульптора.

Заключение

Итак, мы подошли к завершению нашего рассказа. Но на самом деле он никогда не кончается. Его можно будет продолжить в октябре нынешнего года, затем в октябре следующего года и так до тех пор, пока мир ученых и широкая общественность будут испытывать потребность в оценке высших достижений науки.

Мы уже говорили, что Нобелевская премия — это только вершина айсберга и что за именем лауреата стоят десятки и сотни других имен, без самоотверженного труда которых открытие было бы невозможно. Не следует забывать и того, что авторитеты из Стокгольма также не застрахованы от ошибок.

Но, как сказал поэт, «большое видится на расстоянии». За прошедшие с начала основания Нобелевского фонда более чем восемьдесят лет авторитетность этой премии практически не подвергалась сомнению. Шведская академия наук и Каролинский медико-хирургический институт хорошо справлялись с возложенными на них обязанностями выразителей мнения ученых. И истине большого уважения заслуживают шведские эксперты, сумевшие превратить первоначальную идею филантропа об оказании помощи талантливым исследователям в механизм оценки научных достижений. Можно сказать, что они создали Нобелевскую премию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азимов А. Нейтрино — призрачная частица атома.— М.: Атомиздат, 1969.
2. Алексеев Г. Н. Энергия и энтропия.— М.: Знание, 1978.
3. Асатиани В. С. Ошибки обмена веществ.— М.: Наука, 1972.
4. Бойд У. Основы иммунологии.— М.: Мир, 1969.
5. Брауде С. Я., Канторович В. М. Радиоволны рассказывают о Вселенной.— Киев: 1982.
6. Бронштейн М. П. Атомы, электроны, ядра.— Л.— М.: ОНТИ, 1935.
7. Волькенштейн М. В. Физика и биология.— М.: Наука, 1980.
8. Гершкович И. Генетика.— М.: Наука, 1968.
9. Джуа М. История химии.— М.: Мир, 1975.
10. Дзюбин И. Путешествие в страну лилипутов.— М.: Знание, 1975.
11. Дубинин Н. П. Общая генетика.— М.: Наука, 1970.
12. Иванов В. Т., Шамин А. Н. Путь к синтезу белка.— Л.: Химия, 1982.
13. История биологии.— М.: Наука, 1975.
14. Кендрю Дж. Нить жизни.— М.: Мир, 1968.
15. Конарев Б. Н. Любопытным о химии. Неорганическая химия.— М.: Химия, 1978.
16. Короленко Ц. П., Фролова Г. В. Вселенная внутри тебя: эмоции, поведение, адаптация.— Новосибирск: Наука, 1979.
17. Курсков А. А. Астрофизика сегодня.— Минск: Наука и техника, 1980.
18. Липсон Г. Великие эксперименты в физике.— М.: Мир, 1972.
19. Лоренц К. Кольцо царя Соломона.— М.: Знание, 1970.
20. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю. Введение в физику низких температур.— М.: Атомиздат, 1971.
21. Молекулы и клетки.— М.: Мир, 1968.
22. Мороз О. Свет озарений.— М.: Знание, 1980.
23. Моруа А. Жизнь Александра Флеминга.— М.: Молодая гвардия, 1964.
24. Нейтрон — предистория, открывание, последствия.— София, 1978
25. Поликарпов А. Физиката на XX век.— София, 1977.
26. Понтекорво Б. Нейтрино.— М.: Знание, 1966.
27. Проблемы на научния талант.— София: Наука и искусство, 1979.
28. Радунская И. Мазеры. Квантовые генераторы.— М.: Знание, 1964.
29. Райчев П. Този невидим загадъчен свят.— София: Наука и искусство, 1982,

30. Роуз С. Химия жизни.— М.: Мир, 1969.
31. Рьдник В. И. Увидеть невидимое.— М.: Знание, 1981.
32. Сало В. М. Витамины и жизнь.— М.: Наука, 1969.
33. Свещаров Г. Биология за всички.— София, 1979.
34. Свещаров Г. Върхове в развитието на биологията.— София, 1978.
35. Тарасенко С. Вторжение в клетку.— М.: Знание, 1974.
36. Толанский С. Революция в оптике.— М.: Мир, 1971.
37. Томсон Д. Д. Дух науки.— М.: Знание, 1970.
38. Тринкаус Дж. От клеток к органам.— М.: Мир, 1972.
39. Уотсон Дж. Двойная спираль. Воспоминания об открытии структуры ДНК.— М.: Мир, 1969.
40. Физика на твърдото тяло.— София, 1977.
41. Физики.— Киев: Наукова думка, 1977.
42. Франкфурт У. И., Френк А. М. Физика наших дней.— М.: Наука, 1971.
43. Шейнов Н. Мозъкът изучава мозъка.— София, Партиздат, 1979.
44. Шпаусцус З. Путешествие в мир органической химии.— М.: 1967.
45. Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика.— М.: Атомиздат, 1972.
46. Шуколюков Ю. А. Часы на миллиард лет.— М.: Атомиздат, 1977.
47. Яновская М. И. Тайны, догадки, прозрения. Из истории физиологии — М.: Знание, 1975.
48. Amenda A. Nobel — Lebensroman eines Erfinders.— Berlin, 1974.
49. Bonin W. von. Die Nobelpreisträger der Chemie. Ein Kapitel der Chemie-Geschichte.— München: Moos, 1963.
50. Cuny H. Nobel. De la dynamite et les Prix Nobel.— Paris, 1970.
51. Herrlinger R. Die Nobelpreisträger der Medizin. Ein Kapitel aus der Geschichte der Medizin.— München: Moos, 1971.
52. Kaplan F. Nobel Prize winners: Charts-Indexes-Sketches.— Chicago: Nobelle, 1941.
53. Meier E. Alfred Nobel. Nobelstiftung. Nobelpreise.— Berlin: Duncker und Humboldt, 1954.
54. Nobel lectures including presentation speeches and laureates biographies.— Amsterdam: Elsevier.
— Physics. Vol. 1 (1901—1921), 1967; Vol. 2 (1922—1941), 1965; Vol. 3 (1942—1962), 1964; Vol. 4 (1963—1970), 1972.
— Chemistry. Vol. 1 (1901—1921), 1966; Vol. 2 (1922—1941), 1966; Vol. 3 (1942—1962), 1964; Vol. 4 (1963—1970), 1972.
— Physiology and medicine. Vol. 1 (1901—1921), 1967; Vol. 2 (1922—1941), 1965; Vol. 3 (1942—1962), 1964; Vol. 4 (1963—1970), 1972.
55. Nobel. The man and his prizes.— Amsterdam: Elsevier, 1962.
56. Schneider E. Von Röntgen zu Einstein. Von Plank zu Heisenberg. Nobelpreisträger der Physik und ihre Entdeckungen.— Berlin: Weiss, 1958.
57. Schück H., Sohlman R. The life of Alfred Nobel.— London Heinemann, 1929.
58. Smekal G. Österreichs Nobelpreisträger.— Wien: Frick, 1961.
59. Soukers Th. Nobel prize winners in medicine and physiology 1901—1965.— London: Abelard-Schumann, 1967.
60. Zuckermann H. Scientific elite, Nobel laureates in the United States.— New York, 1977.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Решения о присуждении Нобелевских премий*

1901

30.10.01. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Эмилю фон Берингу за работы по серотерапии, и прежде всего за ее использование в борьбе против дифтерии.

12.11.01. Присудить Нобелевскую премию года по физике Вильгельму Конраду Рентгену за открытие лучей, которые носят его имя.

Кроме того, присудить Нобелевскую премию по химии Якобу Хенрику Вант-Гоффу за открытие законов химической динамики и осмотического давления в растворах.

1902

30.10.02. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Рональду Россу за работы по малярии, показавшие, как она поражает организм, благодаря чему была заложена основа важных исследований этого заболевания и методов борьбы с ним.

11.11.02. Присудить Нобелевскую премию года по физике Хендрику Антону Лоренцу и Питеру Зеemannу за исследования влияния магнетизма на процессы излучения.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Эмилю Фишеру за работы по синтезированию сахаров и пуринов.

1903

15.10.03. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Нильсу Рюбергу Финзену за метод лечения заболеваний, особенно волчанки, с помощью концентрированных световых лучей.

12.11.03. Присудить Нобелевскую премию года по физике Анри Антуану Беккерелю за открытие спонтанной радиоактивности, а также Пьеру Кюри и Марии Склодовской-Кюри за изучение явления радиоактивности, открытого Анри Беккерелем.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Сванте Августу Аррениусу за теорию электролитической диссоциации.

* Поскольку в большинстве справочных и историко-научных изданий, где приводятся сведения о лауреатах Нобелевской премии, мотивы присуждения обычно формулируются недостаточно точно, мы сочли целесообразным дополнить русское издание книги В. Чолакова приложением, в котором цитируются (см. [12] в Дополнительной литературе) сокращенные, но точные формулировки протокольных решений Шведской академии наук (присуждающей премии по физике и химии) и Каролинского медико-хирургического института (присуждающей премии по физиологии и медицине). Материал подготовлен канд. биол. наук С. С. Кривококовой.— *Прим. ред.*

1904

20.10.04. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Ивану Петровичу Павлову в знак признания его работ по физиологии пищеварения, которые позволили изменить и расширить наши знания в этой области.

08.11.04. Присудить Нобелевскую премию года по физике Джону Уильяму Стретту (Рэлею) за исследование плотности газообразных элементов и открытие в этой связи аргона.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Уильяму Рамзаю за открытие газообразных элементов, входящих в состав воздуха, и определение их места в периодической системе.

1905

12.10.05. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Роберту Коху за исследования и открытия в области туберкулеза.

09.11.05. Присудить Нобелевскую премию года по физике Филиппу Ленарду за работы по катодным лучам.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Адольфу фон Байеру за вклад, который он внес в развитие органической и промышленной химии своими работами по красящим веществам и гидроароматическим соединениям.

1906

25.10.06. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Камилло Гольджи и Сантьяго Рамон-и-Кахалю за их работы по исследованию строения нервной системы.

12.11.06. Присудить Нобелевскую премию года по физике Джозефу Джону Томсону за вклад, который он внес своими теоретическими и экспериментальными исследованиями прохождения электричества через газы.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Анри Муассану за вклад, который он внес своими исследованиями по выделению элемента фтора, а также за создание и введение в практику электрической печи, носящей его имя.

1907

31.10.07. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Шарлю Луи Альфонсу Лаверану за работы по изучению роли простейших как возбудителей заболеваний.

12.11.07. Присудить Нобелевскую премию года по физике Альберту Абрахаму Майкельсону за создание прецизионных оптических инструментов и проведенные с их помощью спектроскопические и метрологические исследования.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Эдуарду Бухнеру за биохимические исследования и открытие бесклеточного брожения.

1908

29.10.08. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Илье Ильичу Мечникову и Паулю Эрлиху за работы по иммунизации.

10.11.08. Присудить Нобелевскую премию года по физике Габриелю Липману за создание метода цветной фотографической репродукции, основанной на явлении интерференции.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Эрнесту Резерфорду за исследования по расщеплению элементов и химии радиоактивных веществ,

1909

28.10.09. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Теодору Кохеру за работы по физиологии, патологии и хирургии щитовидной железы.

09.11.09. Присудить Нобелевскую премию года по физике Гильельмо Маркони и Фердинанду Брауну за работы по созданию беспроводного телеграфа.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Вильгельму Оствальду в знак признания его работ по катализу, а также по изучению условий химического равновесия и скорости химических реакций.

1910

20.10.10. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Альбрехту Косселю за работы по белковым веществам, включая нуклеины, которые внесли вклад в изучение химии клеток.

05.11.05. Присудить Нобелевскую премию года по физике Яну Дидерику Ван-дер-Ваальсу за вывод уравнений агрегатных состояний газов и жидкостей.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Отто Валлаху за вклад в развитие органической химии и химической промышленности, а также за основополагающие работы в области алициклических соединений,

1911

19.10.11. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Альвару Гульстранду за работы по диоптрике глаза,

07.11.11. Присудить Нобелевскую премию года по физике Вильгельму Вию за открытие законов теплового излучения.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Марии Склодовской-Кюри в знак признания ее вклада в развитие химии, который она внесла открытием элементов радия и полония, определением свойств радия и выделением радия в металлической форме, и, наконец, за ее эксперименты с этим элементом,

1912

10.10.12. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Алексису Каррелю в знак признания его работ по сшиванию сосудов и трансплантации сосудов и органов,

12.11.12. Присудить Нобелевскую премию года по физике Густаву Далену за изобретение автоматических регуляторов, соединенных с аккумуляторами газа, которые предназначены для осветительных систем световых маяков и буюв.

Поделить Нобелевскую премию года по химии на две равные доли, присудив одну из них Виктору Гриньяру за открытие реактива, носящего его имя, который в огромной мере способствовал развитию органической химии в последние годы, а другую — Полю Сабатье за метод гидрогенизации органических соединений в присутствии тонко измельченных металлов, который обеспечил прогресс органической химии.

1913

30.10.13. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Шарлю Рише за работы по анафилаксии.

11.11.13. Присудить Нобелевскую премию года по физике Хейке Камерлинг-Оннесу за исследования свойств тел при низких температурах, которые, в частности, привели к получению жидкого гелия.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Альфреду Вернеру за работы по исследованию связи атомов в молекулах, внесшие ясность в некоторые уже известные области науки и открывшие новые области, прежде всего в органической химии.

1914—1918

29.10.15. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1914 г. Роберту Барани за работы по физиологии и патологии вестибулярного аппарата.

Нобелевская премия 1915 г. была зарезервирована для присуждения в последующие годы, и ее сумма включена в специальный фонд секции. То же было сделано и в 1916 и 1917 гг.

Премия 1918 г. была зарезервирована для присуждения в 1919 г.

11.11.15. Присудить Нобелевскую премию по физике 1914 г. Макс фон Лауэ за открытие дифракции рентгеновских лучей в кристаллах.

12.11.15. Присудить Нобелевскую премию по физике 1915 г. Уильяму Генри Брэггу и Уильяму Лоренсу Брэггу за крупный вклад в изучение структуры кристаллов с помощью рентгеновских лучей.

Премия 1916 г. не присуждалась, и ее сумма была включена в специальный фонд секции. Премия 1917 г. была зарезервирована для присуждения в следующем году.

11.11.15. Присудить Нобелевскую премию по химии 1914 г. Теодору Уильяму Ричардсу за точное определение атомных весов многих химических веществ. Присудить премию по химии 1915 г. Рихарду Вильштеттеру за исследования окрашивающих веществ растительного происхождения, главным образом хлорофилла.

Премия 1916 г. была зарезервирована для присуждения в последующие годы, и ее сумма включена в специальный фонд секции. Такое же решение было принято в 1918 г. относительно премии 1917 г. Премия 1918 г. была зарезервирована для присуждения в следующем году.

12.11.18. Присудить Нобелевскую премию по физике 1917 г. Чарльзу Гловеру Баркле за открытие характеристического рентгеновского излучения.

Премия 1918 г. была зарезервирована для присуждения в следующем году.

1919—1920

13.11.19. Присудить Нобелевскую премию по физике 1918 г. Макс Планку в знак признания того вклада, который он внес в развитие физики открытием элемента действия.

Присудить Нобелевскую премию по физике 1919 г. Йоханнесу Штарку за открытие эффекта Доплера на канальных лучах и расщепления спектральных линий в электрическом поле.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1918 г. Фрицу Габеру за синтез аммиака из составляющих его элементов.

11.11.20. Присудить Нобелевскую премию года по физике Шарлю Гильому за заслуги перед физикой, выразившиеся в открытии аномалий сплавов стали и никеля.

28.10.20. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1919 г. Жюлю Борде за открытия в области иммунитета и премию 1920 г. Августу Крогу за открытие механизма капиллярного кровообращения.

1921—1922

Королевский Каролинский медико-хирургический институт в соответствии со статусом Нобелевского фонда принял решение: сумму премии по физиологии и медицине 1921 г. передать в специальный фонд, а премию 1922 г. зарезервировать для присуждения в следующем году.

10.11.21. Присудить Нобелевскую премию по химии 1920 г. Вальтеру Нернсту в знак признания его работ по термодинамике.

09.11.22. Присудить Нобелевскую премию по физике 1921 г. Альберту Эйнштейну за его заслуги в области математической физики и особо за открытие закона фотоэлектрического эффекта, а также премию 1922 г. Нильсу Бору за заслуги в изучении строения атомов и испускаемого ими излучения.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1921 г. Фредериду Содди за его вклад в изучение химии радиоактивных веществ и исследование процессов образования и природы изотопов,

а также премию 1922 г. Фрэнсису Уильяму Астону за открытие с помощью «масс-спектрографа» явления изотопии у многих простых нерадиоактивных тел, а также закона целых чисел.

1923

25.10.23. Присудить половину Нобелевской премии по физиологии и медицине 1922 г. Арчибалду Вивиену Хиллу за открытие явления скрытого теплообразования в мышцах, а другую половину премии — Отто Мейергофу за открытие законов регуляции поглощения кислорода мышцей и образования в ней молочной кислоты.

Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине

1923 г. Фредерику Бантингу и Джону Маклеоду за открытие инсулина.

13.11.23. Присудить Нобелевскую премию года по физике Роберту Эндрусу Милликену за работы по измерению элементарных электрических зарядов и фотоэлектрическому эффекту.

Присудить Нобелевскую премию 1923 г. по химии Фрицу Преглю за открытие метода микроанализа органических веществ,

1924

23.10.24. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Виллему Эйнтховену за открытие метода электрокардиографии.

13.11.24. Шведская академия наук приняла решение зарезервировать Нобелевские премии по физике и химии 1924 г. для присуждения их в следующем году.

1925

29.10.25. Королевский Каролинский медико-хирургический институт решил зарезервировать Нобелевскую премию года по физиологии и медицине для присуждения ее в следующем году.

12.11.25. Присудить Нобелевскую премию по физике 1924 г. Карлу Манне Георгу Сигбану за спектроскопические исследования в диапазоне рентгеновских лучей.

В тот же день Шведская академия наук решила перевести сумму Нобелевской премии по химии 1924 г. в специальный фонд секции и зарезервировать присуждение премии по химии 1925 г. для вынесения решения о ней в 1926 г.

1926

28.10.26. Каролинский медико-хирургический институт решил перевести сумму Нобелевской премии по физиологии и медицине 1925 г. в специальный фонд секции, а премию 1926 г. зарезервировать для присуждения в 1927 г.

11.11.26. Поделить Нобелевскую премию по физике 1925 г. между Джеймсом Франком и Густавом Герцем, удостоенным ее за исследование столкновений электронов с атомами.

Присудить Нобелевскую премию по физике 1926 г. Жану Перрену за работы по исследованию структуры вещества и прежде всего за открытие седиментационного равновесия.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1925 г. Рихарду Зигмонди за установление гетерогенной природы коллоидных растворов и разработку методов, которые составили фундамент современной химии коллоидов.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1926 г. Теодору Сведбергу за работы по дисперсным системам.

1927

27.10.27. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1926 г. Йоханнесу Фибигеру за открытие спироптерального рака.

Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1927 г. Юлиусу Вагнер-Яуреггу за открытие терапевтического эффекта инокуляции малярии в случае прогрессивного паралича.

10.11.27. Нобелевскую премию года по физике разделить между Артуром Холли Комптоном, который удостоен премии за открытие эффекта, носящего его имя, и Чарлзом Томсоном Рисом Вильсоном, удостоенным премии за создание метода, который позволяет наблюдать следы электрически заряженных частиц с помощью конденсации пара.

Нобелевскую премию года по химии зарезервировать для присуждения в следующем году.

1928

25.10.28. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1928 г. Шарлю Николю за работы по сыпному тифу.

13.11.28. Присудить Нобелевскую премию по химии 1927 г. Генриху Виланду за исследования состава желчных кислот и других аналогичных веществ.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1928 г. Адольфу Виндаусу за заслуги в изучении состава стероинов и их связи с группой витаминов.

Нобелевскую премию по физике 1928 г. зарезервировать для присуждения в следующем году.

1929

31.10.29. Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1929 г. разделить поровну между Христианом Эйкманом, удостоенным премии за открытие антиневрического витамина, и Фредериком Гоулендом Хопкинсом, удостоенным премии за открытие витаминов роста.

12.11.29. Присудить Нобелевскую премию по физике 1928 г. Оуэну Уиллансу Ричардсону за исследование явлений термоэмиссии и прежде всего за открытие закона, носящего его имя.

Присудить Нобелевскую премию по физике 1929 г. Луи Виктору де Бройлю за открытие волновой природы электронов.

Нобелевскую премию по химии 1929 г. присудить, разделив поровну, Артуру Гардену и Хансу фон Эйлеру-Хельпину за работы по ферментации сахаров и за исследование ферментов, участвующих в этом процессе.

1930

30.10.30. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1930 г. Карлу Ландштейнеру за открытие групп крови человека.

13.11.30. Присудить Нобелевскую премию года по физике Чандрасекхару Венкате Раману за исследование рассеяния света и открытие эффекта, носящего его имя.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1930 г. Хансу Фишеру за работы по красящим веществам крови и листьев, а также за синтез гемина.

1931

29.10.31. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Отто Варбургу за открытие природы и функций дыхательного фермента.

12.11.31. Решено не присуждать Нобелевской премии года по физике, а зарезервировать ее для присуждения в следующем году.

Нобелевскую премию по химии 1931 г. присудить, разделив поровну, Карлу Бошу и Фридриху Бергиусу за разработку и использование в химии методов высокого давления.

1932

27.10.32. Нобелевскую премию года по физиологии и медицине присудить, разделив поровну, Чарлзу Скотту Шеррингтону и Эдгару Дугласу Эдриану за открытие функций нейронов.

10.11.32. Решено не присуждать Нобелевской премии по физике 1931 г., а перевести ее сумму в специальный фонд секции. Премия 1932 г. зарезервирована для присуждения в следующем году.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1932 г. Ирвингу Ленгмюру за открытия и исследования в области химии поверхностных явлений.

1933

20.10.33. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Томасу Ханту Моргану за открытие функций хромосом как носителей наследственности.

09.11.33. Решено не присуждать Нобелевской премии по химии 1933 г., а зарезервировать ее для присуждения в следующем году.

Присудить Нобелевскую премию по физике 1932 г. Вернеру Гейзенбергу за создание квантовой механики, применение которой привело, в частности, к открытию аллотропных форм водорода.

Нобелевскую премию по физике 1933 г. присудить, поделив поровну, Эрвину Шредингеру и Полю Адриену Морису Дираку за разработки новых, перспективных форм атомной теории.

1934

25.10.34. Нобелевскую премию года по физиологии и медицине присудить, поделив поровну, Джорджу Хойту Уиплу, Джорджу Ричардсу Майноту и Уильяму Парри Мёрфи за открытия методов лечения анемий введением печеночных экстрактов.

15.11.34. Присудить Нобелевскую премию года по химии Гарольду Клейтону Юри за открытие тяжелого водорода.

1935

25.10.35. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Хансу Шпеману за открытие «организационного эффекта» в процессе эмбрионального развития.

14.11.35. Перевести денежную сумму Нобелевской премии по физике 1934 г. в основной фонд Нобелевского комитета (одну треть) и

специальный фонд секции (две трети); Нобелевскую премию по физике 1935 г. присудить Джеймсу Чедвику за открытие нейтрона.

Нобелевскую премию по химии 1935 г. присудить, поделив ее поровну, Ирен Жوليو-Кюри и Фредерику Жوليو за совместно выполненный синтез новых радиоактивных элементов.

1936

29.10.36. Нобелевскую премию года по физиологии и медицине присудить, поделив поровну, Отто Лёви и Генри Халлетту Дейлу за открытие химической природы передачи нервной реакции.

12.11.36. Нобелевскую премию по физике 1936 г. присудить, поделив поровну, Виктору Гессу и Карлу Дейвиду Андерсону за открытие позитрона.

Присудить Нобелевскую премию года по химии Петеру Йозефу Вильгельму Дебаю за вклад, который он внес в наши знания о структуре молекул своими исследованиями дипольных моментов, а также дифракции рентгеновских лучей и электронов в газах.

1937

28.10.37. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Альберту Сент-Дьёрди за открытия, связанные с биологическим окислением, прежде всего за исследование витамина С и катализ fumarовой кислоты.

11.11.37. Нобелевскую премию по физике 1937 г. присудить, поделив поровну, Клинтону Джозефу Дэвиссону и Джорджу Паджету Томсону за экспериментальное открытие явления интерференции при отражении электронов от кристаллов.

Нобелевскую премию по химии 1937 г. присудить, поделив поровну, Уолтеру Нормену Хоуорсу за исследование углеводов и витамина С и Паулю Карреру за исследование каротиноидов и флавинов, а также витаминов А и В₂.

1938

27.10.38. Решено не присуждать Нобелевской премии года по физиологии и медицине, а зарезервировать ее для присуждения в следующем году.

10.11.38. Присудить Нобелевскую премию по физике 1938 г. Энрико Ферми за открытие новых радиоактивных элементов, возникающих при облучении нейтронами, и связанное с этим открытие ядерных реакций, вызываемых медленными нейтронами.

Решено не присуждать Нобелевской премии по химии 1938 г. и зарезервировать ее для присуждения в следующем году.

1939

26.10.39. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1938 г. Корнею Хеймансу за открытие роли синусного и аортального механизмов в регуляции дыхания; премию 1939 г. присудить Герхарду Домагку за открытие терапевтического действия протозила при некоторых инфекциях.

09.11.39. Присудить Нобелевскую премию по физике 1939 г. Эрнесту Орландо Лоуренсу за изобретение и усовершенствование циклотрона, а также за полученные с его помощью результаты, особенно касающиеся искусственных радиоактивных элементов.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1938 г. Рихарду Куну за исследования витаминов и каротиноидов; премию 1939 г. присудить, поделив поровну, Адольфу Фридриху Бутенандту за исследования половых гормонов и Леопольду Ружичке за исследования полиметиленов, а также структуры ди- и политерпенов,

1940—1944

С 1940 по 1943 г. Нобелевские премии не присуждались.

26.10.44. Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1943 г. присудить, поделив поровну, Хенрику Даму за открытие витамина К и Эдуарду Дойзи за открытие химической природы витамина К.

Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1944 г. Джозефу Эрлангеру и Герберту Спенсеру Гассеру за открытия, касающиеся многочисленных функциональных различий между отдельными нервными волокнами.

09.11.44. Присудить Нобелевскую премию по физике 1943 г. Отто Штерну за вклад в развитие метода молекулярных пучков и открытие магнитного момента протона.

Присудить Нобелевскую премию по физике 1944 г. Изидору Айзеку Раби за разработку метода резонанса, с помощью которого были обнаружены магнитные свойства атомных ядер.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1943 г. Дьёрдю Хевеши за работы по использованию изотопов в качестве индикаторов при изучении химических процессов.

1945

25.10.45. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине 1945 г. Александеру Флемингу, Эрнсту Борису Чейну и Хоуарду Уолтеру Флори за открытие пенициллина и его терапевтического эффекта при лечении различных инфекционных заболеваний.

15.11.45. Присудить Нобелевскую премию по физике 1945 г. Вольфгангу Паули за открытие принципа запрета, называемого также принципом Паули.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1944 г. Отто Гану за открытие деления ядер тяжелых атомов.

Присудить Нобелевскую премию по химии 1945 г. Артуру Ил-мари Виртанену за исследования и открытия в области агрохимии и химии пищевых продуктов, в частности за метод консервации кормов и кормовых растений.

1946

13.10.46. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине Герману Дж. Мёллеру за открытие возникновения мутаций под воздействием рентгеновских лучей.

14.11.46. Присудить Нобелевскую премию года по физике Перси Уильямсу Бриджмену за изобретение прибора, позволяющего получать сверхвысокие давления, а также за открытия, которые он сделал с помощью этого прибора в области физики высоких давлений,

Нобелевскую премию года по химии поделить на равные части: одну половину присудить Джеймсу Бетчеллеру Самнеру за открытие двойного кристаллизационного ферментов, а другую — Джону Хоуарду Нортропу и Уэнделлу Меридиту Стэнли за получение в чистом виде ферментов и белковых вирусов.

1947

23.10.47. Присудить Нобелевскую премию года по физиологии и медицине, поделив ее на две равные части, одна из которых вручается Карлу Ф. Кори и Гертти Ф. Кори за открытие процессов каталитического обмена гликогена, а вторая — Бернардо Альберто Усаю за открытие действия гормона, вырабатываемого передней долей гипофиза, на обмен сахара.

13.11.47. Присудить Нобелевскую премию по физике Эдуарду Виктору Эплтону за исследование физических свойств верхних слоев атмосферы и прежде всего за открытие ионосферного слоя, называемого слоем Эплтона.

Присудить Нобелевскую премию по химии Роберту Робинсону за исследование некоторых растительных продуктов большой биологической важности, в первую очередь алкалоидов.

1948

28.10.48. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Паулю Мюллеру за открытие действия ДДТ как сильного яда для большинства членистоногих.

04.11.48. Присудить Нобелевскую премию по физике Патрику Мейнарду Стюарту Блэкетту за усовершенствование камеры Вильсона и за открытия, сделанные с ее помощью в области ядерной физики и космических лучей.

Присудить Нобелевскую премию по химии Арне Вильгельму Каурину Тиселиусу за работы по электрофоретическому и адсорбционному анализу, в частности за открытие гетерогенной природы сывороточных белков.

1949

27.10.49. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине двум лауреатам в равных долях: одну — Вальтеру Рудольфу Гессу за открытие функциональной организации промежуточного мозга и его связи с деятельностью внутренних органов, а другую — Антониду Эгашу Монишу за открытие терапевтического действия префронтальной лейкомии при некоторых психических заболеваниях.

03.11.49. Присудить Нобелевскую премию по физике Хидеки Юкаве за предсказание существования мезонов, в частности за теоретические исследования, касающиеся ядерных сил.

Присудить Нобелевскую премию по химии Уильяму Фрэнсису Джоноу за вклад в развитие химической термодинамики, в частности за изучение свойств тел при сверхнизких температурах.

1950

26.10.50. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Филипу Хенчу, Эдуарду Кендаллу и Тадеушу Рейхштейну

за исследования гормонов коры надпочечников, их структуры и биологического действия.

10.11.50. Присудить Нобелевскую премию по физике Сесилу Франку Пауэллу за усовершенствование фотографических методов, используемых для изучения ядерных процессов, которое привело его к открытию мезонов.

Присудить Нобелевскую премию по химии в равных долях Отто Дильсу и Курту Альдеру за открытие и усовершенствование метода диенового синтеза.

1951

18.10.51. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Максу Тейлеру за открытия, связанные с желтой лихорадкой и борьбой против этой болезни.

15.11.51. Присудить Нобелевскую премию по физике Джону Д. Кокрофту и Эрнесту Томасу Силтону Уолтону за их пионерские работы по трансмутации атомных ядер под воздействием искусственно ускоренных частиц.

Присудить Нобелевскую премию по химии в равных частях Гленну Т. Сиборгу и Эдвину М. Макмиллану за открытия в области химии трансураниевых элементов.

1952

23.10.52. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Зельману Ваксману за открытие стрептомицина — первого антибиотика, эффективно действующего против туберкулеза.

09.11.52. Присудить Нобелевскую премию по физике Феликсу Блоху и Эдварду Парселлу за разработку нового метода точного измерения ядерного магнетизма и за открытия, сделанные с помощью этого метода.

Присудить Нобелевскую премию по химии Арчеру Мартину и Ричарду Сингу за разработку метода распределительной хроматографии.

1953

22.10.53. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Хансу Адольфу Кребсу за открытие цикла трикарбонной кислоты и Фрицу Альберту Липману за открытие кофермента А и его роли в промежуточном обмене веществ.

04.11.53. Присудить Нобелевскую премию по физике Фрицу Цернике за разработку фазоконтрастного метода и, прежде всего, за изобретение фазоконтрастного микроскопа.

Присудить Нобелевскую премию по химии Герману Штаудингеру за открытия в области химии макромолекулярных веществ.

1954

28.10.54. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Джону Эндерсу, Фредерику Чапмену Роббинсу и Томасу Хаклу Уэллеру за открытие способности вируса полиомиелита размножаться в культурах различных тканей.

03.11.54. Присудить Нобелевскую премию по физике Макс Бору за его фундаментальные работы по квантовой механике и, прежде всего, за статистическую интерпретацию волновых функций, а также Вальтеру Боте за разработку метода совпадений и открытия, сделанные с его помощью.

Присудить Нобелевскую премию по химии Лайнусу Карлу Полингу за работы по природе химической связи и их приложению к определению структуры сложных соединений.

1955

20.10.55. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Акселю Хуго Теодору Теореллю за исследование природы и способа действия окислительных ферментов.

02.11.55. Присудить Нобелевскую премию по физике Уиллису Лэмбу за открытия, касающиеся структуры спектра водорода, и Поликарлу Кашу за точное определение магнитного момента электрона.

Присудить Нобелевскую премию по химии Винсенту Дю Виньо за работы по серусодержащим соединениям, имеющим биологическое значение, и, прежде всего, за впервые осуществленный синтез полипептидного гормона.

1956

18.10.56. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Андре Фредерику Курнану, Вернеру Форсману и Дикин-сону Ричардсу за открытия, связанные с катетеризацией сердца и патологическими изменениями в системе кровообращения.

01.11.56. Присудить Нобелевскую премию по физике Уильяму Брэдфорду Шокли, Джону Бардину и Уолтеру Браттейну за исследование полупроводников и открытие транзисторного эффекта.

Присудить Нобелевскую премию по химии Сирилу Норману Хиншелвуду и Николаю Николаевичу Семенову за исследования механизма химических реакций.

1957

24.10.57. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Даниеле Бове за открытия синтетических веществ, способных блокировать действие некоторых образующихся в организме соединений, в особенности влияющих на кровеносные сосуды и поперечнополосатые мышцы.

31.10.57. Присудить Нобелевскую премию по физике Цзундао Ли и Чжэньнин Янгу за принципиальные исследования законов четности, которые привели к важным открытиям в области элементарных частиц.

Присудить Нобелевскую премию по химии Александеру Тодду за работы по нуклеотидам и нуклеотидным коферментам.

1958

30.10.58. Присудить половину Нобелевской премии по физиологии и медицине Джорджу Бидлу и Эдуарду Тейтему за открытие способности генов регулировать определенные химические процессы,

а другую половину — Джошуа Ледербергу за открытия, касающиеся генетической рекомбинации у бактерий и структуры их генетического аппарата.

28.10.58. Присудить Нобелевскую премию по физике Павлу Алексеевичу Черенкову, Илье Михайловичу Франку и Игорю Евгеньевичу Тамму за открытие, объяснение и использование эффекта, носящего имя Черенкова.

Присудить Нобелевскую премию по химии Фредерику Сенгеру за исследование структуры белков, прежде всего инсулина.

1959

15.10.59. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Северо Очоа и Артуру Корнбергу за исследование механизма биологического синтеза рибонуклеиновой и дезоксирибонуклеиновой кислот.

26.10.59. Присудить Нобелевскую премию по физике Эмилио Сегре и Оуэну Чемберлену за открытие антипротона.

Присудить Нобелевскую премию по химии Ярославу Гейровскому за изобретение и усовершенствование метода полярографического анализа.

1960

20.10.60. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Фрэнку Бёрнету и Питеру Медавара за исследования приобретенной иммунологической толерантности.

03.11.60. Присудить Нобелевскую премию по физике Доналду Артуру Глазеру за изобретение пузырьковой камеры.

Присудить Нобелевскую премию по химии Уилларду Либби за разработку метода использования углерода-14 для датирования в археологии, геологии, геофизике и других науках.

1961

26.10.61. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Дьёрдю Бекеши за открытие физического механизма возбуждения в улитке внутреннего уха.

02.11.61. Присудить Нобелевскую премию по физике Роберту Хофстедтеру за новаторские исследования рассеяния электронов на атомных ядрах и за открытие структуры нуклонов и Рудольфу Мёссбауэру за исследования резонансного поглощения гамма-излучения и открытие эффекта, носящего его имя.

Присудить Нобелевскую премию по химии Мелвину Калвину за исследование биохимических превращений углекислого газа в растениях.

1962

18.10.62. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Фрэнсису Крику, Джеймсу Уотсону и Морису Уилкинсу за установление молекулярной структуры нуклеиновых кислот и ее роли в передаче информации в живой материи.

01,11,62. Присудить Нобелевскую премию по физике Льву Давы-

довичу Ландау за пионерскую теорию конденсированных сред, прежде всего жидкого гелия.

Присудить Нобелевскую премию по химии Джону Коудери Кендрию и Максу Фердинанду Перуцу за исследование структуры глобулярных белков,

1963

17.10.63. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Джону Эклсу, Алану Ходжкину и Андру Филлингу Хаксли за исследования ионных механизмов возбуждения и торможения в периферических и центральных частях оболочек нервных клеток.

05.11.63. Присудить половину Нобелевской премии по физике Юджину Вигнеру за вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц, прежде всего за открытие и применение фундаментальных принципов симметрии, а другую половину — Йоханнесу Хансу Йенсену и Марии Гёпперт-Майер за разработку оболочечной модели атомного ядра.

Присудить Нобелевскую премию по химии Карлу Циглеру и Джулио Натте за открытия в области химии и химической технологии высокополимерных веществ.

1964

15.10.64. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Конраду Блоху и Феодору Линену за исследования механизма регуляции обмена холестерина и жирных кислот.

29.10.64. Присудить половину Нобелевской премии по физике Чарлзу Таунсу, а другую половину — Николаю Геннадиевичу Басову и Александру Михайловичу Прохорову за фундаментальные работы в области квантовой электроники, которые привели к созданию генераторов и усилителей нового типа — мазеров и лазеров.

Присудить Нобелевскую премию по химии Д. Кроуфут-Ходжкин за определение методом рентгеноструктурного анализа строения веществ, имеющих биологическое значение,

1965

14.10.65. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Андре Мишелю Львову, Франсуа Жакобу и Жаку Люсьену Моно за открытие генетической регуляции синтеза ферментов и вирусов.

21.10.65. Присудить Нобелевскую премию по физике Синъяитиро Томонаге, Джулиусу Швингеру и Ричарду Фейнману за фундаментальный вклад в развитие квантовой электродинамики, имевший глубокие последствия для физики элементарных частиц.

Присудить Нобелевскую премию по химии Роберту Бёрису Вудворду за исключительный вклад в осуществление органического синтеза.

1966

13.10.66. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Фрэнсису Роусу за открытие опухолеродных вирусов и Чарлзу Брентону Хаггинсу за разработку методов лечения рака предстательной железы с помощью гормонов,

03.11.66. Присудить Нобелевскую премию по физике Альфреду Кастлеру за разработку оптических методов исследования колебаний атомов в области радиочастот.

Присудить Нобелевскую премию по химии Роберту Малликену за фундаментальные работы по химической связи и по электронной структуре молекулярных орбиталей.

1967

18.10.67. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Рагнару Граниту, Холдену Хартлайну и Джорджу Уолду за исследование первичных физиологических и химических механизмов зрительного процесса.

30.10.67. Присудить Нобелевскую премию по физике Хансу Бете за вклад в теорию ядерных реакций, прежде всего за исследования, касающиеся процессов генерации энергии звезд.

Присудить Нобелевскую премию по химии, поделив ее пополам, Манфреду Эйгену (одна половина) и Роналду Джорджу Норришу и Джорджу Портеру (другая половина) за исследование сверхбыстрых химических реакций путем смещения равновесия с помощью короткого импульса энергии.

1968

16.10.68. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Роберту Холли, Хару Гобинду Коране и Маршаллу Ниренбергу за расшифровку генетического кода и его функции в синтезе белков.

30.10.68. Присудить Нобелевскую премию по физике Луису Альваресу за решающий вклад в физику элементарных частиц, прежде всего за открытие большого числа резонансов, что стало возможным благодаря усовершенствованию пузырьковой камеры и машинных методов анализа траекторий частиц.

Присудить Нобелевскую премию по химии Ларсу Онсагеру за формулировку соотношений взаимности в необратимых процессах, носящих его имя и имеющих важное значение для термодинамики необратимых процессов.

1969

16.10.69. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Максудельбрюку, Алфреду Херши и Сальвадору Лурии за открытие цикла репродукции вирусов и развитие генетики бактерий и вирусов.

30.10.69. Присудить Нобелевскую премию по физике Марри Гелл-Ману за открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий.

Присудить Нобелевскую премию по химии Дереку Бартону и Одду Хасселю за вклад, который они внесли в эволюцию и применение в химии идеи конформации.

1970

15.10.70. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Ульфу фон Эйлеру, Джулиусу Аксельроду и Бернарду Кацу

за открытие сигнальных веществ в контактных органах нервных клеток и механизмов их накопления, освобождения и дезактивации.

27.10.70. Присудить Нобелевскую премию по физике Ханнесу Альфвену за фундаментальные исследования в магнитогидродинамике и ее плодотворные приложения в различных областях физики плазмы и Луи Неелю за исследования и фундаментальные открытия, касающиеся антиферромагнетизма и ферромагнетизма, нашедшие важное применение в физике твердого тела.

Присудить Нобелевскую премию по химии Луису Федерико Ледуару за открытие нуклеотидов сахаров и их функций в биосинтезе углеводов.

1971

20.10.71. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Эрлу Уилбуру Сазерленду за исследования, касающиеся механизма действия гормонов.

01.11.71. Присудить Нобелевскую премию по физике Деннису Габору за создание голографии.

Присудить Нобелевскую премию по химии Герхарду Херцбергу за вклад в исследование электронной структуры и геометрии молекул, особенно свободных радикалов.

1972

12.10.72. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Джералду Эдельману и Родни Роберту Портеру за установление химического строения антител.

20.10.72. Присудить Нобелевскую премию по физике Джону Бардину, Леону Куперу и Джону Шрифферу за создание теории сверхпроводимости (БКШ-теории).

Нобелевскую премию по химии присудить, поделив ее пополам, Кристиану Анфинсену (одна половина) за работы по рибонуклеазе, в частности за исследование связи между последовательностью аминокислот и конформацией биологически активной молекулы, а другую половину — Станфорду Муру и Уильяму Хоуарду Стайну за вклад в исследование связи химической структуры с каталитической активностью активного центра молекулы рибонуклеазы.

1973

11.10.73. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Карлу фон Фришу, Конраду Лоренцу и Николасу Тинбергену за создание и использование на практике моделей индивидуального и группового поведения.

23.10.73. Присудить Нобелевскую премию по физике в равных долях Лео Эсаки за открытие явления туннелирования в твердых телах и Айвару Джайеверу за экспериментальное исследование явления туннелирования в полупроводниках и сверхпроводниках соответственно (первая половина). Вторую половину премии присудить Брайану Джозефсону за теоретические исследования по сверхпроводимости и туннелированию, в частности за открытие явления, получившего название эффекта Джозефсона.

Присудить Нобелевскую премию по химии Эрнсту Отто Фишеру и Джефри Уилкинсону за работы по химии металлоорганических соединений сэндвичевой структуры.

1974

10.10.74. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Альберу Клоду, Кристиану Де Дюву и Джорджу Паладе за исследования структурной и функциональной организации клетки.

15.10.74. Присудить Нобелевскую премию по физике Мартину Райлу и Энтони Хьюишу за пионерские исследования в области радиоастрофизики: Райлу за разработку методов радиоастрономических наблюдений и изобретение метода синтеза наблюдательных данных; Хьюишу за исключительную роль в открытии пульсаров.

Присудить Нобелевскую премию по химии Полу Джону Флори за фундаментальный вклад как в теоретические, так и в экспериментальные исследования в области физической химии макромолекул.

1975

10.10.75. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Ренато Дульбекко за исследование механизма действия онкогенных вирусов и Хоуарду Мартину Темину и Дейvidу Балтимору за открытие обратной транскриптазы.

16.10.75. Присудить Нобелевскую премию по физике Оге Бору, Бену Моттelsonу и Джеймсу Рейнуотеру за исследование связи между коллективным и индивидуальным движениями частиц в атомном ядре и развитие на этой основе теории структуры атомного ядра.

Присудить Нобелевскую премию по химии Владимиру Прелогу за работы по стереохимии органических молекул и реакций и Джону У. Корнфорту за работы по биосинтезу холестерина.

1976

14.10.76. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Баруху Бламбергу и Даниелу Карлтону Гайдузеку за открытие новых механизмов возникновения и распространения инфекционных заболеваний.

18.10.76. Присудить Нобелевскую премию по физике Бертону Рихтеру и Сэмюэлу Тингу за открытие тяжелых элементарных частиц нового типа.

Присудить Нобелевскую премию по химии Уильяму Липскомбу за исследование структуры борводородов и связанной с этим проблемы изучения природы химической связи,

1977

13.10.77. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине в равных долях: Роже Гиймену и Эндрю Виктору Шалли (первая половина) за исследование процессов выделения гормонов в мозге и Розалин Сасмен Ялоу (вторая половина) за усовершенствование радиоиммунологических методов определения пептидных гормонов.

11.10.77. Присудить Нобелевскую премию по физике Филипу Андерсону, Невилу Мотту и Джону Ван Флеку за фундаментальные теоретические исследования в области электронной структуры магнитных и неупорядоченных систем.

Присудить Нобелевскую премию по химии Илье Пригожину за вклад в термодинамику необратимых процессов, особенно в теорию диссипативных систем,

1978

12.10.78. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Даниэлю Натансу, Гамильтону Смигу и Вернеру Арберу за открытие ферментов рестрикции и работы по использованию этих ферментов в молекулярной генетике.

17.10.78. Присудить Нобелевскую премию по физике Петру Леонидовичу Капице (половина премии) за открытия и основополагающие изобретения в области физики низких температур и Арно Пензиасу и Роберту Вильсону (вторая половина) за открытие космического микроволнового реликтового излучения.

Присудить Нобелевскую премию по химии Питеру Митчеллу за вклад в объяснение переноса биологической энергии и разработку хемосмотической теории.

1979

11.10.79. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Аллану Кормаку и Годфри Хаунсфилду за разработку метода осевой томографии.

15.10.79. Присудить Нобелевскую премию по физике Шелдону Глэшоу, Абдусу Саламу и Стивену Вайнбергу за работы по созданию теории, объединяющей слабое и электромагнитное взаимодействия элементарных частиц, особенно за предсказание существования нейтральных слабых токов.

Присудить Нобелевскую премию по химии Герберту Брауну и Георгу Виттигу за разработку новых методов синтеза бор- и фосфорсодержащих органических соединений.

1980

10.10.80. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Баруху Бенацерафу, Жану Доссе и Джорджу Снеллу за их открытия генетически детерминированных структур поверхностей клеток, регулирующих иммунологические реакции.

14.10.80. Присудить Нобелевскую премию по физике Джеймсу Уотсону Кронину и Вэлу Лонгсдону Фитчу за открытие нарушения фундаментальных принципов симметрии при распаде нейтральных К-мезонов.

Присудить Нобелевскую премию по химии, поделив ее пополам, Полу Бергу (одна половина) за фундаментальные исследования в области биохимии нуклеиновых кислот, в частности рекомбинантной ДНК, и Уолтеру Гилберту и Фредерику Сенгеру (другая половина) за их вклад в определение последовательности оснований в нуклеиновых кислотах.

1981

09.10.81. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине в равных долях Роджеру Сперри (одна половина) за открытие функциональной специализации полушарий мозга и Дэвиду Хьюбелу и Торстену Визелу (другая половина) за открытия, касающиеся обработки информации в зрительной системе.

19.10.81. Присудить Нобелевскую премию по физике Николасу Бломбергену и Артуру Шавлову (одна половина) за вклад в развитие лазерной спектроскопии и Каю Сигбану (другая половина) за вклад в развитие электронной спектроскопии высокого разрешения.

Присудить Нобелевскую премию по химии Кеннети Фукуи и Роальду Хофману за развитие теории механизмов химических реакций, осуществленное ими независимо друг от друга.

1982

11.10.82. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Суне Бергстрёму, Бенгту Самуэльссону и Джону Вейну за работу по выделению и изучению простагландинов и родственных биологически активных веществ.

18.10.82. Присудить Нобелевскую премию по физике Кеннету Вильсону за разработку теории критических явлений при фазовых переходах.

Присудить Нобелевскую премию по химии Арону Клогу за работы в области электронной микроскопии кристаллов и открытие структур биологически важных нуклеопротеиновых комплексов.

1983

10.10.83. Присудить Нобелевскую премию по физиологии и медицине Барбаре Макклиток за открытие подвижных элементов генома.

19.10.83. Присудить Нобелевскую премию по физике Субраманиянчу Чандрасекару за теоретические исследования физических процессов, определяющих структуру и эволюцию звезд, и Уильяму Фаулеру за теоретические и экспериментальные исследования ядерных реакций в звездах и создание теории образования химических элементов Вселенной.

Присудить Нобелевскую премию по химии Генри Таубе за работы по механизмам реакций с переносом электронов, в частности в комплексах металлов.

1984 *

11.10.84. Нобелевскую премию по физиологии и медицине за выдающиеся достижения в области иммунологии поделить пополам: половину премии присудить Нильсу Эрне за разработку теории идиотипической сети, а вторую половину — Цезарю Мильштейну и Георгу Келеру за разработку техники получения гибридом.

17.10.84. Присудить Нобелевскую премию по физике Карло Руббиа и Симону ван дер Мееру за определяющий вклад в проект, осуществление которого привело к открытию частиц, переносящих слабые взаимодействия.

Присудить Нобелевскую премию по химии Роберту Мэррифилду за разработку метода твердофазного химического синтеза.

* К моменту прохождения корректуры настоящей книги стали известны имена лауреатов Нобелевской премии 1985 года. Нобелевская премия по физиологии и медицине присуждена американским исследователям генетику Майклу Стюарту Брауну и врачу Джозефу Леонарду Голдстейну за раскрытие механизма регуляции холестеринного обмена; по физике — западногерманскому физика Клаусу фон Клитцингу за открытие квантового эффекта Холла; по химии — американским кристаллографам Джерому Карлу и Герберту Аарону Хауптману за выдающиеся достижения в разработке прямых методов определения структуры кристаллов. — *Прим. ред.*

Завещание Альфреда Нобеля

Я, нижеподписавшийся, Альфред Бернхард Нобель, обдумав и решив, настоящим объявляю мое завещание по поводу имущества, нажитого мною к моменту смерти.

Все остающееся после меня реализуемое имущество необходимо распределить следующим образом: капитал мой душеприказчики должны перевести в ценные бумаги, создав фонд, проценты с которого будут выдаваться в виде премии тем, кто в течение предшествующего года принес наибольшую пользу человечеству. Указанные проценты следует разделить на пять равных частей, которые предназначаются: первая часть тому, кто сделал наиболее важное открытие или изобретение в области физики, вторая — тому, кто совершил крупное открытие или усовершенствование в области химии, третья — тому, кто добился выдающихся успехов в области физиологии или медицины, четвертая — создавшему наиболее значительное литературное произведение, отражающее человеческие идеалы, пятая — тому, кто внесет весомый вклад в сплочение народов, уничтожение рабства, снижение численности существующих армий и содействие мирной договоренности. Премии в области физики и химии должны присуждаться Шведской королевской академией наук, по физиологии и медицине — Королевским Каролинским институтом в Стокгольме, по литературе — Шведской академией в Стокгольме, премия мира — комитетом из пяти человек, избираемым норвежским стортингом. Мое особое желание заключается в том, чтобы на присуждение премий не влияла национальность кандидата, чтобы премию получали наиболее достойные, независимо от того, скандинавы они или нет.

Сие завещание является последним и окончательным, оно имеет законную силу и отменяет все мои предыдущие завещания, если таковые обнаружатся после моей смерти.

Наконец, последнее мое обязательное требование состоит в том, чтобы после моей кончины компетентный врач однозначно установил факт смерти, и лишь после этого мое тело следует предать сожжению.

Париж, 27 ноября 1895 г.

Альфред Бернхард Нобель

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ *

- Аббе Э. К.** 119
Аксельрод Дж. 287, 358
Альварес Л. У. 91—92, 358
Альдер К. 186—187, 354
Альтман Р. 231, 272
Альфвен Х. 37, 113—114, 130, 359
Андерсон Ф. 130—131, 360
Андерсон К. Д. 77, 83, 84, 85, 351
Анфинсен К. Б. 211, 274, 359
Арбер В. 243—245, 361
Аррениус С. А. 152—153, 162, 343
Астбери У. 232
Астон Ф. У. 66, 67, 347
Ахманов С. 124
- Байер А.** 33, 181, 184—185, 206, 344
Бакеланд Л. Х. 181
Балтимор Д. 242—243, 360
Бальмер И. 43
Банг О. 312
Бантинг Ф. Г. 257—258, 348
Барани Р. 300, 346
Бардин Дж. 105, 143—144, 355, 359
Баркла Ч. 58, 60, 347
Бартлет А. 79
Бартон Д. Х. Р. 160—161, 358
Басов Н. Г. 122, 124, 357
Безредка А. М. 328
Бейеринк М. 209
Бейкер П. 281
Бейлиса У. М. 255
Бекеш Д. 298—299, 356
Беккерель А. А. 41—42, 84, 343
Беккерель А. С. 41
Беккерель А. Э. 41
Белицер В. А. 223
Белл Ф. 232
Бенацераф Б. 336—337, 361
Берг П. 245—247, 361
Берсиус Ф. 179—180, 350
Бергстрём С. 266—267, 362
Беринг Э. А. 31, 325—326, 327, 343
Бернал Дж. 233, 273
Версон С. 264
Бертолле К. Л. 33
Бернштейн Ю. 280
Берцеллус И. Я. 151, 205, 212, 222, 66
Бест Ч. 257, 258
Бете Х. А. 35, 37, 111—113, 358
Бетсон У. 227—228
Бёрнет Г. М. 332—333, 356
Бидл Дж. У. 237—238, 355
Бламберг Б. 309—310, 360
- Бликс М.** 217
Бломберген Н. 124—125, 361
Блох К. Э. 271—272, 357
Блох Ф. 131—132, 354
Блэккетт П. М. С. 85, 86, 353
Бов Д. 284—285
Бове Д. 284—285, 355
Бовери Т. 226
Боголюбов Н. Н. 143
Бойль Р. 138
Больцман Л. 44
Бор Н. 34, 50—51, 78—79, 80, 347
Бор О. 80—81, 360
Борде Ж. 328—329, 347
Борлоуг Н. Э. 36, 220
Борн М. 34, 56, 86, 355
Боте В. 56, 76, 86, 355
Боудич Г. П. 278
Бош К. 178, 180, 350
Браттейн У. 105, 355
Браун Г. Ч. 188, 361
Браун К. Ф. 104, 105, 279, 345
Браше Ж. 236
Бриджмен П. У. 34, 136—137, 352
Бройль Л. де 34, 53, 54, 349
Бройль М. де 60
Броун-Секар Ш. 256
Брэгг У. Г. 35, 58—60, 158, 346
Брэгг У. Л. 34, 35, 59—60, 158, 346
Будкер Г. И. 99
Бунзен Р. В. 43
Бутенандт А. Ф. 193, 202, 258—259, 352
Бутлеров А. М. 157
Бухнер Э. 206, 344
- Вавилов Н. И.** 229
Вагнер-Яцрегг Ю. 216—217, 323, 349
Вайнберг С. 97, 98, 102, 361
Ваксман Э. А. 323, 354
Валлах О. 191—192, 345
Валта З. Ф. 166
Вальдейер В. 276
Ван Бенеден Э. 226
Ван дер Meer С. 99—100, 362
Ван-дер-Ваальс И. Д. 139, 345
Ван Марум М. 138
Ван Флек Дж. Х. 35, 130, 360
Вант-Гофф Я. Х. 31, 147, 152—153, 157, 160, 162—163, 343
Варбург О. Г. 218—219, 350
Варли К. Ф. 39
Вейн Дж. 267, 362
Вейс П. Э. 129

* Фамилии лауреатов Нобелевской премии выделены курсивом.

Вейсман А. 226
Вейцдеккер К. Ф. фон 113
Векслер В. Н. 73, 88
Веллер Ф. 205
Вернер А. 158, 346
Вивьен А. 278
Виганд К. 89
Виенер Ю. П. 80, 357
Визел Т. 293, 296—298, 361
Вилауд Г. 193—194, 219, 271, 349
Вильсон К. 145—146, 362
Вильсон Р. В. 37, 102, 110—111, 361
Вильсон Ч. Т. Р. 84, 85, 349
Вильштеттер Р. 201, 202, 208, 212—213, 346
Вин В. 44, 75, 345
Винд К. Х. 58
Виндаус А. 193—194, 271, 349
Виртанен А. И. 215—216, 352
Вирхов Р. 311
Виттис Г. Р. 188—189, 361
Вудворд Р. Б. 156, 188, 214, 357
Вульф Г. В. 59

Габер Ф. 177—179, 347
Габор Д. 120—122, 359
Гайдук Д. К. 310—311, 360
Гайтлер В. 153
Гальвани Л. 277
Гамов Г. А. 78, 80, 110, 235
Ган О. 35, 71—72, 74, 352
Гарден А. 206—207, 349
Гарризон Р. Г. 308
Гассер Г. С. 279—280, 352
Гашек М. 333
Гейгер Х. 49
Гейзенберг В. 34, 55, 56, 350
Гей-Люссак Ж. Л. 33, 205
Гейровский Я. 169, 356
Гелл-Ман М. 93—94, 95, 96, 358
Гельмгольц Г. 44, 278, 293
Георгиев Г. П. 248
Герлах В. 131
Гертвиг О. 226
Герц Г. Л. 51, 348
Герц Г. Р. 40, 45, 103
Гершензон С. М. 242
Гесс В. Р. 291, 353
Гесс В. Ф. 82, 84, 351
Гёпперт-Майер М. 79, 357
Гиббс Дж. У. 31, 148, 171—172
Гиймен Р. 264—265, 360
Гилберт У. 246—247, 361
Гильом Ш. Э. 136, 347
Гис В. 338
Гитторф И. 39
Глазер Д. А. 91, 356
Глэшоу Ш. 94, 97, 102, 361
Гольджи К. 276—277, 289, 303, 344
Гольдштейн Э. 40, 57
Гоппе-Зейлер Ф. 231
Гранит Р. 294—295, 296, 358
Гриньяр В. 185, 346
Гриффит Ф. 231—232
Гротгус Т. 152
Гульстранд А. 293—294, 345
Гэддам Дж. 284

Дален Н. Г. 135, 346
Дальтон Дж. 48
Дам Х. 203—204, 352
Д'Арсонваль Ж. А. 252

Дебай П. П. 158—159, 351
Дебьерн А. 43
Де Дюа К. Р. 268—269, 360
Дейл Г. Х. 283, 284, 351
Дельбрюк М. 34, 229, 241—242
Дельгадо М. Р. 291
Демокрит 48
Де Фриз Х. 226
Джаван А. 123
Джайевер А. 134—135, 359
Дженнер Э. 325, 327
Джермер Л. 53
Джиок У. Ф. 149—150, 353
Джозефсон В. 134—135, 359
Дильс О. 186—187, 354
Дирак П. 34, 55, 56, 83, 350
Дойли Э. А. 203—204, 258, 352
Домагк Г. 320, 351
Доссе Ж. 336, 337, 361
Дуглас С. 330
Дульбекко Р. 242—243, 360
Дьюар Дж. 140
Дэвиссон К. Дж. 53, 351
Дюбуа-Реймон Э. Г. 217, 278, 280
Дю Виньо В. 262—263, 355

Эрне Н. 337—338, 362

Жакоб Ф. 239—240, 357
Жолио-Кюри И. 69, 71, 72, 76, 84, 351
Жолио-Кюри Ф. 69, 71, 72, 76, 84, 351

Зесман П. 47, 48, 128, 343
Зигмонди Р. 174—176, 348
Зидентопф Г. Ф. В. 174
Зоммерфельд А. 36, 158
Зотерман Ю. 294, 296

Иваненко Д. Д. 77
Ивановский Д. И. 209
Изинг Г. А. 73
Иордан П. 55, 56
Ипсилантис Т. 89

Йенсен П. Х. Д. 79, 357
Йонг Дж. 281
Йотлин Г. 279

Каванту Ж. 212
Калвин М. 214—215, 356
Камерлинг-Оннес Х. 140, 142, 346
Капица П. Л. 35, 37, 140—142, 361
Карозерс У. Х. 181
Каррель А. 308, 314—315, 345
Каррер П. 195, 201—203, 220, 295, 351
Касперсон Т. 236
Кастлер А. 122—123, 124, 358
Кац Б. 286—287, 358
Каш П. 132—133, 355
Каэтану А. 290
Кесзом В. Х. 141
Кекуле Ф. А. 33, 160
Келер Г. 338, 362
Кендалл Э. 259—260, 353
Кендрию Дж. К. 204, 233, 273—274, 357

- Кибяков А. В. 284
 Кирхгоф Г. Р. 43
 Кирхгоф К. С. 205
 Китасато Ш. 325—326
 Клод А. 268—269, 360
 Клаус А. 274—275, 362
 Квиддинг П. 59
 Крокрофт Дж. Д. 73, 74, 354
 Колип Дж. 258
 Колчинский А. М. 247
 Коптон А. Х. 51, 85, 349
 Корана Х. Г. 32, 235—236, 358
 Кораньш Ш. 36
 Кори Г. Т. 222, 261—262, 353
 Кори К. Ф. 222, 261—262, 353
 Кормак А. 63, 361
 Корнберг А. 234, 356
 Корнфорт Дж. У. 196—197, 360
 Корренс К. Э. 226
 Коссель А. 153, 231, 272—273, 345
 Коссель В. 153
 Коуэн К. Л. 88
 Кох Р. 301—302, 308, 344
 Кохер Т. 255—256, 345
 Крамерс Г. А. 166
 Кребс Х. А. 33, 220—222, 354
 Крик Ф. Г. К. 34, 210, 232—234, 236, 273, 274, 356
 Кристиансен И. А. 166
 Кришнан К. 52
 Крог А. 250—251, 347
 Кронин Дж. 101, 102, 361
 Кроуфут-Ходжкин Д. 204, 233, 357
 Крукс У. 40, 84
 Кун Р. 201—202, 220, 352
 Купер Л. 143—144, 359
 Курнан А. Ф. 253—254, 355
 Кюне В. 295
 Кюри П. 42—43, 343
- Лаборд А. 43**
 Лавран Ш. Л. А. 303—305, 344
 Лавуазье А. Л. 205
 Лакёр Э. 258
 Лангерганс П. 256—257
 Ландау Л. Д. 101, 141, 144, 357
 Ландштейнер К. 326—327, 349
 Ландсберг Г. С. 52
 Ланжевен П. 128
 Латтес Ч. М. Дж. 86, 88
 Лаур М. фон 59, 158, 346
 Лебедев А. Н. 207
 Ле Бель Ж. 160
 Ледерберг Дж. 238, 356
 Лейт Э. 121
 Лелуар Л. Ф. 270, 359
 Ленард Ф. 40, 344
 Ленгмюр И. 170—172, 350
 Ленинджер А. Л. 223
 Лёви О. 283, 284, 351
 Либби У. Ф. 70—71, 356
 Либих Ю. 33, 205
 Ли Дзундао 89, 100—101, 355
 Линен Ф. 271—272, 357
 Липман Г. 119, 251, 345
 Липман Ф. А. 221—222, 345
 Липскомб У. Н. 159—160, 360
 Ломоносов М. В. 48
 Лондон Г. 143
 Лондон Ф. 143, 153, 154
 Лоренц К. 38, 287—289, 359
 Лоренц Х. А. 46—47, 118, 128, 343
- Лоуренс Э. О. 34, 73, 352
 Лукас К. 278
 Луниг Н. И. 198
 Лурия С. Э. 34, 232, 241—243, 358
 Львов А. М. 239—240, 357
 Льюис Г. Н. 36, 68, 153
 Лэмб У. 132—133, 355
- Майкельсон А. А. 117—118, 344**
 Майнот Дж. Р. 318, 350
 Майтнер Л. 72, 74
 Мак-Дуглас Д. 149
 Мак-Кан С. 264
 Мак-Карти М. 231
 Макклиток Б. 35, 248, 362
 Маклеод Дж. Дж. Р. 257—258, 348
 Мак-Леод К. 231
 Макманн Ч. 218
 Макмиллан Э. М. 73—74, 88, 354
 Максам Э. 247
 Максвелл Дж. К. 46, 97, 103, 128
 Малликен Р. 154—155, 358
 Мандельштам Л. И. 52
 Мансон П. 304
 Марей Э. 261
 Мариотт Э. 138
 Маркони Г. 103, 345
 Марсден Э. 49, 92
 Мартин А. Дж. П. 173, 354
 Мархлевский Л. П. 213
 Маршак Р. 98
 Маттеи Г. 235
 Маттеучи К. 277
 Медвар П. Б. 332—333, 356
 Мейергоф О. 218, 347
 Мейман Т. 123
 Мельников А. Ф. 247
 Менделеев Д. И. 31, 168
 Мендель Г. И. 225—226, 231
 Мернан Г. Ф. 258
 Мёллер Г. Дж. 34, 228—230, 237, 352
 Мёрфи У. П. 318, 350
 Мёссбауэр Р. 126—127, 356
 Мечников И. И. 329—331, 345
 Милликен Р. Э. 46, 83, 348
 Миллс Р. 98
 Мильштейн Ц. 338, 362
 Мирзабеков А. Д. 247
 Митчелл П. 223—224, 361
 Мишер Ф. 231, 272
 Мозли Г. 61
 Монии А. Э. 290—291, 353
 Моно Ж. Л. 239—240, 357
 Морган Т. 227—229, 350
 Мотт Н. 35, 130—131, 360
 Моттлельсон В. 80—81, 360
 Муассан А. 31, 168—169, 344
 Мур С. 210—211, 274, 359
 Мэррифилд Р. Б. 189—190, 362
 Мюллер П. 306, 353
 Мюрбек К. 207
- Навратил Э. 283**
 Нагаока Х. 49
 Надсон Г. А. 229
 Найт Т. Э. 225
 Натанс Д. 244—245, 361
 Натта Дж. 182, 357
 Неель Л. Э. Ф. 129, 359
 Ненцкий М. В. 213
 Нернст В. 149, 347

Николь Ш. 305—306, 349
Ниренберг М. У. 235—236, 358
Нобили Л. 277
Ноден Ш. 225
Норриш Р. Дж. Р. 164—166, 358
Нортрон Дж. Х. 208, 209, 353
Ньютон И. 43, 45, 97

Овертон Э. 280, 281
Овчинников Ю. А. 190
Оже П. В. 86
Оккиалини Дж. С. 85, 86
Олицкий П. К. 308
Онсагер Л. 150—151, 358
Оствальд В. Ф. 163—164, 280, 345
Оуэн Р. 332
Очоа С. 234, 356

Павлов И. П. 33, 249—250, 290, 344
Пайен А. 205
Пайнс Д. 81
Паладе Дж. Э. 268—269, 360
Парселл Э. М. 131—132, 354
Пастер Л. 205, 325
Паули В. 56—57, 88, 352
Пауэлл С. Ф. 78, 86, 87, 354
Пекельхаринг К. 207
Пелетье Ж. 212
Пензиас А. 37, 102, 110—111, 361
Пеннет Р. 227—228
Перрен Ж. Б. 49, 175—176, 348
Персо Ж. 205
Перуц М. Ф. 204, 233, 273, 274, 357
Пирке К. 328
Пирсон К. 227
Планк М. 35, 44, 45, 149, 347
Плюккер Ю. 39
Полинг Л. К. 154, 233, 355
Попов А. С. 103
Портер Дж. 164—166, 358
Портер Р. Р. 331, 333—335, 359
Праут У. 66, 139
Прегль Ф. 170, 203, 348
Прелог В. 196—197, 360
Пригожин И. 150—151, 360
Пристли Дж. 212
Прокофьева-Бельговская А. А. 229
Прохоров А. М. 122, 124, 357
Пуанкаре Ж. А. 41
Пфеффер В. 152

Раби И. 131, 352
Райл М. 37, 108, 360
Райнес Ф. 88
Райт А. 330
Рейхштейн Т. 259—260, 353
Раман Ч. В. 52, 349
Рамзай У. 139—140, 344
Рамон-и-Кахаль С. 276—277, 289, 344
Ребер Г. 107
Резерфорд Э. 34, 49—50, 64, 65, 75, 76, 82, 87—88, 345
Рейнуотер Дж. 80—81, 360
Рентген В. 31, 41, 57, 62, 343
Ридберг И. Р. 43
Рихтер Б. 95, 96, 360
Ричардс Д. 253—254, 355
Ричардс Т. У. 66, 346
Ричардсон О. У. 104—105, 349

Рише Ш. 327—328, 346
Роббинс Ф. 308—309, 354
Робинсон Р. 196, 353
Росс Р. 303—304, 343
Роус Ф. П. 35, 242, 312—314, 324, 357
Ру В. 339
Руббинс К. 99—100, 362
Ружичка Л. С. 192—193, 197, 258—259, 352

Сабатье П. 185—186, 346
Сабин А. Б. 308
Сажре О. 225
Сазерленд Э. У. 265—266, 359
Саката С. 93
Салам А. 97, 98, 102, 361
Самнер Дж. Б. 208, 209, 353
Самуэльсон Б. 266—267, 362
Сафран М. 264
Сведберг Т. 172, 175—176, 268, 348
Свердлов Е. Д. 247
Сегре Э. Дж. 89, 356
Селье Г. 36, 260
Семенов Н. Н. 166—167, 355
Сенгер Ф. 189, 210, 246—247, 263—264, 273, 356, 361
Сент-Дьёрды А. 195, 201, 219—220, 351
Сеттен У. 226
Сиборе Г. Т. 74—75, 354
Сигбан К. 61—62, 125, 361
Сигбан К. М. Г. 61, 348
Синг Р. Л. М. 173, 354
Складовская-Кюри М. 42—43, 343, 345
Скулачев В. П. 224
Смит Г. 244—245, 361
Смолюховский М. 174, 175
Снелл Дж. Д. 335, 361
Соболев Л. В. 257
Содди Ф. 65, 66, 347
Сперри Р. 292, 298, 361
Стайн У. Х. 210—211, 274, 359
Старлинг Э. Г. 255
Стас Ж. С. 66
Стедлер Л. 229
Стефан И. 44
Столетов А. Г. 45
Стоней Дж. 41
Стретт Дж. У. (Рэлей) 44, 139, 140, 343
Стэнли У. М. 209, 353
Сударшан Э. Ч. Дж. 98
Сцилард Л. 72

Тамм Н. Е. 77, 90—91, 356
Таубе Г. 156—157, 362
Таунс Ч. Х. 122—124, 357
Тейлер М. 305, 307, 355
Тейтем Э. 235, 237—238, 355
Темин Х. М. 242—243, 360
Теорелла А. Х. Т. 223, 355
Тимофеев-Ресовский Н. В. 229
Тинберген Н. 38, 287—289, 359
Тинг С. 95, 96, 360
Тиселиус А. 172—173
Тодд А. 209—210, 232, 355
Томонага С. 97—98, 132, 357
Томсон Дж. Дж. 34, 40, 41, 47, 49, 57, 87, 153, 344
Томсон Дж. П. 54, 351
Тунберг Т. Л. 220

Уилер Дж. 78—79, 80
Уилкинс М. 232—234, 274, 356
Уилкинсон Дж. 161, 359
Уипл Дж. Х. 317—318, 350
Уолд Дж. 295, 296, 358
Уоллер А. 251, 252
Уолтон Э. Т. С. 73, 74, 354
Уотсон Дж. Д. 210, 34, 232, 234, 273,
274, 356
Упатниекс Ю. 121
Усай Б. А. 222, 261, 353
Ухтомский А. А. 290
Уэллер Т. 308—309, 354

Фаулер У. 114—115, 362
Фаянс К. 65
Фейнман Р. 97—98, 132, 357
Фельдберг В. 284
Ферми Э. 34, 71, 72, 351
Фибигер Я. 312—313, 348
Филиппов Г. С. 229
Финзен Н. Р. 315—316, 343
Финлей К. Х. 306
Фитч В. 101, 102, 361
Фицджеральд Ф. 119
Фишер Х. Э. 213—214, 215, 349
Фишер Э. Г. 183—184, 210, 343
Фишер Э. О. 161, 359
Флеминг А. 321—322, 352
Флори П. Дж. 182—183, 360
Флори Х. У. 322, 352
Форсман В. 252—253, 355
Франк Дж. 51, 348
Франк И. М. 90—91, 356
Франклин Р. 233—234, 274
Фрёллих Г. 143
Фридман А. А. 110
Фридрих В. 59
Фриш О. 131
Фриш К. фон 37, 287—289, 359
Фукуи К. 155—156, 362
Функ К. 200

Хаббл Э. 110
Хага Г. 58
Хазгинс Ч. Б. 323—324, 357
Хаксли А. Ф. 280—282, 286, 357
Харитон Ю. Б. 166
Харрис Г. 264
Хартлайн Х. К. 296, 358
Хассель О. 160—161, 358
Хаунсфилд Г. 63, 361
Хевеши Д. 68, 69, 352
Хейманс К. 254—255, 351
Хенч Ф. Ш. 259—260, 353
Херцберг Г. 161—162, 359
Херши А. Ф. 241—242, 358
Хилл А. В. 217, 218, 286, 347
Хингелвуд С. 166—167, 355
Ходжкин А. Л. 280—282, 286, 357
Хойл Ф. 115
Холли Р. У. 236, 358
Холмгрен А. Ф. 278, 294
Хопкинс Ф. Г. 199—200, 349
Хоуорс У. Н. 195, 201, 351
Хофман Р. 156, 362
Хофстедтер Р. 92, 127, 356
Хохлов Р. В. 124

Хьюбел Д. 293, 296—298, 361
Хьюиш Э. 37, 108—109, 360

Цернике Ф. 119—120, 354
Цвейг Дж. 93—94, 95, 96
Цвет М. С. 172, 212
Циглер К. 181—182, 357

Чандрасекар С. 115—116, 362
Чаргафф Э. 232
Чедвик Дж. 76—77, 351
Чейн Э. Б. 322, 352
Чемберлен О. 89, 356
Черенков П. А. 90—91, 356
Чермак Э. 226

Шавлов А. 123, 125, 361
Шалли Э. В. 264—265, 360
Швингер Ю. 97—98, 132, 357
Шейфер Ш. 257
Шемьякин М. М. 188, 190
Шеррер П. 158—159
Шеррингтон Ч. С. 278, 282, 289—
290, 350
Шмидт К. Э. 194
Шмидт Э. К. 42
Шнейдер Ф. А. 226
Шокли У. Б. 105, 355
Шоу Т. 281
Шоуп Р. 313
Шпеман Х. 339—340, 350
Шрёдингер Э. 54, 55, 56, 350
Шриффер Дж. Р. 143—144, 359
Штарк Я. 47—48, 153, 347
Штаудингер Г. 180—181, 188, 354
Штерн О. 131, 352
Штурли А. 326

Эддингтон А. 112
Эдельман Дж. 331, 333—335, 359
Эдриан Э. Д. 278, 290, 294, 296, 350
Эйвери О. Т. 35, 231—232
Эйген М. 165—166, 358
Эйкман Х. 198—199, 200, 349
Эйлер У. фон 267, 286—287, 358
Эйлер-Хельмш X. фон 201, 207, 349
Эйнштейн А. 35, 45, 46, 97, 174—
175, 347
Эйнтховен В. 251—252, 348
Эккс Дж. К. 282, 285—286, 357
Эллерман В. 311—312
Эллиот Т. Р. 283
Эльзассер В. 51, 79
Энгельгардт В. А. 223
Эндерс Дж. 308—309, 354
Эптон Э. В. 106, 353
Эрлангер Дж. 279—280, 352
Эрлих П. 319, 330—331, 345
Эсаки Л. 134—135, 359
Эфрусси Б. 237

Юкава Х. 77, 353
Юри Г. К. 68, 350

Ялоу Р. С. 264—265, 360
Янг Чэжэньин 89, 98, 100—101, 355
Яцский К. 107

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора перевода	5
Введение	16
I Альфред Нобель	18
II Загадочные лучи	39
III Изотопы	64
IV Космические лучи	82
V Радиоволны	103
VI Оптика и голография	117
VII Магнитные явления	128
VIII Химическая термодинамика	147
IX Промышленная химия	177
X Природные вещества	191
XI Фотосинтез	212
XII Рождение генетики	225
XIII Физиология	249
XIV Нейрофизиология	276
XV Медицинская микробиология	301
XVI Иммунология	325
Литература	341
Приложение	343
Именной указатель	364

1p. 101c.

4879