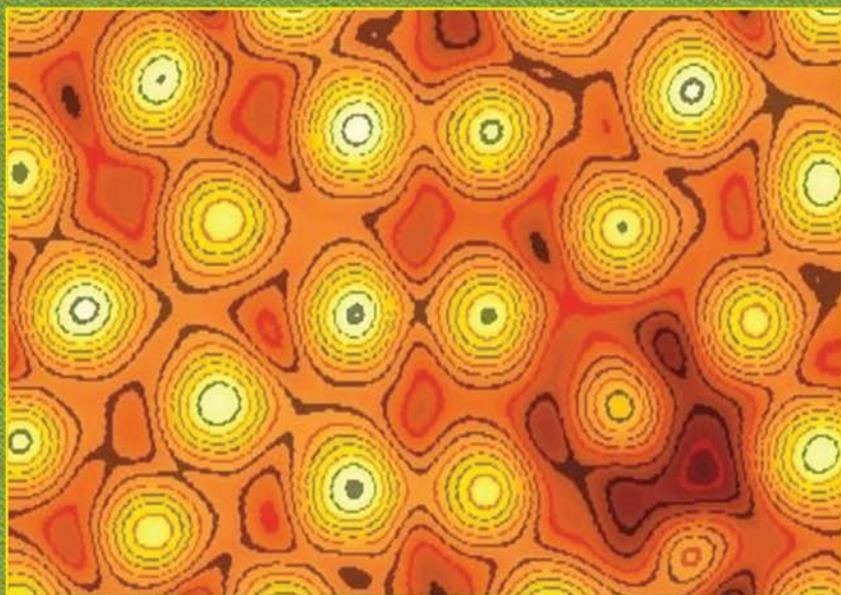


*Геннадий Скорынин*



**100 ЛЕТ  
С ИЗОТОПАМИ**



## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ**

*Геннадий Михайлович Скорынин живет в городе Зеленогорске Красноярского края, работает советником по научной работе в ОАО «ПО «Электрохимический завод». В 1970 году окончил физико-технический факультет Уральского политехнического института в г. Свердловске по специальности «разделение и применение изотопов». 20 лет работал на Уральском электрохимическом комбинате в группе технологических расчетов, руководил расчетно-теоретической лабораторией, защитил кандидатскую диссертацию на тему «моделирование и численные методы оптимизации центрифужных каскадов для обогащения урана». В 1990 году переведен на Электрохимический завод в качестве заместителя главного инженера по научной работе и ядерной безопасности.*

*Подготовил свыше сотни научно-технических отчетов, опубликованных статей, выступлений на конференциях. Получил полтора десятка авторских свидетельств и патентов на изобретения. Данная научно-популярная книга является литературным дебютом. Автор с благодарностью примет все пожелания и замечания читателей, которые просит присылать по адресу: [skorynin@gmail.com](mailto:skorynin@gmail.com).*

*Геннадий Скорынин*

**100 ЛЕТ  
С ИЗОТОПАМИ**

*Зеленогорск*

*2014*



100 ЛЕТ С ИЗОТОПАМИ Геннадий СКОРЫНИН

---

Верстка А.А. Авксененко  
Корректор С.О. Исаченко

Тираж 200 экз.

Отпечатано в типографии ООО «НОНПАРЕЛЬ».  
Адрес: 663690, Красноярский край,  
г. Зеленогорск, ул. Первая Промышленная, д. 1А.  
Тел.: 8 (391-69) 9-37-00, 9-43-58

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книжка подготовлена на основе серии статей, опубликованных недавно в корпоративной газете ОАО «ПО «Электрохимический завод» «Импульс-ЭХЗ» в связи со столетием появления термина «изотоп». 4 декабря 1913 года в редакцию научного журнала «Природа» поступила статья «Внутриатомный заряд» /1/, которую написал английский ученый Фредерик Содди на двух страницах. В этой статье, краткость которой противоречила ее важности, Содди впервые ввел понятие изотопов как разновидностей химически неразличимых атомов, отличающихся только их атомным весом и радиоактивными свойствами. Слово «изотопы» (от древнегреч. *ισος* – равный, одинаковый, и *τόπος* – место) означает, что все такие разновидности атомов какого-либо химического элемента должны помещаться в одно и то же место (в одну клетку) Периодической таблицы Д.И. Менделеева. Концепция изотопов сложилась у Содди к 1910 году в результате многолетнего изучения продуктов, образующихся при естественном радиоактивном распаде урана и тория. Исследованием радиоактивности Содди занимался вместе с Эрнестом Резерфордом, который в 1911 году предложил планетарную модель атома.

В 1912 году Дж. Дж. Томсон и его ассистент Фрэнсис Астон впервые получили данные о существовании двух разновидностей атомов неона с атомными весами 20 и 22. Их результаты были опубликованы в 1913 году и подтвердили предположение Содди, что изотопы могут быть не только у тяжелых радиоактивных элементов, но и у стабильных химических элементов по всей таблице Д.И. Менделеева.

В книге прослежена эволюция представлений о строении веществ, моделей атомов, изотопах и методах их разделения, начиная от древних греков до настоящего времени. Среди многочисленных публикаций в печатных изданиях, СМИ и Интернете об атомистике

и радиоактивности, как правило, информация об изотопах встречается в «разбавленном», рассредоточенном виде и, по аналогии с получением самих изотопов, нуждается в концентрировании. Большинство из изложенных в книге фактов можно легко найти в Интернете, набрав в поисковике несколько ключевых слов. Однако «попавшиеся в сети» сведения зачастую противоречат друг другу. Для установления истины и восстановления объективности данных автор провел почти «археологические раскопки», анализируя материалы первоисточников. Насколько удачной оказалась попытка концентрирования информации об изотопах и ее очистка от информационного мусора, судить Вам, уважаемый читатель!

Разделение стабильных изотопов является одним из основных видов деятельности Электрохимического завода, которым предприятие занимается с 1971 года. Автор выражает благодарность генеральному директору ОАО «ПО «Электрохимический завод» С.В. Филимонову за поддержку идеи данного издания, а также всем читателям, проявившим интерес к публикации в газете «Импульс-ЭХЗ» и высказавшим свое одобрение. Особая благодарность Светлане Исаченко и Анастасии Авксененко, оказавшим неоценимую помощь в подготовке текста к печати и оформлении книги.

Г.М. Скорынин

## СТИХИИ И АТОМЫ

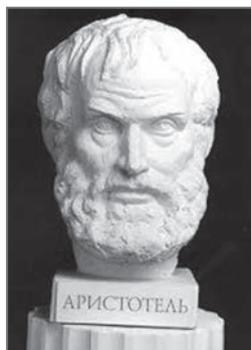
Предыстория изотопов началась две с лишним тысячи лет назад, когда мудрецы древних цивилизаций стали задумываться над устройством окружающего мира. В Древней Греции существовали две противоборствующие школы философов. Наиболее ярким представителем одной из школ был Аристотель, который, как и его учитель Эмпедокл, считал, что основными элементами природы, лежащими в основе всех вещей, являются четыре стихии: вода, земля, воздух и огонь. На рисунке показано, как комбинации из этих четырех элементов образуют противоположные качества: огонь – горячий и сухой, воздух – горячий и влажный, земля – холодная и сухая, вода – холодная и влажная.



*Эмпедокл  
из Акраганта  
(ок. 490–430 гг. до н. э.)*



*Элементы – стихии  
и качества, образующи-  
еся при их сочетаниях*



*Аристотель  
из Стагира  
(384–322 гг. до н. э.)*

Аристотель был первым мыслителем, создавшим всестороннюю систему знаний, охватившую все сферы человеческого развития: социологию, философию, политику, логику, физику. Его учение о началах всего сущего имело серьезное влияние на последующее развитие человеческой мысли. Система взглядов Аристотеля на физику и связанные с ней науки, получившая название

метафизика, была воспринята Фомой Аквинским и в последующем развита схоластиками.

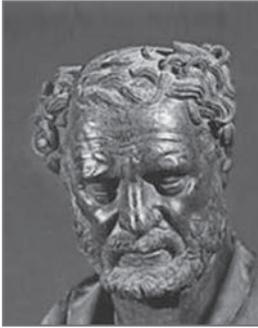
Аристотель дополнил четыре стихии Эмпедокла пятым элементом – «квинтэссенцией» (по латыни *quinta essentia* – пятая сущность), который он назвал эфиром (от греч. *aither*), имея в виду верхний лучезарный слой воздуха. В отличие от четырех несовершенных земных элементов Аристотель считал эфир совершенной, вечной, тончайшей материей, заполняющей все пустоты мирового пространства, включая небеса.

Наиболее известными представителями другой школы, объединяющей греческих философов-атомистов, были Левкипп, Демокрит, Платон, Эпикур и Лукреций. Развиваемое этой школой учение о том, что материя состоит из мельчайших частиц и что деление материи возможно лишь до известного предела, получило название атомистики, или атомистической теории.

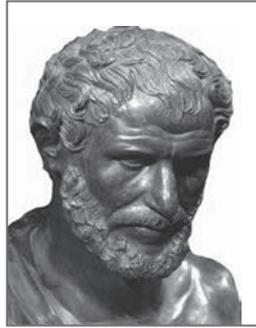
Иониец Левкипп (ок. 500–440 гг. до н. э.) первым задался вопросом, можно ли каждую часть материи, как бы мала она ни была, разделить на еще более мелкие части. Левкипп считал, что в итоге такого деления можно получить настолько малую частицу, что дальнейшее деление станет невозможным.

Ученик Левкиппа Демокрит из Абдеры (ок. 470–360 гг. до н. э.), развивая мысли своего учителя, назвал эти крошечные частички «атомами» (от древнегреч. *ἄτομος* – неделимый), и введенный им термин мы до сих пор используем. Демокриту казалось, что атомы каждого элемента имеют особые размеры и форму и что именно этим объясняются различия в свойствах элементов. Реальные вещества, которые мы видим и ощущаем, представляют собой соединения атомов различных элементов, и, изменив природу этого соединения, можно одно вещество превратить в другое.

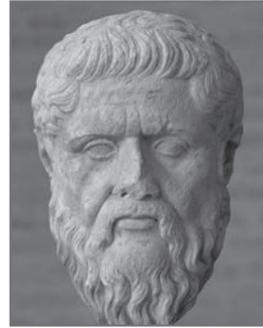
Платон внес в атомистику математическое содержание, представляя атомы в виде правильных геометрических тел – многогранников, в отличие от бесструктурных атомов Левкиппа, Демокрита и впоследствии – Эпикура.



*Левкипп*  
(ок. 500–440 гг. до н. э.)

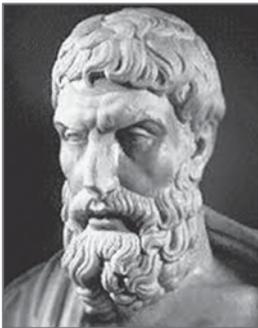


*Демокрит из Абдеры*  
(ок. 470–360 гг. до н. э.)



*Платон из Афин*  
(427–347 гг. до н. э.)

Однако в античные времена идеи атомистов подвергались жестокой критике со стороны многих философов, особенно Аристотеля. Понятие о материальной частице, которую нельзя расщепить на более мелкие частицы, казалось настолько парадоксальным, что никто из критиков не мог его принять. Какие-либо наглядные доказательства существования атомов отсутствовали. Древнегреческие философы вообще не ставили экспериментов, они искали истину



*Эпикур*  
(около 342–270 гг.  
до н. э.)

в споре, исходя из наблюдения «первопричин» и логики. Авторитет Аристотеля в средние века был столь велик, что на протяжении длительного периода атомистика была, по существу, в загоне. Атомистическая теория оставалась не востребованной около двух тысячелетий после Демокрита, о ней почти никто не вспоминал. И только в XVII веке в науке вновь возрождаются гипотезы об атомном строении вещества.

И все-таки атомистическая концепция полностью не исчезла. Древнегреческий философ Эпикур (около 342–270 гг. до н. э.) уже после Аристотеля использовал атомизм

в своем учении, а эпикурейцы имели немало приверженцев и в последующие века. Одним из этих приверженцев был древнеримский поэт Тит Лукреций Кар (около 95–55 гг. до н. э.), известный как Лукреций. Он изложил атомистические взгляды Демокрита и Эпикура в поэме «О природе вещей» («De Rerum Natura») – по мнению многих, лучшей из когда-либо написанных дидактических поэм, нацеленных на обучение. Интересно, что Лукреций ни разу не употребил в своей поэме слово «атом», но использовал более десятка синонимов. Некоторые из них («корпускула», «элемент») позднее получили распространение в языке науки, но несколько в ином смысле.

Во всяком случае, в то время как труды Демокрита и Эпикура были утрачены, остались лишь отрывки и цитаты, поэма Лукреция сохранилась полностью и донесла атомистическое учение до тех дней, когда в борьбу вступили новые научные методы, которые и привели атомизм к окончательной победе. До изобретения в XV веке типографского станка книги переписывались вручную. Одним из распространителей книги Лукреция был знаменитый оратор Марк Туллий Цицерон (106–43 гг. до н. э.).



**Тит Лукреций Кар**  
(99–55 гг. до н. э.) –  
римский поэт и фило-  
соф-материалист



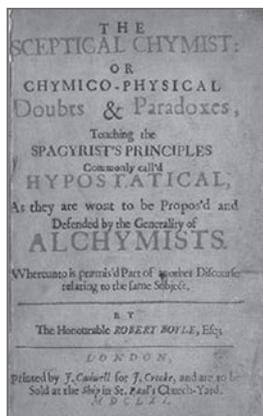
**Титульный лист**  
книги Лукреция  
«О природе вещей»,  
изданной в 1576 году  
в типографии  
во Франции.  
Это единственный  
полностью сохра-  
нившийся памятник  
материалистиче-  
ской мысли древних  
атомистов

## ВОЗРОЖДЕНИЕ АТОМИЗМА

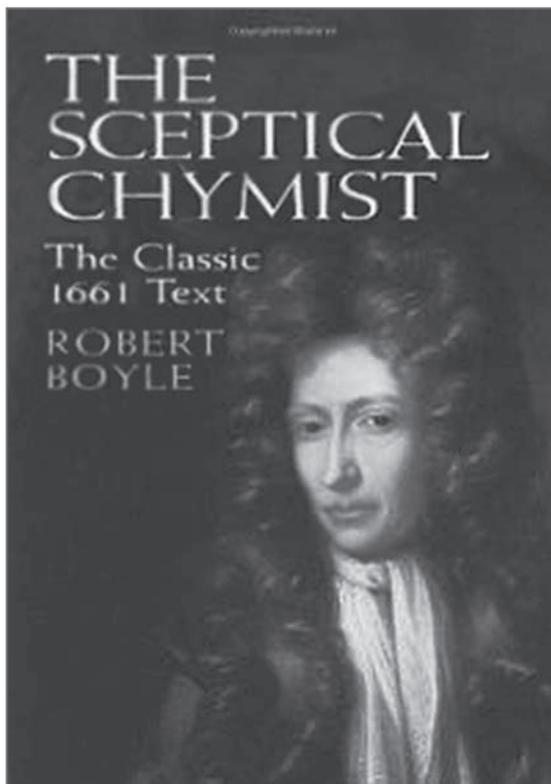
С начала нашей эры до окончания Средневековья в науке господствовала стагнация. Более тысячи лет алхимики искали философский камень и эликсир бессмертия, пытались найти способ получения золота из подручных материалов. Метафизическое учение Аристотеля было канонизировано церковью, и атомистические представления преследовались инквизицией как еретические. Одним из первых, кто способствовал возрождению атомистики, был Пьер Гассенди (1592–1655) – французский философ, математик, астроном и исследователь древних текстов. С 1617 года он возглавлял кафедру философии в университете в Экс-ан-Провансе. Открытия Коперника и сочинения Джордано Бруно, Петра Рамуса и Людовика Вивеса окончательно убедили Гассенди в непригодности аристотелевской физики и астрономии. Читая лекции, Гассенди сначала излагал учение Аристотеля, а потом показывал его ошибочность. К 1627 году он подготовил скептическое антиаристотелевское сочинение «*Exercitationes paradoxicae adversus Aristoteleos*», однако не решился его опубликовать, опасаясь участи Джордано Бруно, Этьена Доле и других казненных вольнодумцев. Нападать на Аристотеля, как и защищать Коперника, в то время было небезопасно. В 1625 году в Париже был издан закон, согласно которому распространители и приверженцы атомистического учения должны были подвергаться телесным наказаниям, а в некоторых случаях даже казни.

Английский ученый Роберт Бойль (1627–1691) в своем главном сочинении «Химик-скептик» (1661) /2/ дал ясный анализ атомизма с точки зрения химии. По Бойлю, атомы бывают разных сортов. Тела, построенные из атомов одного сорта, являются «простыми телами» (по современным понятиям – химическими элементами). При соединении атомов образуются более сложные частицы – молекулы, а тела, построенные из них, называются «совершенными смесями» (по современным понятиям – химическими соединениями).

ми). Однако скудная по тому времени экспериментальная техника не дала возможность Бойлю установить, какие тела являются простыми, а какие – соединениями. Он допускал, что единственным простым телом является вода. А все другие известные в то время вещества (железо, медь, золото, серебро, свинец, ртуть и др.) являются смесями.



*Титульный лист  
книги Роберта Бойля  
«Химик-скептик»,  
изданной в 1661 году,  
и обложка современ-  
ного издания*



Важный вклад в химическую атомистику внес великий русский ученый Михайло Васильевич Ломоносов (1711–1765).



Он имел цельное научное представление о телах природы, исходя из атомистической гипотезы, и вслед за своими предшественниками – Бойлем, Ньютоном и другими – поднял химическую атомистику на более высокий уровень. По его мнению, «начальным есть тело, состоящее из однородных корпускул... Смешанные тела есть такие, которые состоят из двух и более начал, соединенных между собой так, что каждая его отдельная корпускула имеет такое отношение к частям начал, из которых оно состоит, как и все смешанное тело – к целым отдельным началам». По Ломоносову, в основе атомистики лежит положение о неразрывной связи материи и ее внутреннего движения, что противоречило предыдущему этапу в развитии атомистики, где движение считалось чем-то внешним. Он также развил кинетическую теорию тепла, нанеся удар по теории теплорода, и пришел к понятию абсолютного нуля температур.

Первым экспериментальное подтверждение атомной гипотезы нашел английский химик Джон Дальтон. В начале XIX века Дальтон открыл несколько новых экспериментальных закономерностей, объяснить которые, не прибегая к предположению о дискретности материи, было невозможно. Основываясь на законе кратных отношений, открытом им в 1803 году, и законе постоянства состава, Дальтон разработал свою атомистическую теорию, изложенную в вышедшем в 1808 году труде «Новая система химической философии». Дальтон опубликовал первую таблицу относительных атомных весов всех известных к тому времени химических элементов.

К сожалению, Дальтон был плохим экспериментатором, и его «целочисленные» атомные массы оказались весьма неточными. Вскоре их уточнил шведский химик Йенс Берцелиус (1779–1848), который проанализировал свыше 2 000 различных химических соединений и получил для атомных весов величины, мало отличающиеся от современных данных.

Попутно Берцелиус открыл несколько новых химических элементов: селен, кремний, торий и тантал, а также уточнил число атомов в молекулах воды, аммиака и других соединений.



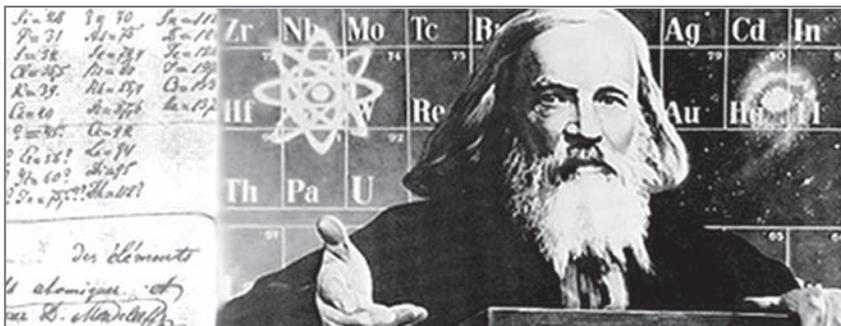
ELEMENTS			
Hydrogen	1	Stontian	46
Azote	5	Barites	68
Carbon	5f	Iron	50
Oxygen	7	Zinc	56
Phosphorus	9	Copper	56
Sulphur	13	Lead	90
Magnesia	20	Silver	190
Limc	24	Gold	190
Soda	28	Platina	190
Potash	42	Mercury	167

*Основатель современной атомистики английский химик Джон Дальтон (1766–1844) и составленная им первая таблица химических элементов*

В 1826 году Берцелиус опубликовал таблицу из 46 известных в то время химических элементов с новыми дробными атомными весами, а также ввел привычную для нас символику для обозначения химических элементов – одной или двумя буквами, первыми в их латинских названиях.

После определения атомных весов все более актуальной становилась проблема систематизации химических элементов. К 1860 году их число возросло до 63. Создание периодической системы химических элементов стало результатом многолетней работы многих химиков. Важнейший вклад в систематизацию элементов внес русский химик Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907), который в марте 1869 года представил Русскому химическому обществу периодический закон химических элементов. Особая заслуга Менделеева состоит в том, что он не просто расположил элементы в определенном порядке, но представил эти закономерности как общий закон природы. На основании предположения, что атомная

масса предопределяет свойства элемента, Менделеев взял на себя смелость изменить принятые атомные веса некоторых элементов и подробно описать свойства еще не открытых элементов – прежде всего, экабора, экаалюминия и экасилиция.



*Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907) – основоположник Периодической системы элементов*

После того как были открыты галлий (1875, Поль Буабодран), скандий (1879, Ларе Нильсон) и германий (1886, Клеменс Винклер), свойства которых совпадали с предсказанными Менделеевым для экаалюминия, экабора и экасилиция, великий русский ученый заслуженно получил международное признание. Лондонское королевское общество в 1882 году присудило Менделееву золотую медаль имени Дэви «за открытие периодических соотношений атомных весов». Вместе с Менделеевым эту награду получил Мейер, а в 1887 году – Дж. Ньюлендс, внесшие значительный вклад в создание периодической системы элементов.

## **ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРЕ МАТЕРИИ**

По мере того как развивались атомистические представления о строении веществ, многие ученые стали их интуитивно переносить на другие формы материи. Явления электричества и магнетизма, открытые в опытах Уильяма Гилберта (1544–1603), Отто фон Герике (1602–1686), Шарля Дюфе (1698–1739), Бенджамина Франклина (1706–1790), Шарля Кулона (1736–1806), Луиджи Гальвани (1737–1798), Александра Вольта (1745–1827), Ханса Эрстеда (1777–1851), Андре Ампера (1775–1836), Майкла Фарадея (1791–1867), Георга Ома (1787–1854) и многих других известных ученых, носили в то время описательный или, выражаясь по-научному, феноменологический характер, не претендующий на установление механизма протекающих процессов. Для объяснения явлений часто использовалось введенное еще Аристотелем понятие эфира. Кстати, термин «эфир» вышел из научного употребления только в начале XX века, когда Альберт Эйнштейн опубликовал свою теорию относительности.

Одним из первых, кто пытался применить понятия дискретных частиц электричества и эфира для объяснения электромагнитных явлений, был член Петербургской академии наук Франц Эпинус. Этот известный физик XVIII века в 1757 году из Берлина был приглашен в Россию по пятилетнему контракту для укрепления отечественной науки на должность профессора и действительного члена Петербургской академии наук.

За 30 лет своего существования Петербургская академия успела занять одно из ведущих мест в мире науки. Несмотря на скудность средств, отпускаемых в ту эпоху царским правительством на ее содержание, ничтожных по сравнению с расточительной роскошью двора, материальное положение Петербургской академии наук по сравнению с зарубежными академиями того времени было блестящим. В то время она, единственная среди всех академий той

эпохи, располагала обширной библиотекой, прекрасно оборудованным физическим кабинетом, первоклассной химической лабораторией, хорошей типографией и граверной палатой и превосходными механическими и оптическими мастерскими. Западноевропейские ученые XVIII века с изумлением и завистью взирали на быстро развивавшуюся со времени Петра I науку в России. Все эти обстоятельства, вместе взятые, привлекли взоры молодого Эпинуса к Петербургу.

*Франц Ульрих Теодор Эпинус (1724–1802) – русский физик, член Петербургской АН (1756). По национальности немец. Учился в Ростокском и Йенском университетах. Был приват-доцентом Ростокского университета, с 1755 года профессор Берлинского университета. С 1757 года жил в России, принял русское подданство. С 1765-го – преподавал физику и математику наследнику престола Павлу I. С 1782-го – член комиссии по учреждению народных училищ, разработал проект, принятый за основу при организации низшего и среднего образования в России. Открыл и изучил явление пьезоэлектричества в кристаллах турмалина (1756). Опираясь на идеи Франклина и Ньютона, разработал теорию электрических и магнитных явлений, подчеркнув их сходство. Впервые объяснил явления электростатической индукции, поляризации, предложил идею электрофора, предсказал колебательный характер разряда лейденской банки. Построил первый ахроматический микроскоп (около 1784).*

*(Большая советская энциклопедия)*

В России Эпинус обрел второе отечество. Здесь он обосновался и прожил 45 лет до конца жизни, отдав новой родине все свои знания и труды. Главный труд Эпинуса «Опыт теории электричества и магнетизма» (1759) принес ему мировую известность. На этот трактат ссылались многие ученые, в частности – лорд Кельвин, когда в 1902 году предлагал одну из своих моделей атома, речь о которой пойдет в дальнейшем. Менее известны другие исследования Эпинуса, в том числе по астрономии, которой он постоянно

интересовался и по ряду вопросов выступал с критикой Ломоносова. К тому же с 1765 года он был отвлечен Екатериной II от систематических научных занятий, работая «репетитором» подрастающего царевича Павла I.

После того как открытия Дальтона и других ученых к началу XIX века создали научную базу атомистической теории, в существовании атомов мало кто сомневался. Многие мыслители стали задумываться над вопросами, что же из себя представляют атомы, какова их внутренняя структура? Сам Дальтон, как и древнегреческие атомисты, не рассматривал внутреннюю конституцию атомов, полагая, что они представляют простые тела. Тем не менее многие химики считали, что атомы представляют сложные тела, имеющие внутреннюю структуру.

В большинстве учебников по физике авторы обычно ограничиваются описанием нескольких моделей атома, предложенных непосредственно перед созданием в 1913 году первой действительно успешной теории Нильса Бора. Недавно датский историк науки Хельге Крэг, профессор Орхусского университета, проанализировав различные теории строения атома, которые предлагались задолго до теории Бора, опубликовал целую коллекцию атомных моделей /3/, кратко описанных ниже.

Английский врач и химик Уильям Праут (1785–1850) опубликовал в 1815 и 1816 гг. две анонимные статьи, в которых предположил, что атомы химических элементов имеют сложную структуру и что все атомы могут образовываться из простейшего – водорода – путем его конденсации. Таким образом, веса атомов всех химических элементов должны быть кратны весу атома водорода. Праут вскоре раскрыл свое авторство, идеи двух статей очень увязаны между собой, поэтому в истории науки остался термин «гипотеза Праута». Гипотеза Праута была поддержана несколькими химиками, в частности – шотландцем Томасом Томсоном, который в развитие этой идеи в 1825 году опубликовал книгу с амбициозным названием «Опыт экспериментального обоснования первого принципа

химии». Идею, что все химические элементы составлены из одного вещества, разделял также Густав Хинрикс (1836–1923), один из участников разработки периодического закона. Хинрикс предлагал назвать основное вещество «пантогеном». Среди других последователей Праута профессор Хельге Крэг называет известного соавтора закона сохранения энергии Людвиг Колдинг (1815–1888), который представлял атомы (называя их «молекулами») в виде аналогов планетарных систем.

*Уильям Праут (1785–1850) – английский химик, врач и религиозный философ. Член Лондонского королевского общества. Известен как автор «гипотезы Праута» о том, что атомы всех химических элементов могут получаться путем конденсации атомов водорода и что все веса атомов должны быть кратны весу атома водорода.*



Однако идея Праута оставалась спорной в течение столетия и была отклонена ведущими химиками – от Берцелиуса до Менделеева. Не только потому, что была умозрительной, но она противоречила уточненным данным об атомных весах. Для некоторых элементов атомный вес не был целым числом, например, для хлора он был близок к 35,5, что не поддавалось объяснению с точки зрения гипотезы Праута. Тем не менее гипотеза оказала огромное влияние на развитие науки в XIX веке. Резерфорд, открыв в 1913 году элементарную частицу протон, назвал ее по ассоциации с фамилией Праута. Заметим, что и доказательство некорректности гипотезы Праута оказалось также неверным – дробный атомный вес хлора был следствием того, что природный хлор является смесью разных стабильных изотопов, о существовании которых во времена Праута, конечно, еще не знали.

К середине девятнадцатого столетия эфир, как в виде дискретных частиц, так и в виде однородной среды, все еще играл важную роль в объяснении физических явлений. Среди умозрительных моделей атомов, построенных с использованием эфира, Крэг упоминает австрийского физика Фердинанда Редтенбакэра (1809–1863), который в 1857 году считал, что материя состоит из тяжелых атомных частиц, окруженных чешуйками из невесомого эфира. Тяжелые частицы механически притягивались друг к другу силой ньютоновского тяготения, а частицы эфира взаимно отталкивались и удерживались массивным атомным ядром. Такие системы из массивного ядра и мелких частиц эфира Редтенбакэр называл «динамиды». Через три десятка лет швейцарский ботаник Карл Негели (1817–1891) более детально развил эту теорию, предположив, что тяжелый атом состоит из плотно упакованных миллиардов корпускул эфира, некоторые из которых имеют массу. Тяжелое ядро эфира окружено атмосферой из эфира, плотность которой уменьшается с расстоянием.

По мере накопления знаний об электрических явлениях их все чаще стали применять для построения моделей атомов вместо механической теории. Одним из первых существование неделимых частиц электричества постулировал английский философ-натуралист Ричард Ламинг (1798–1879). Сейчас эти частицы мы называем электронами (от греч. ἤλεκτρον – янтарь): еще в древности греки натирали куски янтаря шерстью, после чего те начинали притягивать к себе мелкие предметы. Термин «электрон» как название фундаментальной неделимой единицы заряда в электрохимии был предложен в 1894 году ирландским физиком Дж. Дж. Стоуни (1826–1911), применившим эту единицу заряда еще в 1874 году при изучении законов электролиза. Существование электрона было открыто в 1897 году Дж. Дж. Томсоном, за что ему присуждена Нобелевская премия по физике 1906 года.

Согласно Ламингу, атом был составлен из материального ядра, окруженного концентрическими сферами из электрических частиц



положительных и отрицательных зарядов. Теория электрических корпускул была особенно популярна среди немецких физиков. Профессор физики из Лейпцига Вильгельм Вебер (1804–1891) пытался найти фундаментальный закон, объясняющий устройство всей природы. К 1860-м годам он считал, что нейтральный эфир состоит из положительных и отрицательных частиц, движущихся по кругу вокруг друг друга. Аналогичные представления у него были о строении химических атомов. В его более поздних работах, не все из которых полностью опубликованы, Вебер полагал, что тяжелые атомы имеют планетарную структуру с большим количеством крошечных электрически заряженных частиц, вращающихся вокруг массивного ядра. Система удерживалась вместе электрическими силами, в соответствии с его законом. В 1871 году он пришел к выводу, что химические элементы составлены из равного количества положительных и отрицательных частиц, вращающихся друг вокруг друга и, возможно, также выполняющих колебания. Таким образом, он думал, что массу можно взаимно связать с электричеством и, исходя из этого, объяснить понимание периодической системы. Кроме того, он думал, что химические элементы, если бы они были соединениями электрических частиц, могли быть расчленены на более легкие элементы. Казалось, мечта алхимиков получила поддержку от электродинамики! Однако Вебер не учел, что согласно теории электромагнитного поля Максвелла электрическая частица при вращении теряет энергию и, следовательно, приводит к неустойчивости предложенной модели атомов.

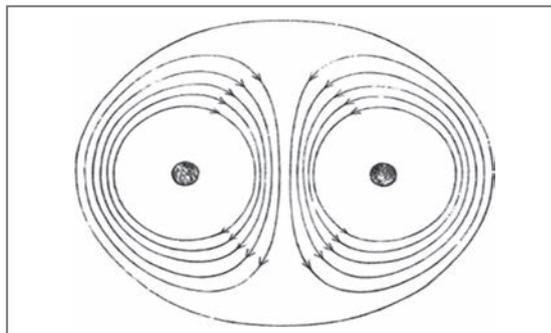
Независимо от Вебера подобные идеи относительно атомов эфира высказывали Роберт Грассманн (1815–1901) и Густав Фехнер (1801–1887). Теории Вебера, Грассманна и других немецких ученых были основаны на гипотетических электрических частицах. Когда электрон в конце столетия оказался реальной частицей, физики вообще недоумевали, что он существует только в отрицательной форме. Казалось бы, для нейтралитета эфира требуется симметрия зарядов, а положительный электрон был без вести пропавшим двойником. В 1899 году Уильям Сатэрленд (1859–1911)

предположил, что эфир состоит из дуплетов отрицательных и положительных частиц, для которых он выдумал название «нейтрон». Реальный нейтрон был обнаружен только в 1932 году.

Совершенно особое направление для размышлений о строении материи дала гидродинамическая теория вихревых движений, впервые разработанная и опубликованная в 1858 году немецким физиком и психологом Германом Гельмгольцем (1821–1894). Витиеватые математические выкладки этой теории объяснили давно известный способ получения колец табачного дыма. Если взять картонную коробку с небольшим круглым или даже некруглым отверстием в одной из сторон, напустить в нее дыму и постукивать по дну или крышке, то каждый раз из отверстия выскакивает дымное кольцо. Подобным же образом можно воспроизвести кольца окрашенной жидкости в воде. Математическая теория настолько впечатлила Уильяма Томсона, что он предположил, что по принципу устойчивого вихря должны быть устроены атомы материи, о чем сообщил в статье «О вихревых атомах», напечатанной в 1867 году. В последующие годы У. Томсон написал еще несколько публикаций на эту тему. Схожую модель атома предложил Уильям Ренкин (1820–1872). В течение приблизительно двух десятилетий честолюбивая и математически сложная теория вихря вызывала большой интерес среди склонных к математике британских физиков, включая не менее известного однофамильца Дж. Дж. Томсона.



*Уильям Томсон (1824–1907) – шотландский физик и механик. В 1892 году королева Виктория за заслуги пожаловала ему пэрство с титулом «барон Кельвин». Известен своими работами в области термодинамики, механики, электродинамики.*



*Вихревая модель атома, похожего на дымовое кольцо, из статьи У. Томсона «О вихревых атомах», 1867 г.*

Предполагая, что каждый атом есть вихревое кольцо и что каждая молекула многоатомного газа есть соединение таких вихревых колец, У. Томсон основал кинетическую теорию газов, которая объяснила отступления реальных газов от закона Бойля и Мариотта, что невозможно сделать с помощью обычной кинетической теории, даже предполагая взаимодействия между молекулами газа.

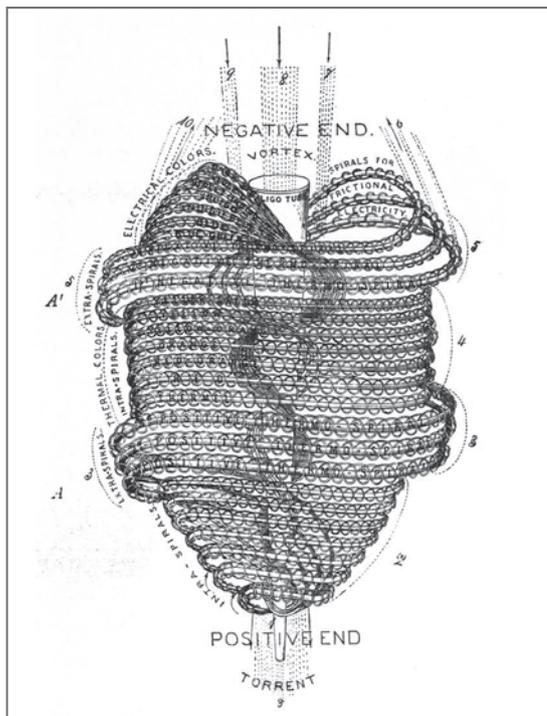
После открытия в 1897 году электрона оба Томсона предложили новые модели атомов. О них пойдет речь в следующей главе, где, наконец, и произойдет открытие изотопов. А сейчас «на десерт» дополним коллекцию еще одним умоглядным атомом XIX века.

В рекламе, размещенной в Интернете на сайте <http://www.medom.ru/production/apek> (и, вероятно, не только там), предлагают всего за 8 500 рублей купить очки «АПЭК», которые с помощью цветотерапии помогают вылечить множество болезней разных органов: от заболеваний глаз, наркомании и до болезней тонкой кишки. Видимо, для «научного обоснования» принципа работы прибора в прилагаемой инструкции под номером один сделана ссылка на книгу Э.Д. Бэббита «Принципы света и цвета. Исцеляющая сила цвета» («София», Киев, 1996 год). Эта книга доступна для скачивания в Интернете на страницах эзотерического содержания. Эзотерика – это учение о скрытой мистической сути объектов мира и человека, объединяющее магию, алхимию, астрологию, теософию, гностицизм и другие «...измы».

Оригинал книги американского учителя, издателя и врача-психотерапевта Эдвина Бэббита (1828–1905) был опубликован в 1878 году в Нью-Йорке /4/. Самое интересное в этой книге, имеющее отношение к нашей теме, это модель атома, каким его видел Бэббит 135 лет назад. Выглядит он вот так:



**Эдвин Бэббит  
(1828–1905)  
и его Атом**



С редким предвидением он написал: «Если такой атом установить посреди Нью-Йорка, то он может создать такой смерч, что все роскошные здания, мосты и окружающие города... будут разорваны в клочья и улетят в небо» (1878).

Трудно себе представить, какова должна быть сила очков, чтобы так видеть окружающий мир!

## РЕВОЛЮЦИЯ В ФИЗИКЕ И «КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ МАРОК»

Крылатую фразу «Все науки о Природе делятся на физику и коллекционирование марок» изрек «отец» ядерной физики Эрнест Резерфорд, получив известие о присуждении ему Нобелевской премии по... химии.

Когда выдающийся немецкий физик, один из основателей квантовой теории, Макс Планк решил заниматься теоретической физикой, семидесятилетний профессор Мюнхенского университета Филипп Жолли попытался отговорить двадцатилетнего студента, объясняя, что «в этой области почти все уже открыто, и все, что остается – заделать некоторые не очень важные пробелы».



*Макс Карл Эрнест Людвиг Планк (1858–1947) – немецкий физик, один из основоположников квантовой теории, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1913) и почетный член АН СССР (1926). В 1900 году ввел квант действия (постоянная Планка) и, исходя из идеи квантов, вывел закон излучения, названный его именем. Труды по термодинамике, теории относительности, философии естествознания. Нобелевская премия по физике (1918).*

Действительно, законы классической механики, основанные еще Исааком Ньютоном, статистическая физика Людвиг Больцмана, кинетическая теория газов Джеймса Максвелла и, наконец, строго математическая теория электромагнитного поля, в которой Максвелл блестяще обобщил опыты и идеи Фарадея, Кулона, Ампера, Ома и других предшественников в области магнетиз-

ма, электричества и света, казалось бы, представляют завершённую систему физических знаний. Однако на пороге XX столетия был открыт ряд новых физических явлений, которые в корне перевернули сложившиеся представления о строении окружающей материи.

История новой физики началась с открытия в 1895 году рентгеновских лучей, которое привело к необычайно важным последствиям как в области науки, так и в области практических приложений – в медицине и промышленности.

Исследованием прохождения электричества через разреженные газы занимались многие ученые во второй половине XIX века. Непосредственным предшественником новой физики считается Уильям Крукс, который повторил опыт Иоганна Гитторфа (1824–1914), открывшего в 1869 году невидимые катодные лучи, распространяющиеся от катода к аноду и вызывающие флуоресценцию



***Уильям Крукс (1832–1919)** – английский химик и физик, член (с 1863) и президент (1913–1915) Лондонского королевского общества, от которого он в 1875 году получил королевскую золотую медаль. В числе других его наград – медали от Французской академии наук (1880), Дэви (1888) и медаль Копли (1904). В 1897 году королева Виктория пожаловала ему рыцарское звание. В 1910 году он получил Орден заслуг. Крукс вошел в историю как человек, открывший таллий и впервые получивший гелий в лабораторных условиях. Одним из первых предсказал существование стабильных изотопов.*

*(Рисунок Лесли Уорда, 1902 год)*

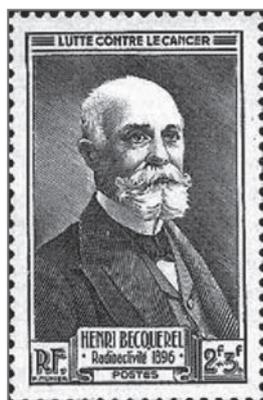
стекла трубки с разреженным газом. Крукс поместил в трубку металлический мальтийский крест и увидел его тень на флуоресцирующем экране. Затем он обнаружил, что катодные лучи, прямолинейно распространяющиеся внутри трубки, искривляются при приближении магнита. В 1895 году французский физик Жан Батист Перрен (1870–1942) обнаружил отклонение катодных лучей электрическим полем, доказав тем самым, что они представляют собой поток отрицательно заряженных частиц. Эти явления, по сути, открыли принцип работы кинескопов, широко применявшихся в моделях телевизоров вплоть до недавнего времени.

В 1895 году Вильгельм Рентген, экспериментируя с трубкой Крукса, обнаружил, что в месте столкновения катодных лучей с преградой внутри катодной трубки возникает неизвестное излучение, названное им икс-лучами. Теперь эти лучи известны нам как рентгеновское излучение, способное проникать сквозь многие непрозрачные материалы и засвечивать фотопластины. Рентгеном были сделаны первые снимки с помощью X-лучей. Самым первым опубликованным рентгеновским снимком считают фотографию кисти руки супруги Рентгена с обручальным кольцом на пальце.

**Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923)** – выдающийся немецкий физик, первый в истории физики лауреат Нобелевской премии (1901) за открытие проникающих лучей, названных его именем.



Пытаясь выяснить связь между X-лучами и катодными лучами, Антуан Беккерель изучал флуоресценцию солей урана. Вначале Беккерель опубликовал сообщение о том, что сульфат уранила после облучения солнечным светом дает излучение, засвечивающее завернутую в черную бумагу фотопластинку. Однако уже через несколько дней Беккерель обнаружил, что соли урана вызывают почернение фотопластинок, даже не будучи облученными солнечным светом: они постоянно испускают проникающее излучение. Следует отметить, что способность нитрата уранила разлагать соли серебра в темноте обнаружил еще в 1857 году французский фотограф Ньепс де Сен-Виктор, однако в то время его сообщение не вызвало интереса.



*Антуан Анри Беккерель (1852–1908) – французский физик, член Парижский АН (1889), президент АН (1908). В 1896 году открыл явление естественной радиоактивности урана. Первый измерил отношение заряда к массе бета-частиц (1900), независимо с Пьером Кюри обнаружил физиологическое действие радиоактивного излучения и его способность ионизировать газ. Нобелевская премия (1903).*

Открытие Рентгена «подогрело» интерес к изучению катодных лучей. С 1895 года Джозеф Джон Томсон, директор Кавендишской лаборатории в Кембридже, начинает методическое исследование поведения катодных лучей в электрических и магнитных полях. В результате его экспериментов было определено отношение заряда электрона к его массе, т. е. доказано его существование. К такому же выводу, независимо от Томсона, пришел немецкий физик Эмиль

Вихерт (1861–1928). Термин «электрон» был предложен ранее – в 1891 году – ирландским физиком Джорджем Стоуни (1826–1911), который впервые рассчитал заряд одновалентного иона при электролизе.



*Джозеф Джон Томсон (1856–1940) – английский физик, основатель научной школы, член (1884) и президент (1915–1920) Лондонского королевского общества, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1913) и иностранный почетный член (1925) АН СССР. Директор Кавендишской лаборатории (1884–1919). Исследовал прохождения электрического тока через разреженные газы. Открыл электрон (1897) и определил его заряд (1898). Предложил одну из первых моделей атома. Получил первые экспериментальные данные, указывающие на существование стабильных изотопов легких химических элементов (1912). Один из создателей электронной теории металлов. Нобелевская премия (1906).*

Суть своих опытов и гипотезу о существовании материи в состоянии еще более тонкого дробления, чем атомы, Томсон изложил на вечернем заседании Королевского общества 29 апреля 1897 года. Извлечение из этого сообщения было опубликовано в журнале «Electrician» 21 мая 1897 года. За это открытие Томсон в 1906 году получил Нобелевскую премию по физике.

В 1897–1898 гг. французские ученые Пьер Кюри и Мария Склодовская-Кюри установили, что испускание уранового излучения является свойством атома урана; это свойство не зависит от того, в каком соединении находится уран.



**Мария Склодовская-Кюри (1867–1934)** – польский ученый-экспериментатор (физик, химик), педагог, общественный деятель. Дважды лауреат Нобелевской премии: по физике (1903) и по химии (1911), первый дважды нобелевский лауреат в истории. Вместе с мужем занималась исследованием радиоактивности, совместно с ним открыла элементы радий и полоний (от латинского названия Польши – дань уважения родине Марии Склодовской).

В 1898 году супруги Кюри обнаружили, что таким же свойством обладает и другой элемент – торий. В том же году они начали исследования божемской смоляной обманки – одного из природных минералов урана, испускающего более сильное излучение (супруги Кюри предложили термин радиоактивность), чем чистые соли урана. Результатом их работы стало открытие двух новых радиоактивных элементов – полония и радия.



**Пьер Кюри (1859–1906)** – французский ученый-физик, один из первых исследователей радиоактивности, член Французской академии наук, лауреат Нобелевской премии по физике за 1903 год.

В 1899 году английский физик Эрнест Резерфорд обнаружил неоднородность уранового излучения: в магнитном поле лучи раз-

деляются таким образом, что можно выделить две составляющих, соответствующих потокам частиц с положительными и отрицательными зарядами. Поль Виллар (1860–1934) в 1900 году выделил еще третий тип лучей, не отклоняющихся магнитным полем.

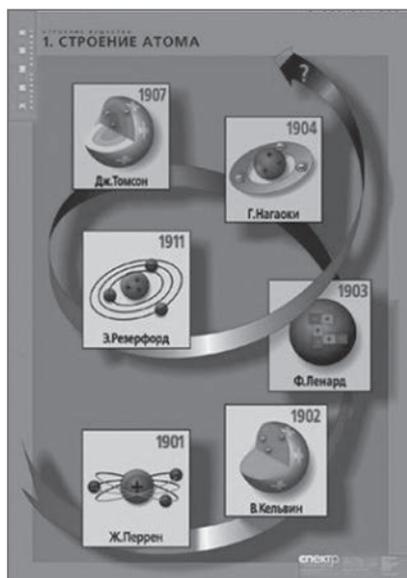


*Эрнест Резерфорд (1871–1937) – британский физик новозеландского происхождения, один из создателей ядерной физики, лауреат Нобелевской премии по химии (1908).*

Резерфорд предложил обозначать эти излучения первыми буквами греческого алфавита: альфа-лучи, бета-лучи и гамма-лучи. Альфа-лучи оказались ядрами изотопа гелия. Беккерель показал, что бета-лучи отклоняются магнитным полем в том же направлении и на ту же величину, что и катодные лучи, и, следовательно, представляют собой поток электронов. Гамма-лучи представляют собой высокоэнергетичное электромагнитное излучение с огромной проникающей способностью.

## МОДЕЛИ АТОМА ПЕРЕД АТОМОМ БОРА

Открытия рентгеновского излучения, радиоактивности и электрона послужили толчком к новым попыткам построения моделей атома.



*Почти полный набор ранних атомных моделей, предложенных в начале XX века, представлен в наглядном пособии по химии, рекомендованном Министерством образования России для использования в учебном процессе в средних школах*

Продолжая коллекцию моделей XIX века, рассмотренную в предыдущих частях нашего рассказа, воспользуемся наглядным пособием по химии, рекомендованным Министерством образования для использования в учебном процессе в средней школе современной России. На иллюстрации показаны почти все модели, предшествующие атому Нильса Бора, который предложил модель на принципах квантовой физики. Однако представленная на картинке «спираль развития» требует пояснений и некоторой корректировки.

Главное замечание касается модели Дж. Дж. Томсона, кото-



рая на рисунке датирована 1907 годом. У Томсона было несколько версий строения атомов. В первой версии, опубликованной уже в 1897 году, Томсон предполагал, что атом представляет собой положительно заряженный шар, в котором «плавают» множество электронов (порядка тысячи), нейтрализующих положительный заряд. Природа положительного электричества тогда еще не была известна: протон был открыт Резерфордом только в 1913 году.

В построении первой модели, названной «сливовым пудингом», поучаствовал однофамилец Уильям Томсон, получивший к тому времени титул лорда Кельвина. Для Кельвина это была вторая модель атома. Вместо «атома-вихря» образца 1867 года Кельвин, вспомнив труды петербургского академика Франца Эпинуса, в ноябре 1901 года опубликовал описание своего «пудинга» в томе, посвященном юбилею профессора Боша, в статье «Атомизированный Эпинус» /5/. Модель Кельвина имела много общего с «пудингом» Томсона, но тем не менее были отличия. В частности, так называемые «электроны» Кельвина объединялись в квартеты, образуя устойчивые сочетания, и взаимодействовали по более сложному закону, чем силы Кулона.

В 1902–1907 годах Кельвин пытался применить свою модель для объяснения загадочной радиоактивности, которая, по его мнению, вероятно, была вызвана волнами эфира или влиянием других внешних факторов. Несмотря на то, что это было самой сложной попыткой объяснить радиоактивность во внутриатомных терминах, идеи Кельвина не имели почти никакого воздействия на дальнейшее развитие атомистической теории.

Дж. Дж. Томсон продолжал совершенствовать свою сырую модель. К 1904 году он создал развитую математическую теорию для объяснения устойчивости атома-пудинга, разработал графический метод приближения, посредством которого он мог найти устойчивые конфигурации множества электронов. Хотя Томсон создавал, что для реалистических моделей нужно рассматривать трехмерные

структуры, для простоты расчеты им были выполнены только для плоского случая. Возможно, по этой причине в модели 1904 года электроны внутри положительного шара расположены в одной плоскости и образуют концентрические кольца.

Модель Томсона была самая важная из электронных атомных моделей начала двадцатого столетия, но не была единственной. Жан Перрен в 1901 году высказал предположение о ядерно-планетарном устройстве атома. Подобную же модель предложил в 1904 году японский физик Хантаро Нагаока (1865–1950). В модели Нагаоки атом уподоблялся планете Сатурн; роль планеты выполнял положительно заряженный шар, представляющий собой основную часть объема атома, а электроны располагались подобно спутникам Сатурна, образуя его кольца. Немецкий физик Филипп фон Ленард (1862–1947) попытался создать модель, не предполагающую раздельного существования в атоме противоположных зарядов. Атом, согласно модели Ленарда, состоит из нейтральных частиц, каждая из которых является электрическим дуплетом. Однако все эти модели, в отличие от планетарной модели Резерфорда, были основаны на интуиции, а не на опытных данных или расчетах.

Приблизительно с 1904 до 1910 года атом Томсона был общепринятым как наилучшее предложение атомистической теории, особенно в Англии. Модель Томсона считали привлекательной многие физики, включая Резерфорда, потому что она была в состоянии дать качественное объяснение ряда физических и химических явлений, таких как радиоактивность, фотоэлектричество, эмиссия и дисперсия света, эффект Зеемана и периодический закон Менделеева.

Однако были и трудности в применении этой модели для объяснения некоторых эффектов, например, частот спектральных линий от колебаний атомных электронов. Неудачной оказалась попытка Томсона в 1909 году предложить другую модель атома, содержащего как отрицательные электроны, так и положительные элементарные заряды в виде ионов водорода и альфа-частиц, уже открытых



к тому времени. Окончательную «гибель сливового пудинга» вызвала бомбардировка альфа-частицами тонкой золотой пластинки, которую провели в лаборатории Резерфорда его помощники Ханс Гейгер (1882–1945) и Эрнест Марсден (1889–1970).

В проведенном ими эксперименте большинство альфа-частиц пересекало тонкую золотую фольгу насквозь, но небольшое их число (примерно одна из нескольких тысяч) испытывало рассеяние на большие углы, а некоторые даже отбрасывались назад. Этот результат полностью противоречил существовавшей в то время модели атома Томсона. Пришлось для объяснения прибегнуть к гипотезе о наличии в атоме ядра очень малых размеров, в котором сосредоточена основная масса атома и его положительный заряд.

Когда Резерфорд узнал о результатах эксперимента, то заметил, что это было самое невероятное событие в его жизни. Позже он вспоминал: «Это было почти так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в папиросную бумагу и он, от ricochetив от нее, попал бы в вас. При анализе этого я понял, что такое рассеяние назад должно быть результатом однократного столкновения, и, произведя расчеты, увидел, что это никоим образом невозможно, если не предположить, что подавляющая часть массы атома сконцентрирована в крошечном ядре». Так в 1911 году родилась планетарная модель атома как тяжелого и крошечного положительного ядра, окруженного отрицательными электронами равного заряда. В эти годы еще не были известны ни протоны, ни нейтроны, и Резерфорд полагал, что электроны входят и в состав ядра вместе с гипотетическими «положительными электронами», которые он позже назвал протонами.

Модель Резерфорда господствовала всего два года. Главным ее недостатком, как и модели Томсона, было то, что, с точки зрения классической электродинамики Максвелла, электрон, двигаясь вокруг ядра, должен был бы излучать непрерывно и очень быстро, потеряв энергию, упасть на ядро. Однако опыт свидетельствует, что практически все атомы в природе устойчивы.

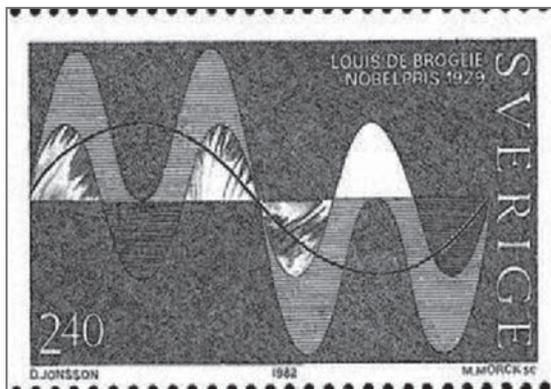
Чтобы преодолеть эту проблему, Бор в 1913 году ввел допущение, что электроны в атоме могут двигаться только по определенным (стационарным) орбитам, находясь на которых они не излучают, а излучение или поглощение энергии происходит только при переходе с одной орбиты на другую. Причем порции передаваемой энергии дискретны по аналогии с квантами Макса Планка, которые он ввел в 1900 году при излучении тепла черными телами. Это были три знаменитых постулата Бора, т. е. исходные положения теории, принимаемые без доказательств. Доказательств Бор сделать не мог. Он просто встал на сторону фактов: раз электроны не излучают, значит, так и должно быть. Модель Резерфорда – Бора правильно объяснила характеристики атома водорода. Однако при попытке объяснить строение атома гелия теория Бора потерпела неудачу.



*Нильс Хенрик Давид Бор (1885–1962) – датский физик-теоретик и общественный деятель, один из создателей современной физики. Лауреат Нобелевской премии по физике (1922). Член Датского королевского общества (1917) и его президент с 1939 года. Был членом более чем 20 академий наук мира, в том числе иностранным почетным членом АН СССР (1929), членом-корреспондентом (с 1924). Бор известен*

как создатель первой квантовой теории атома и активный участник разработки основ квантовой механики. Он также внес значительный вклад в развитие теории атомного ядра и ядерных реакций, процессов взаимодействия элементарных частиц со средой. В 1939 году Бор первым теоретически доказал, что ядерная реакция деления происходит с изотопом уран-235.

В дальнейшем Арнольд Зоммерфельд (1868–1951) расширил теорию Бора на случай эллиптических орбит. В 1926 году на смену модели Бора – Зоммерфельда пришла волновая модель электронной оболочки атома, которую предложил австрийский физик Эрвин Шредингер (1887–1961), следуя гипотезе Луи де Бройля (1892–1987) о том, что электрон обладает свойствами не только частицы, но и волны. Гипотеза де Бройля позволила изящно объяснить, почему электрон в атоме может существовать только на стационар-



*Луи де Бройль (1892–1987) – французский физик-теоретик, один из основоположников квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике (1929), член Французской академии наук (с 1933) и ее непременный секретарь (с 1942), член Французской академии (с 1944).*

ных орбитах. Стационарными орбитами в атоме могут быть только такие орбиты, в которые укладывается целое число длин волн электрона. Такие волны называются «стоячими».

Абстрактная квантово-волновая модель электронной оболочки атома основана на сложных математических уравнениях, однако она оказалась жизнеспособной, так как правильно описывала многие характеристики атомов, наблюдаемые экспериментально. Дальнейшее развитие представлений о строении атомов происходило в отношении структуры атомного ядра. В последующие годы был предложен ряд сложных моделей ядра, описание которых остается за рамками нашего рассказа.



*Эрвин Шредингер (1887–1961) – австрийский физик-теоретик, который добился всемирной известности благодаря своему вкладу в квантовую механику, особенно уравнению Шредингера, за которое он получил в 1933 году Нобелевскую премию.*

## ПРИРОДНЫЕ РАДИОАКТИВНЫЕ СЕМЕЙСТВА И ИЗОТОПЫ

После открытия естественной радиоактивности в конце XIX века в десятках лабораторий началось изучение этого загадочного физического явления. Среди многих ученых, занимавшихся исследованиями в этой области, пожалуй, наиболее значимые результаты были получены Эрнестом Резерфордом и Фредериком Содди.



**Эрнест Резерфорд (1871–1937)** – английский физик, один из создателей учения о радиоактивности и строении атома, основатель научной школы, иностранный член-корреспондент РАН (1922) и почетный член АН СССР (1925). Директор Кавендишской лаборатории (с 1919). Открыл альфа- и бета-лучи и установил их природу (1899). Создал теорию радиоактивного распада (1903, совместно с Ф. Содди). Предложил планетарную модель атома (1911). Осуществил первую искусственную ядерную реакцию (1919). Предсказал существование нейтрона (1921). Нобелевский лауреат (1908).



**Фредерик Содди (1877–1956)** – английский радиохимик, иностранный член-корреспондент РАН (1924), иностранный член-корреспондент АН СССР (1925). Разработал основы теории радиоактивного распада (1903, совместно с Э. Резерфордом). Ввел понятие изотопов (1913). Сформулировал правило радиоактивного смещения (1913, одновременно с К. Фаянсом). Экспериментально доказал образование радия из урана (1915). Нобелевская премия (1921).

Резерфорд после защиты степени магистра искусств в Новозеландском университете в 1895 году приезжает в Англию и становится первым иностранным докторантом Дж. Дж. Томсона в Кавендишской лаборатории – так называют физический факультет Кембриджского университета. Здесь он изучает процесс ионизации газов под действием рентгеновских лучей, ставит первые опыты по исследованию радиоактивности, открывает существование альфа- и бета-лучей. Осенью 1898 года Резерфорда приглашают в Канаду, и он становится профессором Макгилльского университета в Монреале.

Двадцатидвухлетний Содди после окончания с отличием университета в Оксфорде на свой страх и риск поплыл через океан, чтобы занять освобождающееся место профессора университета в Торонто. Вакансия оказалась занятой, и волею случая Содди стал ассистентом Резерфорда. В 1901–1902 гг. их совместные исследования привели к открытию естественного превращения элементов и созданию теории радиоактивного распада атомов. За 18 месяцев сотрудничества в Монреале ими опубликовано девять важных статей, оказавших значительное влияние на развитие науки. В 1903 году Содди вернулся в Англию, где продолжил изучение радиоактивности в лаборатории Уильяма Рамзая (1852–1916) при университетском колледже в Лондоне, а с 1904 года читал лекции по радиоактивности и физической химии в университете Глазго. Резерфорд переехал в Англию летом 1907 года и стал профессором в университете Виктории в Манчестере.

Ученые пришли к поразительному заключению: радиоактивность есть не что иное, как распад атома на заряженную частицу (именно ее мы воспринимаем как радиоактивное излучение) и атом другого элемента, по своим химическим свойствам отличный от исходного. Образовавшийся при распаде атом также может оказаться радиоактивным и испытать дальнейший распад. Это очень смахивало на утверждение алхимиков о возможности превращения элементов, поэтому в Монреале у некоторых коллег физиков были



опасения, надо ли публиковать новые идеи, которые могут подорвать научный престиж недавно образованного университета.

Опытную проверку гипотезы радиоактивного распада осуществили Содди и Рамзай в 1903 году. Они собирали в стеклянную трубку газообразное выделение (эманацию) радия (Ra) и, пропуская через нее электрический разряд, наблюдали характерный спектр нового элемента, который позднее Резерфорд назвал радоном (Rn). Постепенно этот спектр слабел, а вместо него все более отчетливо проступал спектр гелия (He). Т. е. эманация радия, к изумлению ученых, распалась на гелий и радий D. Много лет спустя очевидцы эксперимента с волнением вспоминали, что для физика и химика видеть воочию, как один элемент превращается в другой, равносильно тому, как если бы зоолог наяву увидел превращение кошки в собаку.

Для проведения опыта у ученых было всего 50 мг бромида радия, полученного от Марии Кюри. Рамзай выступил виртуозным экспериментатором: располагая всего лишь 0,1 мм<sup>3</sup> радона, сумел определить его атомную массу, равную 222. Атомная масса радия (226) была измерена Марией Кюри в 1902 году, а атомная масса гелия (4) была определена в работах Рамзая за три года до этого. Теперь гипотеза радиоактивного распада радия по схеме



подтвердилась не только качественно, по наблюдению спектров, но и количественно:  $226 = 222 + 4!$

Вскоре было установлено, что все радиоактивные элементы распадаются с определенной скоростью, которая является такой же неотъемлемой характеристикой радиоэлемента, как и его атомная масса. По предложению Резерфорда время, за которое распадается половина атомов исходного радиоактивного элемента, стали называть периодом полураспада. Например, для радона период полураспада – 3,82 дня, для радия – 1 600 лет, для урана – 4,5 млрд лет.

Наконец, с точки зрения гипотезы радиоактивного распада стало понятным, почему радий всегда встречается вместе с ураном:

по-видимому, он является продуктом его распада. Далее, если радий получается как продукт распада урана, радий порождает радон, последний распадается еще дальше, то должны существовать целые радиоактивные семейства, у которых есть первый элемент (радиоактивный) и последний (стабильный).

Все последующее десятилетие было посвящено поискам этих радиоактивных семейств, распутыванию последовательности распадов в них, измерению скоростей распада и т. д. К 1913 году в природе было обнаружено около 40 радиоактивных веществ, образующих три радиоактивных семейства, начинающихся соответственно с урана-238, урана-235 и тория-232. Природные радиоэлементы, образующие радиоактивные семейства, первоначально рассматривались при их изучении как самостоятельные элементы. Исторически названия найденных объектов образовывались добавлением цифры или буквы к названию родоначальника ряда, например: уран I, уран II, уран X1, уран X2, уран Z, актиноуран, уран Y, радий A, радий B, радий C. Некоторым веществам давались совсем уж «мезозойские» имена: мезоторий 1, мезоторий 2, радиоторий.

Новых природных радиоактивных элементов среди них оказалось немного: полоний, радон, радий, актиний, торий, протактиний. Незаполненных клеток в Периодической таблице оставалось всего 11 – их явно не хватало для размещения поодиночке всех обнаруженных радиоэлементов. Вместе с тем оказалось, что большинство новых членов рядов были не новыми элементами, подобно полонию, радю и актинию, а были химически не различимы с ранее известными элементами. Например, все попытки отделить мезоторий от радия химическими методами кончались неудачно. Так, радий D оказался химически подобным свинцу, ионий – непосредственный предшественник радия – подобен торию и т. д. Сначала казалось, что сложившаяся ситуация полностью нарушает Периодический закон Менделеева. К 1910 году Содди понял, что радиоактивный распад порождает не просто аналогичные элементы, а полностью эквивалентные, так как явление, названное позже «изотопией», ка-

сается ядер элемента, а не его электронных оболочек, определяющих химические свойства.



*Антониус Ван ден Брук (1870–1926) – нидерландский юрист и физик, член Нидерландской АН (1923). В 1895 году получил диплом доктора права Лейденского университета. Занимаясь юридической практикой, в 1903 году заинтересовался физикой. В 1913 году выдвинул гипотезу, согласно которой заряд ядра атома равен порядковому номеру элемента, и гипотезу о строении атомных ядер из протонов и электронов.*

Для объяснения изотопии Содди использовал модель атома Резерфорда и гипотезу Антониуса Ван ден Брука о том, что порядковый номер элемента в Периодической таблице совпадает с положительным зарядом ядра его атома. Юрист Ван ден Брук, занимаясь «по совместительству» физикой, высказал теоретическое предположение, что располагать химические элементы в Периодической таблице следует не по возрастанию атомного веса, а по заряду их ядра, совпадающего с зарядом электронной оболочки. Эта гениальная до простоты догадка подтвердилась результатами трудоемких опытов Мозли, который в рентгеновской трубке изучал спектры, испускаемые химическими элементами, и обнаружил регулярность изменения спектров при переходе от одного элемента к следующему. Мозли не только установил порядковые номера для всех элементов между алюминием (атомный номер 13) и золотом (атомный номер 79), но точно указал все пробелы, существовавшие в то время в Периодической таблице.

По результатам опытов Мозли предсказал существование неизвестных при его жизни элементов под номерами 43, 61, 72 и 75. Позже оказалось, что эти пробелы в таблице должны занимать искусственно синтезированные радиоэлементы технеций и прометий,

а также довольно редко встречающиеся в природе гафний (обнаружен в 1923 году) и рений (1925). Первую часть работы «Высоко-частотные спектры элементов» Мозли опубликовал в 1913 году, а заключительную – годом позже. Статья Ван ден Брука «Intra-atomic charge» была опубликована 27 ноября 1913 года в еженедельнике «Природа» за неделю до появления с точно таким же названием статьи Содди, где и был предложен термин «изотоп». Впоследствии Содди признался, что начиная с 1910 года, когда он пришел к пониманию концепции изотопов, его утомляло каждый раз писать длинную фразу «элементы, химически идентичные и неотделимые химическими методами», и он придумал слово «изотоп», чтобы выражать их природу в свете новой интерпретации Периодического закона.



***Генри Мозли (1887–1915)** – британский химик, ученик Резерфорда. Провел серию блестящих экспериментов и открыл закон, названный его именем, который устанавливает зависимость частот рентгеновского спектра излучения атома от его порядкового номера в Периодической таблице химических элементов. Трагически погиб в возрасте 27 лет во время военной операции, проводимой британскими войсками в Турции. Резерфорд и другие ученые считали Мозли вероятным претендентом на получение премии Нобеля в 1916 году.*

Многие историки полагают, что слово «изотоп» подсказала Содди его дальняя родственница Маргарет Тодд. Она была одной из первых женщин, которые поступили в военно-медицинскую школу в Эдинбурге после экзаменов, введенных Королевским обществом врачей и открывших для женщин Шотландии профессию хирурга. У Маргарет был веселый нрав, она написала популярный роман под мужским псевдонимом, но ее наиболее значимое авторское

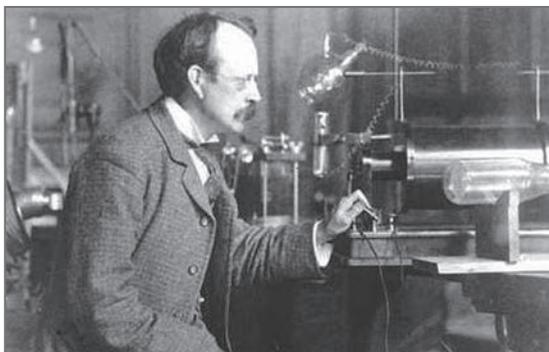


## ОТКРЫТИЕ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ

Революционные теории радиоактивности, структуры атомного ядра и концепция изотопов не сразу получили признание в научном мире. Далеко не все ученые приняли новые идеи «на ура», были и несогласные. Например, известный химик Генри Армстронг (1848–1937), выступая в 1914 году на сессии Британской ассоциации содействия наукам, заявил, что вывод о существовании химически неразличимых элементов с различными атомными весами является опасным и недопустимым, так как непривычные и дерзкие аргументы «модернистов» основаны на слишком маленьком количестве анализируемого материала.

Огромную поддержку концепции изотопов, выдвинутой Содди для тяжелых радиоэлементов, оказали Томсон и Астон, которые обнаружили существование разновидностей атомов с различным весом для легких элементов в начале Периодической таблицы.

В 1906 году Томсон вернулся к изучению электрических явлений в газоразрядной трубке, чтобы понять природу положительного электричества. Теперь объектом его исследований стали так называемые «каналовые» лучи, открытые немецким физиком Эугеном Гольдштейном (1850–1930) еще в 1885 году. В отличие от катодных лучей, представляющих поток отрицательно заряженных



*Дж. Дж. Томсон изучает каналовые лучи в Кавендишской лаборатории*

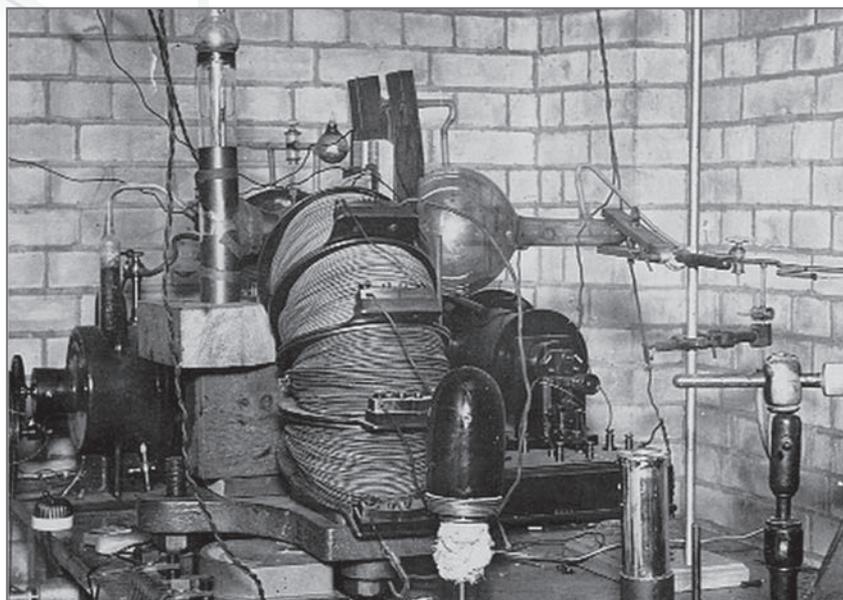


электронов, каналовые лучи представляют поток положительно заряженных ионов, которые через просверленные в катоде отверстия («каналы») устремляются в противоположном от анода направлении. Томсону не нравился термин Гольдштейна, и он называл их лучами положительного электричества.

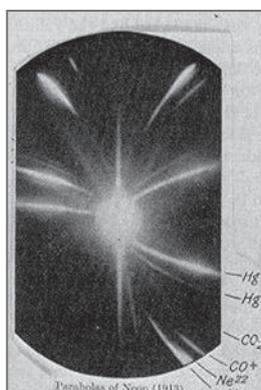
Положительные лучи так же, как и катодные, распространялись прямолинейно и вызывали фосфоресценцию стекла газоразрядной трубки. По отклонению этих лучей в электрическом и магнитном полях немецкий физик Вильгельм Вин (1864–1928) в 1898 году определил их удельный заряд. Вин показал, что масса частиц, составляющих положительные лучи, была намного больше, чем масса отрицательных катодных частиц, и была близка к массе ионов водорода при электролизе.

В январе 1910 года помощником Томсона становится опытный экспериментатор Фрэнсис Астон (1877–1945), владевший навыками работы с высоковакуумными приборами. Результаты экспериментов Томсона были очень чувствительны к изменениям давления, и для достижения низких давлений Астон усовершенствовал аппарат, измеряющий отношение между зарядом и массой для пучка положительно заряженных частиц. При глубоком вакууме установка позволяла сортировать частицы, различающиеся по массам: на экране прибора они располагались по параболам. Затем для проведения более точных измерений стали использовать фотопластинки, на которых можно увидеть параболы, соответствующие различным газам (углекислому газу, кислороду, неону, парам ртути и т. д.).

В 1912 году Томсон, изучая фотографии положительных лучей некоторых газов, среди других парабол увидел яркую параболу неона с атомной массой 20. Рядом с этой параболой всегда обнаруживалась парабола с атомной массой 22. Тогда Томсон еще не знал, что химический элемент может иметь изотопы, и сделал вывод, что имеет дело с новым элементом, который они назвали метанеон, или примесью какого-то экзотического соединения типа гидрида неона ( $\text{NeH}_2$ ) или дважды ионизированного углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ).



*Установка, в шутку называемая «сферической сливной трубой», на которой Томсон и Астон измеряли соотношение между зарядом и массой для пучка положительно заряженных частиц*



*Фотография, на которой видны параболы неона с атомными массами 20 и 22*

Чтобы понять природу обнаруженной добавки, Астон разработал несколько методик, пытаясь выделить новый элемент. Вначале Астон безрезультативно пытался отделить неон от его «тяжелого родственника» путем многократной фракционной дистилляции, осуществляемой на угле из кокосового ореха, охлаждаемом жидким

воздухом. Более успешным оказался диффузионный метод, в котором смесь газов диффундировала через пористое вещество, подобное мундштуку глиняной трубки для табака. Кстати, в 1940-е годы метод газовой диффузии, основанный на различии в скорости диффузии для легких и тяжелых частиц, был применен для разделения изотопов урана в атомных проектах США и СССР.

Для измерения плотности продуктов диффузии Астон сконструировал кварцевые микровесы, которые позволили определить атомный вес неона с точностью 0,1 %. После нескольких месяцев изнурительной работы путем многократного повторения процесса атмоллиза Астону, наконец, удалось получить две фракции неона, удельные веса которых отличались на 0,7 %. Этого оказалось достаточно, чтобы заметить изменение в яркости обеих линий на фотографии.



***Фрэнсис Астон пытается выделить «метанеон» из неона методом фракционирования (1913 год)***

В сентябре 1913 года на съезде Британской ассоциации содействия наукам Астон сделал доклад «Новая элементарная составляющая атмосферы». Он пошел дальше осторожного Томсона и достаточно уверенно рассуждал о двух разновидностях атомов неона, одинаковых «во всех своих свойствах, исключая атомный вес». По предвари-

тельной оценке Астона, содержание тяжелого компонента в атмосферном неоне лежит между 10 и 15 %. Астона поддержал Содди, заметив что «каждый известный элемент может быть совокупностью неразделимых элементов, занимающих одно и то же место в периодической системе». Это было обобщением уже известного факта, что три семейства радиоактивных элементов заканчиваются стабильными разновидностями атомов свинца. Содди внес существенный вклад в то, чтобы доказать, что эти «свинцы» имеют разный атомный вес. Вскоре открытие изотопии одобрили Эрнест Резерфорд и Нильс Бор, отметив, что теория радиоактивности, строения атома и явление изотопии взаимно дополняют друг друга и дают единую систему представлений о структуре материи.

В отношении открытия стабильных изотопов часто называют две даты: 1912 и 1919 год. В 1912 году Дж. Дж. Томсон и Астон впервые получили указания на существование стабильных изотопов у неона, а в 1919 году, сконструировав точный масс-спектрометр, Астон окончательно доказал существование двух изотопов неона – Ne-20 и Ne-22.

Нобелевские премии по химии Фредерик Содди и Фрэнсис Астон получали одновременно, в декабре 1922 года. Содди премия была присуждена в 1921 году «за вклад в химию радиоактивных веществ и за проведенное им исследование природы и происхождения изотопов», а Астону – «за сделанное им с помощью им же изобретенного масс-спектрографа открытие изотопов большого числа нерадиоактивных элементов и за формулирование правила целых чисел». В этом же году лауреатами Нобелевской премии по физике стали Нильс Бор – «за работы по исследованию структуры атомов и их излучения» и Альберт Эйнштейн – «за вклад в теоретическую физику и в особенности за открытие закона фотоэлектрического эффекта».

## АТОМЫ, ИЗОТОПЫ И МИСТИКА

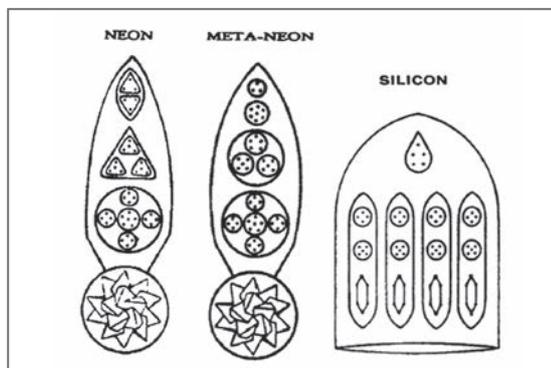
Многие научные открытия предвосхищаются «пророками», которые предсказывают события задолго до их появления. Среди предсказателей явления изотопии историки науки называют имена русского химика-органика Александра Михайловича Бутлерова (1828–1886), французского химика Поля Шутценбергера (1829–1897), немецкого ученого Эдварда Фогеля и уже знакомого нам английского ученого Уильяма Крукса. За 30 лет до открытия изотопии Шутценбергер и Бутлеров дискутировали о том, что атомные веса химических элементов могут быть переменными в узком интервале /6/. Фогель в 1884 году опубликовал в еженедельнике «Природа» статью «Вариация атомных весов», а в 1893 году в Калифорнии вышла его брошюра под названием «Атомные веса при атмосферном давлении не идентичны по удельной плотности». Наиболее ярко гипотезу о существовании изотопов высказал в 1886 году Крукс, выступая перед химической секцией Британской ассоциации: «Я предполагаю, что наши атомные веса представляют только среднюю величину, около которой действительный вес атома колеблется внутри известных тесных пределов... Когда мы говорим, например: атомный вес кальция есть 40, мы, в сущности, выражаем этим, что большинство его атомов действительно имеют атомный вес 40, но немалое их число имеют вес 39 или 41, или даже 38 и 42 и т. д.».

Научные гипотезы, предворяемые авторами словами «вероятно» или «предположительно», впоследствии могут быть подтверждены или опровергнуты. Во всяком случае, они являются неотъемлемой частью научного познания, стимулируя его развитие. К сожалению, на всем протяжении истории (от алхимии до наших дней) науке приходится бороться с собственной тенью – псевдонаукой, или лженаукой. В отличие от научных гипотез авторы псевдонаучных произведений, имитируя научные методы, дают простую расшифровку «непрозрачных» явлений природы и куль-

туры, которые не требуют специальных профессиональных знаний и доступны для восприятия широкими массами общества. В России 1990-х годов после снятия жесткой цензуры СМИ на россиян стал обрушиваться шквал псевдонаучной чепухи. По инициативе академика Виталия Гинзбурга в 1998 году при Президиуме РАН создана комиссия по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований, которую до конца жизни возглавлял академик Э.П. Кругляков (1934–2012). Члены комиссии и ее теперешний председатель академик Е.Б. Александров приложили много сил и энергии, чтобы противодействовать создателям торсионных полей, холодного ядерного синтеза, вывести на чистую воду Петрика и других изобретателей, разоблачить целителей Григория Грабового и Николая Левашова и других шарлатанов. Кстати, оба целителя пытались выставить свои кандидатуры на выборах Президента России (один – в 2005 году, другой – в 2012-м).

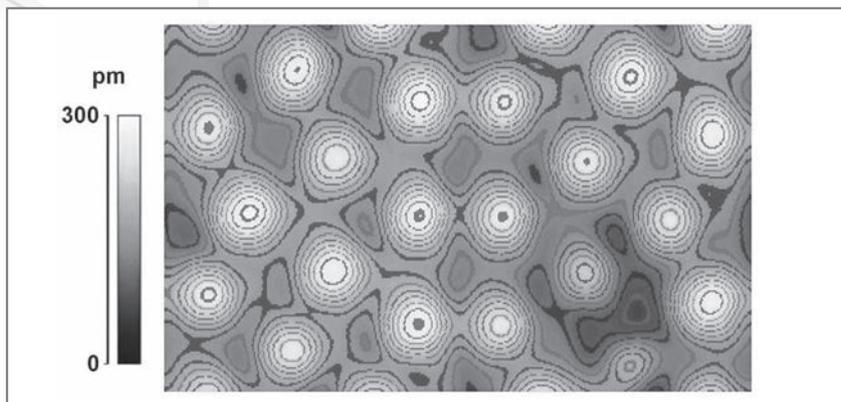
Однако вернемся в начало XX века, когда происходил переворот в представлениях о материи. В то время весьма популярными в Европе были «ясновидцы» Анни Безант (1847–1933) и Чарльз Ледбитер (1847–1934). Свои «изыскания» структуры материи они начали в 1895 году и продолжали до конца своей жизни. Мобилизовав всю силу воли и «ресурсы внутреннего зрения», вводя себя в состояние глубокого транса, к 1907 году они наблюдали атомы почти всех известных в то время химических элементов и определили «фундаментальные стандартные блоки», из которых состояются атомные структуры. В изданной в 1908 году книге «Окултная химия: наблюдение химических элементов при помощи ясновидения» Безант и Ледбитер на 106 страницах текста привели описания и рисунки увиденных атомов. Самый легкий атом водорода с их точки зрения был составлен из 18 мелких единиц, которые они назвали словом «Ану», означающим «крошечный» в переводе с санскрита. Заметим, что авторы избегали множественной формы

этого слова, образуемой в английском языке добавлением буквы s. В оккультных сеансах «ясновидящие» насчитали в атоме неона 360 Ану нескольких разновидностей, у атома кремния – 520 Ану. Кроме открытых к тому времени химических элементов, в книге описано несколько неизвестных атомов, которые авторы назвали оккультум, калон, мета-калон, мета-аргон и т. д. Среди атомов-незнакомцев ими обнаружен также мета-неон, состоящий из 402 Ану. Рисунки с изображением некоторых атомов мы взяли из второго издания книги, выпущенной в 1919 году на 148 страницах /7/. Ничтоже сумняшеся, «ясновидцы» настаивают на абсолютной правильности своих видений, критикуя атом-монстр своего американского друга Эдвина Бэббита за то, что в нем вихревой поток в центре атома напоминает печную трубу и поэтому может ввести читателей в заблуждение.



*Образы атомов  
неона, мета-неона  
и кремния  
из книги Анни  
Безант и Чарльза  
Ледбитера  
«Оккультная  
химия» издания  
1919 года*

Экспериментальная база в начале XIX века, конечно, не позволяла вывести на чистую воду «ясновидцев». Современные туннельные микроскопы позволяют сканировать и получать изображения объектов на субатомном уровне. На приведенных рисунках видно, что между реальными атомами кремния и кремниевой болванкой «ясновидцев» есть «две большие разницы». Вспоминается персо-



*Экспериментальное изображение атомов на поверхности кремния, полученное в 2001 году с помощью сканирующего туннельного микроскопа (STM) с кобальтовым наконечником (фото с сайта Института физики в университете Аугсбурга (<http://www.physik.uni-augsburg.de/exp6/imagegallery/afmimages/-10062003053859.jpg>))*

наж Аркадия Райкина, который, увидев свой рентгеновский снимок, с удивлением воскликнул: «Нет, не такой я представлял свою внутреннюю сущность!»

Безант и Ледбитер состояли в Теософском обществе, основанном в Нью-Йорке в 1875 году русской дворянкой Еленой Блаватской (1831–1891), ставшей впоследствии гражданкой США. Теософы пытались изучать все без исключения философские и религиозные учения с целью выявить истину, которая поможет раскрыть сверхчувственные силы человека, постичь таинственные явления в природе.

Филиалы Теософского общества существовали в ряде стран (США, Англии, Франции и Индии), пользовались популярностью и привлекали десятки тысяч последователей. В России первый кружок теософов возник в Смоленске в 1907 году. Теософское общество в России существует до настоящего времени, оправившись



после сталинских репрессий в 1930-е годы. Девиз теософов «Нет религии выше истины» привлекал многих известных людей. Так, членами Теософского общества были отец премьер-министра Индии Мотилал Неру, американский изобретатель Томас Эдисон и ученый Уильям Крукс, который пытался дать научные объяснения паранормальным явлениям. Чуть было «теософский бес» не попутал и Фрэнсиса Астона.

Профессор Университета в Манчестере Джефф Хьюз в публикации «Мистика и атом: любопытная история изотопов» /8/ сообщает, что недавно в архивах Кембриджа обнаружил неопубликованную статью Астона на 15 пожелтевших страницах под названием «О неоднородности атмосферного неона». Хьюз предполагает, что Астон готовил эту статью перед выступлением на съезде Британской ассоциации в сентябре 1913 года. Пытаясь найти разгадку этой «чертовой» параболы для атомной массы 22, Астон обратился к книге теософов «Оккультная химия» и даже заимствовал из нее название для нового элемента – «метанеон». После того как Содди, Резерфорд и Бор «наставили его на путь истинный», Астон пришел к правильным представлениям о двух разновидностях атомов неона, одинаковых «во всех своих свойствах, исключая атомный вес». Нигде в последующих работах Астона упоминания теософов Безант и Ледбитера не встречаются. В отношении термина «метанеон» Астон всегда утверждал, что заимствовал его у Крукса.

В свою очередь Безант и Ледбитер для поддержания «научного уровня» своего труда заимствовали у Астона атомный вес метанеона. Среди дополнений во втором издании книги «Оккультная химия» 1919 года уже появился атомный вес метанеона, равный 22,33. Видимо, круглых цифр теософы старались избегать, ибо они могут вызвать сомнение. По мере накопления научных данных авторы до конца своих дней вносили дополнения и изменения в свой опус. Третье издание «Оккультной химии», вышедшее уже после смерти авторов в 1951 году, «распухло» аж до 396 страниц. Непонятно, по какой причине перевод книги на русский язык в 2008 году был выполнен не с последнего издания, а со второго – 1919 года.

## О ЗАБЫТЫХ АТОМИСТАХ

Представления о строении атомов на пороге XX века будоражили умы многих ученых. Имена всех, по-видимому, невозможно перечислить. Историк Хельге Крэг /3/, кроме уже упомянутых нами, называет еще англичанина Джона Николсона (1881–1955), который в 1911 году предложил модель атома, представляющую некий симбиоз планетарного атома Нагаоки – Резерфорда со «сливовым пудингом» Томсона, уменьшенным до размеров ядра атома. При этом Николсон предполагал применение квантового принципа к атому Резерфорда и использовал термин «ядро», впервые примененный в 1908 году датским химиком Софусом Йоргенсенем (1837–1914). Нильс Бор, когда он натолкнулся на атомистическую теорию Николсона, признал, что она была подобна его собственным идеям. Сегодня редко вспоминают, что в период 1913–1915 гг. атом Николсона был конкурентом атому Бора. Квантовые идеи в отношении строения атома высказывали в 1910–1912 годы австрийские физики Пауль Эренфест (1880–1933) и Артур Гааз (1884–1941), а также голландский химик Нильс Беррум (1879–1958). В их теоретических выкладках при описании атомов появилась константа Планка  $h$ , которая в то время многими не воспринималась. Ценность их частных результатов была не столь высока, т. к. правильные послышки у них смешивались с совершенно ошибочными рассуждениями. Бор же построил свою модель, стараясь дать объяснение многим существующим и последующим изысканиям, даже если он и не мог обосновать свои гипотезы. Г.И. Фан-Левен в статье «Гипотезы о строении атомов» /9/, опубликованной в 1914 году, среди «строителей атомов» называет еще имена Августа Феппля (1854–1924), Вальтера Ритца (1878–1909), Артура Конвея (1875–1950) и некоего Быка, про которого (впрочем, как и про самого Фан-Левена) дополнительной информации пока найти не удалось.

В отношении роли отечественных ученых процитируем физика с мировым именем Дмитрия Дмитриевича Иваненко, который в



статье «О развитии физики в России» /10/ в 1994 году писал, что «открытие элементарных частиц, радиоактивности, установление кинематики Лоренца – Пуанкаре, первые квантовые концепции (Планк, 1900 год), построение планетарной модели атома Резерфордом (1911 год) и ее квантование Нильсом Бором (1913 год) прошли мимо физики России». Тем не менее в послевоенные годы, когда в СССР началась масштабная кампания по борьбе с «безродными космополитами», в ряде научно-популярных журналов в 1948–1950 годы появились статьи, направленные на патриотическое воспитание молодежи. Наряду с именами М.В. Ломоносова, Д.И. Менделеева, Н.И. Лобачевского (1792–1856), А.Г. Столетова (1839–1896), И.М. Сеченова (1829–1905) и других великих русских ученых, в публикациях всплыли менее известные фамилии русских атомистов: М.Г. Павлова, Б.Н. Чичерина и Н.А. Морозова.

В июльском номере журнала «Техника – молодежи» за 1948 год некто В. Болховитинов в статье «Творцы точных наук» описывает историю профессора Московского университета Михаила Григорьевича Павлова (1792–1840), лекции которого в свое время слушали Огарев и Герцен. Автор утверждает, что «в 1934 году один советский исследователь, разбирая архивы, натолкнулся на тоненькую тетрадку с надписью «Записки профессора М.Г. Павлова», в которой описана теория планетарного строения атомов. Похожая статья под названием «Творцы химической науки» появилась в № 4 журнала «Техника – молодежи» за 1949 год за подписью инженера А. Буянова. В этой статье уточняется, что найдена тетрадь из 86 листов, озаглавленная «Курс минералогии и сельского хозяйства. Сочинение профессора Московского университета Павлова». Буянов пишет: «Весь курс написан от руки в 1819 году и читался московским студентам в начале прошлого столетия. Много замечательных мыслей содержится в этом сочинении. В этом курсе имеется глава, в которой Павлов построил теорию планетарного строения атомов: в ней впервые говорится об атоме не как о неделимой частице, а как о сложной системе, состоящей из центрального ядра, вокруг кото-

рого, как планеты вокруг Солнца, движутся притягиваемые электрическими силами к ядру частички вещества». В 1950 году Болховитинов и Буянов в составе группы соавторов написали книгу «Рассказы о русском первенстве», выпущенную издательством ЦК ВЛКСМ «Молодая Гвардия». В книге, конечно же, осталась история про выдающийся вклад М.Г. Павлова, сделавшего первые шаги к познанию строения атома и сущности химического сродства атомов. Авторы книги полагают, что «имя М.Г. Павлова, предвосхитившего (почти за 100 лет!) идеи и Бора, и Резерфорда, и Томсона, достойно быть вписанным самыми крупными буквами в летопись физики».

Однако разночтения в названии тетрадки, дата ее написания (М.Г. Павлов стал профессором только в 1821 году, а в 1819 стажировался в Германии и не мог читать какие-либо курсы в Московском университете) ставят под сомнение и существование тетрадки, и вклад профессора Павлова. Ситуацию разъяснил доктор философских наук Захар Абрамович Каменский (1915–1999), изучивший в подробностях жизнь и творчество профессора Павлова /11/. По мнению Каменского, преувеличение заслуг Павлова лежит на совести профессора И.И. Искольдского, который в своей статье «Забытая теория строения вещества (теория М.Г. Павлова)» /12/ писал, что «курс читался московским студентам в 30-х годах прошлого столетия». Каменский обратил внимание на ряд несоответствий и несуразностей в изложении Искольдского. А про интересные постулаты Павлова: «движение доминирует в природе», «природа света электрическая», «все вещества построены из кислорода и азота», «элементы имеют планетарное строение», которые Искольдский извлек из «Курса...», Каменский пишет: «К сожалению, публикатор не комментирует эти постулаты, не поясняет их другими извлечениями из рукописей Павлова и даже не говорит, кому принадлежит их формулировка – ему или самому Павлову».

Казалось бы, понятно, что из Павлова вырастили очередного «российского слона». Однако информационный посев эпохи культа



личности продолжает приносить плоды, кочуя из одного источника в другой. Так, в сентябре 2012 года на 25-й Московской международной книжной выставке-ярмарке в ВВЦ проходила презентация книги академика РАЕН А.А. Пецко «Великие русские достижения» /13/. В книге на стр. 245 к мировым приоритетам русского народа отнесено учение «О планетарном строении атомов» в следующей редакции:

«Русский ученый в области натурфилософии, минералогии и сельского хозяйства Михаил Григорьевич ПАВЛОВ (01.11.1792, Воронеж – 03.04.1840), доктор медицины; сконструировал особый плуг (т. н. «плужок Павлова»), организовал сельскохозяйственную школу для крестьянских детей. Издатель журналов «Атеней» и «Русский земледелец». В работе «О полярно-атомистической теории химии» 1819 г. разработал и обосновал за 100 лет до Бора – Резерфорда учение о планетарном строении атомов» (по материалам <http://www.hrono.ru/biograf/poyarkov.html>).

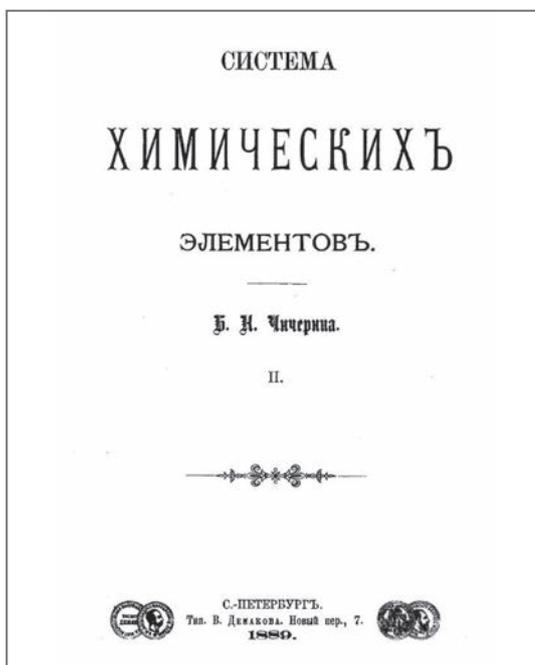
В отличие от Болховитинова и Буянова автор книги не ссылается на тетрадку с сомнительным названием, а в качестве источника сенсационной информации приводит опубликованную в 1821 году статью М.Г. Павлова «О полярно-атомической теории химии», зачем-то добавив при этом три буквы к ее названию и отняв два года от даты публикации. Действительно, такая статья у Павлова была, но ни о каком «планетарном строении атомов» в ней речи не идет, как и на странице сайта ([www.hrono.ru/biograf/](http://www.hrono.ru/biograf/)), куда академик для «убедительности доводов» отсылает читателя. Слова «полярный» и «планетарный», конечно, созвучны, но означают совершенно разные понятия, хотя у планет и могут быть полюса. В этой статье профессор Павлов, объявивший себя сторонником атомизма Дальтона и Берцелиуса, рассматривал общие закономерности соединения атомов разных веществ в определенной и постоянной пропорции. На основании опытов Вольта и Дэви он пришел к выводу, что «электрическая полярность атомов должна быть рассматриваема как начало всех химических явлений»; «такой образ объяснить

химические явления или представлять внутренний оных ход можно, по крайней мере на русском языке, назвать полярно-атомической теорией химии». Споры нет – идеи весьма прогрессивные для начала XIX века, но далеко не о планетарной модели атома!

Что касается Б.Н. Чичерина и Н.А. Морозова, то действительно они выступили провидцами будущей планетарной модели атома. Документальными свидетельствами этого факта являются их печатные труды.



**Борис Николаевич Чичерин (1828–1904)** – философ, теоретик государства и права, российский политолог, почетный член Петербургской академии наук (с 1893). (Портрет Б.Н. Чичерина, художник В.О. Шервуд)



**Титульный лист 2-й части работы Б.Н. Чичерина «Система химических элементов», опубликованной в 1888–1889 гг. в «Журнале Русского физико-химического общества»**



Дядя будущего наркома иностранных дел СССР Г.В. Чичерина Борис Николаевич Чичерин родился в селе Караул Тамбовской губернии в семье потомственного дворянина. В 1849 году окончил юридический факультет Московского университета. С 1861 года начал преподавать в альма-матер на кафедре государственного права в качестве экстраординарного профессора. Курс государственного права он в 1863 году начал читать также наследнику престола Николаю Александровичу. В 1866 году Чичерин защитил докторскую диссертацию на тему «О народном представительстве». В начале 1882 года был избран московским городским головой, добился некоторых улучшений в городском хозяйстве Москвы, в частности, при нем в московский водопровод стала поступать мытищинская вода. В 1883 году ушел в отставку после того, как одна из его публичных речей была истолкована в окружении императора как требование конституции.

Вернувшись в Караул, Чичерин вновь занялся научной деятельностью, написал ряд работ по философии, а также по химии и биологии. Две статьи, опубликованные в 1888–1889 гг. в «Журнале Русского физико-химического общества», были изданы в виде брошюры под названием «Система химических элементов». Изучение таблицы Д.И. Менделеева и анализ изменения плотности химических элементов в ней привели Б.Н. Чичерина к заключению, что «все различие атомов зависит от количества и распределения содержания в них материи», в атоме «центральные элементы электроположительны, а периферические – электроотрицательны», т. е. «атом, со своим центральным ядром и вращающимися около него телами, представляет аналогию с солнечною системою». Об этом периоде творчества Чичерина публицист Верещагин писал /14/:

«Неожиданными выглядят углубленные занятия Чичерина естествознанием, к которым, однако, его вполне логично привела разработка философских вопросов. В 60-летнем возрасте он нашел силы, чтобы начать изучение физики, химии и высшей математики. Результат его занятий теоретической химией – создание собствен-

ной системы химических элементов. Этими исследованиями заинтересовался Д.И. Менделеев, просивший Чичерина лично разъяснить ему все подробности. По предложению Менделеева он был избран членом Русского физико-химического общества. Однако Чичерин так и не дождался исчерпывающей компетентной оценки своей работы ни со стороны Менделеева, ни от остальных специалистов, и ее значение осталось не вполне ясным ему самому (Воспоминания Б.Н. Чичерина. Земство и Московская дума. М: Изд-во Сабашниковых, 1934, с. 311–314)».

Еще более удивительна судьба Н.А. Морозова, занимавшегося научным творчеством в суровых условиях камеры одиночки Шлиссельбургской крепости. Для характеристики этого уникального человека процитируем слова президента Международной академии фундаментального образования, профессора С.Б. Супранюка /15/:

«Николай Александрович Морозов – революционер-народник, участник покушения на Александра Второго. В 1882 году был приговорен к вечной каторге. В заключении провел 23 года, до 1905 г. находился в Петропавловской и Шлиссельбургской крепостях, в одиночных камерах. Но не только не сломался, не пал духом, а наоборот, потратил эти годы на энциклопедическое самообразование, на научные размышления и написание множества работ, и даже на поэзию!

Тюрьму покинул в возрасте 51-го года, казалось бы, немолодым по тем временам человеком, да и не совсем здоровым, ибо тюрьма здоровья не прибавляет. Однако прожил еще 41 год, и как прожил! С 1918 до 1946 года служил на посту директора Естественнонаучного института им. П.Ф. Лесгафта. С 1910 г. был бессменным председателем Совета Русского общества любителей мироведения. Он был избран Почетным членом Академии наук СССР. По политическим взглядам был ближе к большевикам, но в вопросе о социалистической революции выступил оппонентом Ленину. Несмотря на свою проплетановскую позицию, на формальную связь с партией кадетов, так как от этой партии избирался в Учредительное собра-



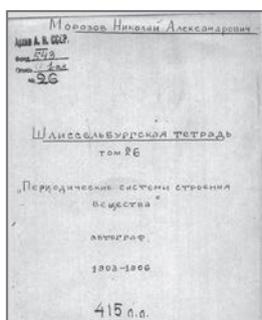
ние, он пользовался огромным уважением у всех революционеров как один из немногих оставшихся в живых народовольцев и как не сломленный за десятилетия узник царских застенков.

Несмотря на то, что Морозов имел университетское образование, он им не ограничился и был, можно сказать, гениальным самоучкой с системным мышлением. Кое в чем даже опередил великого Менделеева. Именно Морозов обоснованно предсказал существование конечных элементов периодов в Периодической системе – инертных газов, что Менделеев не сразу признал. Академик Курчатов писал, что «современная физика полностью подтвердила утверждение о сложном строении атомов и взаимном превращении химических элементов, разработанное в свое время Н.А. Морозовым в монографии «Периодические системы строения вещества»». <...> Николай Морозов написал множество статей и книг по химии, физике, математике, астрономии, космогонии, биологии, геофизике, метеорологии, авиации, истории, философии, политической экономии, истории науки, языкознанию. Безусловно, его труды нельзя в полной мере отнести к строго научным работам, они скорее научно-популярные и просветительские. Но в них и по сей день чрезвычайно много побуждающих к размышлению, интригующих моментов и мыслей – не только современных, но, на мой взгляд, «мыслей из будущего»».

К этим словам Супранюка можно добавить, что для приоритета планетарной модели атома и других теоретических идей, рожденных в условиях Шлиссельбургской крепости, Морозову не хватило экспериментального оборудования, которое было в распоряжении Томсона и Резерфорда в Кавендишской лаборатории.

В 1906 году, после освобождения из 25-летнего непрерывного заключения, по представлению Д.И. Менделеева за монографию «Периодические системы строения вещества» Морозову присуждена ученая степень доктора химии без защиты диссертации (*honoris causa*). Он был избран членом Русского физико-химического общества, на заседаниях которого выступал с докладами, в т. ч. «Значение работ Д.И. Менделеева для теории растворов».

В честь Н.А. Морозова малая планета-астероид № 1210 в 1934 году названа «Морозовией». За выдающуюся многолетнюю научную деятельность в области естествознания Н.А. Морозов в 1944 году награжден орденом Ленина, его имя присвоено Биологическому стационару «Борок» Академии наук СССР. В имении Борок Ярославской области, в доме, где Морозов родился, жил и умер, в 1946 году открыт Музей Н.А. Морозова.



***Николай Александрович Морозов (1854–1946).** Вольнослушатель Московского университета (1871–1872). Член I Интернационала (1875). В 1875–1878 гг. находился в заключении по «Процессу 193-х».*

С 1878 г. – на нелегальном положении. Вступил в организацию «Земля и воля», редактор журнала «Земля и воля» и газеты «Народная воля». Член Исполнительного комитета организации «Народная воля». В 1880 г. эмигрировал в Швейцарию, в Лондоне встречался с Карлом Марксом.

По возвращении в Россию арестован и приговорен (1881) к пожизненному заключению по «Процессу 20-ти народовольцев». С 1882 по 1905 гг. – узник Петропавловской и Шлиссельбургской крепостей, где вел научную работу по различным темам, написал двадцать шесть томов рукописей. В 1905 г. освобожден после 25-летнего заключения. В 1906 г. избран членом Русского физико-химического общества, присуждена ученая степень доктора химии без защиты диссертации.

В 1907 г. избран действительным членом Русского астрономического общества, почетным членом Московского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии и химического кружка им. проф. Коновалова при Киевском политехническом институте.

В 1911 г. осужден на один год заключения за стихи, напечатанные в сборнике «Звездные песни».

В 1911–1915 гг. – редактор отдела «Мертвая природа» в издании «Итоги науки в теории и практике».

В 1912–1913 гг. был заключен в Двинской крепости, где написал ряд работ, в том числе исследование по чистой математике «Разносистемное исчисление».

В 1912–1914 гг. – редактор отдела астрономии в «Технической энциклопедии» и отдела «Стихийная природа» в «Детской энциклопедии».

В 1913–1916 гг. читает лекции о воздухоплавании. Находился на фронте в качестве делегата Всероссийского земского союза помощи больным и раненым.

Совершил лекционную поездку по Сибири и Дальнему Востоку.

В 1916–1917 гг. – профессор курса «Мировая химия» Психоневрологического института (Петроград).

В 1917 г. становится членом совета и заместителем председателя Всероссийского аэроклуба.

В 1918–1946 гг. – директор Ленинградского естественнонаучного института им. П. Ф. Лесгафта и заведующий астрономическим отделением института.

## ОХОТА ЗА ИЗОТОПАМИ

Во время Первой мировой войны Астон прервал научные исследования, работая консультантом по химии на авиационном заводе. В начале 1919 года он сконструировал масс-спектрограф, возможности которого на порядок превышали метод парабол Томсона и позволили окончательно решить вопрос о составе неона. В журнале «Nature» 27 ноября появилась его короткая заметка, озаглавленная столь же коротко: «Неон». В ней Астон заявил: «С использованием нового и более совершенного анализа положительных лучей мне удалось измерить массу и получить другие несомненные доказательства того, что атмосферный неон является смесью двух изотопов атомных весов 20,00 и 22,00 с точностью до 0,1 %». Вскоре на том же приборе Астон, развивая успех, разгадал загадку хлора, у которого атомный вес (35,5) сильно отличался от целого числа. Астон доказал существование его изотопов с атомными весами 35 и 37. В 1920 году он, проанализировав первый экспериментальный материал, формулирует эмпирическое правило целочисленности атомных весов изотопов и предлагает за единицу атомного веса принять 1/16 веса атома кислорода. (Кислородная шкала в 1961 году была заменена на углеродную, в которой атомные веса изотопов меньше отличаются от целых чисел.) Астон также предложил

*Фрэнсис Астон (1877–1945) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1921), член-корреспондент АН СССР (1924). В 1913 Дж. Дж. Томсон и Астон впервые получили указания на существование стабильных изотопов у неона. В 1919 году сконструировал первый масс-спектрометр и с его помощью открыл 207 стабильных изотопов, в том числе в 1931-м – изотоп уран-238. Лауреат Нобелевской премии 1922 года.*



используемую сейчас нотацию для обозначения изотопов: символ элемента с добавлением его массового числа.

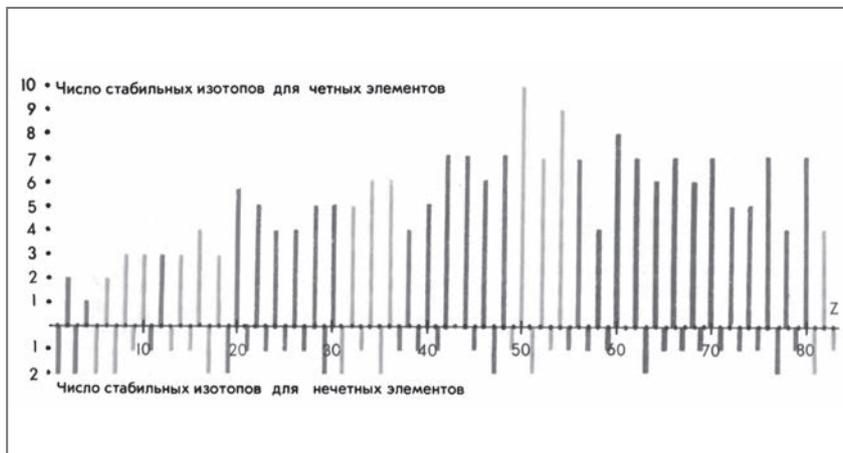
*Артур Демпстер (1886–1950) – канадский физик и химик. Окончил университет в Торонто (1909). В 1911–1914 гг. совершенствовал знания в Геттингене, Мюнхене, Вюрцбурге. С 1914 года жил в США. С 1919 года работал в Чикагском университете (с 1927-го – профессор). Независимо от Астона сконструировал первый масс-спектрометр (1918) и открыл около 40 изотопов ряда элементов, в том числе в 1935 году – изотоп уран-235.*



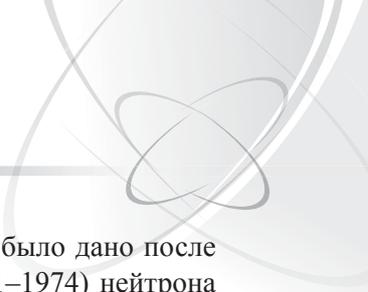
По мере того как идея изотопии находила все больше сторонников, в научном мире началась азартная охота за изотопами по всей Периодической таблице элементов. В отличие от химических элементов, которые открывались по одному на протяжении нескольких веков, основная масса известных сейчас изотопов была обнаружена за два десятка лет. Не удивительно, что наиболее удачливым «добытчиком» оказался Астон. К концу 1922 года, когда ему присудили Нобелевскую премию, он нашел наиболее распространенные изотопы почти у трех десятков элементов. В 1925 и 1936 годах Астон вносил улучшения в конструкцию масс-спектрометров, существенно повышая их разрешающие характеристики и точность, что позволило обнаружить не только главные, наиболее распространенные, но и редко встречающиеся изотопы.

Всего на счету Астона 207 изотопов из 287 разновидностей атомов, существующих в природе. 36 изотопов открыл Артур Демпстер из Чикагского университета, который сконструировал свой первый масс-спектрометр в 1918 году, на год раньше Астона.

В приборе Демпстера применялся оригинальный источник ионов и постоянные магниты, Астон же использовал комбинацию электрических и магнитных полей. На долю других исследователей выпали лишь единичные удачи, но были среди них и знаменательные, сыгравшие важную роль в изотопной истории. В 1929 году путем анализа оптических спектров американские физики Уильям Жиок (1895–1982) и Геррик Джонсон (1898–1965) открыли изотопы кислорода с атомными массами 17 и 18, а Артур Кинг (1876–1957) и Раймонд Бридж (1887–1980) обнаружили изотоп углерод-13. В 1932 году Гарольд Юри с сотрудниками путем многократного электролиза дистиллированной воды выделил тяжелый изотоп водорода – дейтерий. Изотоп уран-235, сыгравший впоследствии важнейшую роль в освоении атомной энергии, был открыт Демстером в 1935 году.



**Количество стабильных изотопов у элементов с четными и нечетными номерами (Z – порядковый номер элемента в Периодической таблице)**



Современное объяснение явлению изотопии было дано после открытия в 1932 году Джеймсом Чедвиком (1891–1974) нейтрона и протонно-нейтронной модели ядра, предложенной почти одновременно советским физиком Дмитрием Иваненко (1904–1994) и Вернером Гейзенбергом (1901–1976) в Германии. Ядра атомов изотопов любого элемента содержат одинаковое количество протонов, но разное – нейтронов. На рисунке из Энциклопедического словаря юного химика /16/ показано количество стабильных изотопов у элементов с порядковыми номерами  $Z$  от 1 до 83. Существующие в природе химические элементы от полония ( $Z = 84$ ) до урана ( $Z = 92$ ) стабильных изотопов не имеют. Их радиоактивные изотопы входят в состав радиоактивных семейств, о которых мы говорили раньше.

Из рисунка видно, что абсолютным рекордсменом, имеющим 10 стабильных изотопов, является олово ( $Z = 50$ ). Девять изотопов у ксенона ( $Z = 54$ ). Технеций ( $Z = 43$ ) и прометий ( $Z = 61$ ) стабильных изотопов не имеют, их радиоизотопы были синтезированы искусственно. Стабильные элементы представлены в природе примерно 280 изотопами. Однако некоторые из них оказались в слабой степени радиоактивными, с огромными периодами полураспада (например, калий-40, рубидий-87, лантан-138, самарий-147, лютеций-176, рений-187). Продолжительность жизни этих изотопов столь велика, что позволяет рассматривать их как стабильные.

В мире стабильных изотопов еще немало проблем. Так, неясно, почему их количество у разных элементов столь сильно различается. Около 25 % стабильных элементов представлены в природе лишь одним видом атомов. Это так называемые моноизотопные элементы. Интересно, что все они (кроме бериллия) имеют нечетные значения  $Z$ . И вообще, для нечетных элементов число стабильных изотопов не превышает двух. Напротив, большинство четных элементов отличается разнообразием представляемых ими изотопов.

Ученые уже давно пытаются разработать периодическую систему изотопов. Конечно, в ее основе лежат другие принципы, нежели в основе Периодической системы элементов. Но эти попытки пока не привели к удовлетворительным результатам. Правда, физики доказали, что последовательность заполнения протонных и нейтронных оболочек в атомных ядрах в принципе подобна построению электронных оболочек в атомах.

На планете Земля, да и во всей Солнечной системе, сохранились лишь стабильные и те радиоактивные изотопы, время жизни которых больше возраста Земли (4,5 миллиарда лет). Как в свое время люди от охоты и сбора растений перешли к животноводству и культурному земледелию, так и ученые в XX веке в дополнение к природным изотопам научились синтезировать искусственные радиоактивные изотопы. Искусственную радиоактивность открыли супруги Ирен (1897–1956) и Фредерик (1900–1958) Жолио-Кюри. В 1934 году они бомбардировали алюминий альфа-частицами и в результате получили несуществующие в природе радиоактивные изотопы алюминий-27 и фосфор-30. К настоящему времени с помощью различных ядерных реакций получено около трех тысяч искусственных радиоизотопов для различных элементов Периодической системы.

Развитие науки о строении атомов и ядер, разработка экспериментальных методов превращения элементов привели к расширению Периодической таблицы за счет искусственного синтеза элементов тяжелее урана. Первый трансурановый элемент нептуний ( $Z = 93$ ) был получен в 1940 году. В 1940–1953 годах профессор Глен Сиборг (1912–1999) и его коллеги в Радиационной национальной лаборатории (Беркли, США) синтезировали искусственные элементы с  $Z = 93–100$ . Они были получены в реакциях захвата нейтронов ядрами изотопа уран-235 при длительных облучениях в мощных ядерных реакторах.

В России в 1957 году для синтеза новых элементов была создана специальная лаборатория в Дубне, которую возглавил член-



корреспондент АН СССР Георгий Николаевич Флеров (1913–1990). С 1960-х годов началась эпоха ускорителей элементарных частиц – циклотронов, эпоха ускорения тяжелых ионов, когда синтез новых элементов стали производить только при взаимодействии двух тяжелых ядер. Этим методом в лабораториях США, Германии и СССР были получены искусственные радионуклиды с  $Z = 101–111$ .

В последние годы Россия фактически стала лидером в «трансурановой гонке» сверхтяжелых элементов. Искусственные элементы с  $Z = 112–117$  и самый тяжелый на данный момент 118-й элемент получены в 2000–2008 годах российскими учеными из Объединенного института ядерных исследований в Дубне под руководством академика РАН Юрия Цолаковича Оганесяна (род. 14 апреля 1933 г.). Новые элементы будут добавлены в Периодическую таблицу Менделеева, когда получат официальное признание и название.

Большинство из искусственно полученных изотопов характеризуется очень малыми периодами полураспада, измеряемыми секундами и долями секунды. Лишь немногие имеют сравнительно большую продолжительность жизни (например,  $2,7 \times 10^6$  лет – у бериллия-10 или  $8 \times 10^5$  лет – у алюминия-26).

Охота за изотопами продолжается до сих пор. Изотопную статистику о публикациях и вновь открытых изотопах можно найти на сайте профессора Мичиганского университета Майкла Тоенессена /17/. Именно оттуда нами заимствована уточненная информация о числе изотопов, открытых Астоном и Демпстером. На сайте сообщается, что за 2013 год было открыто 12 новых радионуклидов, а в 2014 году синтезирован новый изотоп – актиний-205. Таким образом, на сегодняшний момент общее количество обнаруженных и синтезированных за все время разновидностей атомов (стабильных и радиоактивных) составило 3 195 экземпляров. Об открытиях за все время опубликована 1 521 научная статья, подготовленная 3 461 соавтором.

## БУМ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

До конца 1930-х годов исследования изотопов практически не выходили из стен лабораторий. Ученые из «научного любопытства» по мере открытия изотопов изучали их свойства, обнаруживали изотопные эффекты, т. е. небольшие отличия, присущие изотопам того или иного химического элемента. Еще в 1915 году британский физик Фредерик Линдеман (1886–1957) предположил, что из-за различных конфигураций ядер некоторые из физических свойств изотопов должны отличаться. Он предсказал, что у изотопов должны быть небольшие, но измеримые различия в точках плавления, упругих константах и давлениях пара. Нильс Бор отмечал, что в зависимости от массы центрального ядра должно быть маленькое, но заметное различие между оптическими спектрами двух изотопов.

Линдеман и Астон познакомились во время войны на авиационном заводе. После работы велись научные споры, в т. ч. обсуждение темы изотопов и неона. Однажды, скептически настроенный Линдеман в качестве «веселого» аргумента отпустил в адрес Астона оскорбительный выпад, назвав его «посудомоечной машиной Дж. Дж. Томсона». Это, однако, не помешало им написать совместную теоретическую статью «Возможность разделения изотопов», которая появилась в «Философском журнале» в 1919 году. В этой часто цитируемой статье определены четыре физических принципа, которые возможно применить для разделения изотопов: дистилляция, диффузия, плотность (гравитация или центробежное поле) и электромагнитное поле.

В течение двух десятилетий в лабораториях проводились эксперименты для проверки способов осуществления предложенных методов. В 1932 году Густав Герц в Германии, развивая опыт Астона по диффузии, построил каскад из 24 ступеней и получил на нем неон, обогащенный тяжелым изотопом до 75 %. Вскоре методом газовой диффузии ему удалось выделить изотопы водорода, азота и углерода. В 1938 году Клаус Клаузиус (1903–1963) и Герхард Дик-

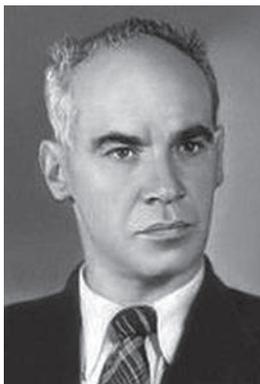


кель (род. 28 октября 1913 г.) в Германии исследовали разделение газов термодиффузией в длинной вертикальной трубе, по оси которой расположена раскаленная нить. Джесси Бимс (1898–1977) в США в 1934 году начал работы над центрифугой, и в 1937 году ему впервые удалось изменить изотопный состав хлора. Самым универсальным оказался электромагнитный метод разделения, использующий принцип работы масс-спектрометра. Разработкой «калютрона» – ускорительного масс-спектрометра для разделения изотопов урана – в США занимался Эрнест Лоуренс (1901–1958), получивший в 1939 году Нобелевскую премию за создание первого циклотрона.

Кроме четырех указанных методов предлагались и опробовались и несколько других: химический и ионный обмен, электролиз и т. д. К концу 1930-х было известно более десятка методов разделения изотопов, основанных на различных изотопных эффектах. Однако объемы получаемых в лабораторных условиях изотопов не превышали граммовых количеств. Ситуация в корне изменилась после того, как Отто Хан (1879–1968) и Фриц Штрассман (1902–1980) в декабре 1938 года обнаружили способность ядер урана делиться под действием нейтронов, а Лиза Майтнер (1878–1968) и Отто Фриш (1904–1979) в 1939 году объяснили механизм выделения огромного количества энергии при расщеплении ядер урана. Вскоре выяснилось, что под действием тепловых нейтронов реакция деления ядер происходит у изотопа уран-235. После дискуссии на эту тему группы физиков, проходившей в Принстонском университете, 7 февраля 1939 года появилось краткое сообщение Нильса Бора /18, с. 291–294/, а летом – подробная статья Н. Бора и Джона Уилера (1911–2008) /18, с. 299–349/. В последней статье авторы отметили вклад профессора Я.И. Френкеля (1894–1952) из Ленинграда, который любезно прислал им рукописный экземпляр своей подробной статьи о различных аспектах проблемы деления. Статья Френкеля была опубликована в «Журнале эксперименталь-

ной и теоретической физики» (ЖЭТФ, 1939, 9, 641), а краткое резюме этой статьи появилось в американском «Physical Review» в мае 1939 года /19/.

В 1940 году в Германии, Англии и США начались интенсивные поиски способов концентрирования делящегося изотопа U-235 – материала для создания ядерной взрывчатки. В Манхэттенском проекте, объединившем усилия ученых Англии и США, для получения изотопа уран-235 в первую очередь рассматривались четыре метода, названные Линдеманом и Астоном в 1919 году. Разработкой технологий разделения изотопов урана руководил нобелевский лауреат Гарольд Юри. Несмотря на успешные испытания одиночной газовой центрифуги, в начале 1944 года проект был прекращен из-за технических сложностей. Высокообогащенный уран для первых бомб, взорванных в августе 1945 года, был получен в Ок-Ридже последовательной переработкой на термодиффузионном заводе S-50, газодиффузионном заводе K-25 и десяти каллотронах завода Y-12.



**Исаак Константинович Кикоин (1908–1984)** – советский физик-экспериментатор. С 1943 года – член-корреспондент Академии наук СССР, с 1953 года – академик. Ближайший соратник И.В. Курчатова в Атомном проекте СССР, научный руководитель направления по разделению изотопов урана, инициатор применения газовых центрифуг для получения стабильных изотопов. Дважды Герой Социалистического Труда. Лауреат Ленинской, Сталинских и Государственных премий СССР. Награжден шестью орденами Ленина и другими орденами и медалями.

Атомный проект СССР начал интенсивно реализовываться после окончания Великой Отечественной войны с отставанием от США на 4–5 лет. Научным направлением по созданию промышленной газодиффузионной технологии обогащения урана изотопом уран-235 руководил Исаак Константинович Кикоин, ближайший соратник И.В. Курчатова (1903–1960). Делящимся материалом в первой советской атомной бомбе, испытанной в 1949 году, был искусственный радионуклид плутоний-239, наработанный в промышленном ядерном реакторе на Урале. Как и в США, первый высокообогащенный уран в СССР получили двухэтапной переработкой природного урана: сначала на газодиффузионном заводе, затем в электромагнитных сепараторах. От использования неэффективной для разделения изотопов урана термодиффузионной технологии в нашей стране отказались, хотя ее исследования велись в лабораторных условиях. Разработка центрифужной технологии началась в 1940 году под руководством Фрица Ланге (1899–1987),



*Гарольд Клейтон Юри (1893–1981) – американский физик и физикохимик. Пионер в области исследования изотопов, за открытие одного из которых – дейтерия – в 1934 году был награжден Нобелевской премией по химии. Руководил лабораторией заменителей сплавов (SAM-лаборатория) в Колумбийском университете, где велись разработки технологий разделения изотопов урана в рамках Манхэттенского проекта США. В 1956 году разработал теорию, объясняющую происхождение и относительную естественную распространенность изотопов во Вселенной, выпустил книгу «Планеты: их происхождение и развитие».*

эмигрировавшего из фашистской Германии в 1933 году. Следует заметить, что результаты этой НИОКР по разработке горизонтальной центрифуги оказались отрицательными, и в 1951 году разработка была прекращена. Независимо от Ланге в Сухуми разработку вертикальной центрифуги в 1946–1952 гг. вела группа «трофейных» немецких специалистов под руководством доктора Макса Штеенбека (1904–1981). В ходе выполнения НИОКР этой группой был найден ряд изящных технических решений, которые были переданы конструкторам Кировского завода в Ленинграде и позволили им в 1953 году создать работоспособный образец подкритической газовой центрифуги. В 1957 году на Урале начались опытно-промышленные испытания каскада из 2 432 газовых центрифуг. После успешных испытаний газоцентрифужная технология с 1962 года стала постепенно вытеснять энергоемкую газодиффузионную технологию. Благодаря центрифугам наша страна по технологии обогащения урана из отстающей вышла на передовые позиции в мире, которые сохраняет до настоящего времени. Промышленные центрифужные заводы в Западной Европе были пущены только через два десятилетия. В США до сих пор газовые центрифуги находятся в стадии разработки.



***Валентин Григорьевич Шаповалов (1928–1989)** – заместитель главного инженера, научный руководитель ЭХЗ с 1962 по 1989 гг. Доктор технических наук, лауреат Государственной премии и премии Совета Министров СССР. Награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Знак почета», несколькими медалями.*



*Анатолий Николаевич Шубин (1938–2008) – заместитель начальника, начальник ЦЗЛ (1970–1987), главный инженер (1988–1989), директор, генеральный директор ЭХЗ (1989–2008). Кандидат технических наук, лауреат Государственной премии, кавалер орденов Почета и Дружбы, награжден трудовыми медалями и отраслевыми знаками.*

Электрохимический завод родился в период гонки вооружений, когда США и СССР безудержно наращивали запасы ядерных материалов. В 1962 году ЭХЗ выпустил первую продукцию – обогащенный уран, а с 1964 года начал осваивать технологию газовых центрифуг. С выходом завода на проектную мощность в 1970 году завершилось формирование разделительного комплекса СССР из четырех предприятий по обогащению урана. Руководство и специалисты предприятия (В.Г. Шаповалов, А.Н. Шубин и др.) поддерживали инициативу академика И.К. Кикоина о создании на ЭХЗ опытно-промышленного производства стабильных изотопов по центрифужной технологии. На ЭХЗ стали осваиваться и внедряться результаты исследований и разработок по применению газовых центрифуг для разделения неурановых изотопов, начатые в 1960-е годы в ИАЭ им. Курчатова и на УЭХК. В ноябре 1971 года в каскаде газовых центрифуг был получен первый стабильный изотоп – железо-57.

В настоящее время производство изотопов на ЭХЗ выделено в специализированный цех, созданный по проекту «Светлана». Номенклатура изотопной продукции насчитывает 95 наименований изотопов для 19 химических элементов. Подробный перечень вы-

пускаемых изотопов можно найти на сайте Электрохимического завода /20/. Производство представляет полный технологический цикл: от получения рабочего вещества, проведения процессов разделения стабильных изотопов на газовых центрифугах до получения из газообразных полупродуктов товарных форм стабильных изотопов, необходимых потребителям. Сегодня ЭХЗ – крупнейший в мире производитель стабильных изотопов газоцентрифужным методом, входит в первую пятерку мировых производителей изотопов. Объемы выпускаемой за год изотопной продукции достигают сотен килограмм и поставляются в десятки стран.

Разнообразны области применения изотопной продукции в промышленности, медицине, науке. Стабильные изотопы для медицинской диагностики и терапии в основном применяются в качестве исходных материалов мишеней, предназначенных для получения медицинских радионуклидов в реакторах или ускорителях. Есть надежда, что Центр ядерной медицины, открытие которого ожидается в ближайшее время в Красноярске, не только обеспечит жителям края качественную диагностику и эффективное лечение современными методами, но и поспособствует повышению спроса на изотопную продукцию ЭХЗ.

В заключение несколько слов о современных научных исследованиях строения материи. В нашем рассказе мы ограничились упрощенным рассмотрением эволюции атомов, изотопов и трех элементарных частиц: электрона, протона и нейтрона. Во второй половине XX века найдено несколько десятков элементарных частиц, выдвинута гипотеза о существовании кварков, из которых могут состоять некоторые элементарные частицы. Ученые продолжают размышлять о свойствах и возможной структуре материи, включая тайны образования черных дыр, природе темной материи и прочих необъясненных загадках. До сих пор до конца непонятна природа гравитации, сильного и слабого взаимодействия и многие другие фундаментальные явления. Теоретики выдвигают множе-



ство фантастических идей относительно устройства мира, которые все вместе называют «экзотическими моделями». Чтобы ограничить фантазию теоретиков, закрыв некоторые из предложенных ими построений, необходимо получать экспериментальные данные, подтверждающие или опровергающие выдвинутые гипотезы.

Чем глубже проникают ученые в тайны материи, тем сложнее (и дороже) становится экспериментальная техника, необходимая для проверки гипотез. Например, Большой адронный коллайдер, недавно построенный в Церне на глубине 50–175 метров под территориями Франции и Швейцарии, является самой крупной экспериментальной установкой в мире. Ускорительное кольцо для разгона протонов и тяжелых ионов имеет длину более 25 км. В его строительстве и исследованиях участвовали более 10 тысяч ученых и инженеров из 100 стран. Официальной целью проекта, прежде всего, является поиск и оценка массы бозона Хиггса – элементарной частицы, предсказанной в 1964 году.

Не меньший интерес для Электрохимического завода представляет ряд международных проектов по изучению свойств нейтрино. Датчики для регистрации этой почти неуловимой частицы изготавливаются из нескольких десятков или сотен килограммов изотопов, выпускаемых на нашем предприятии. За последние годы ЭХЗ является надежным поставщиком изотопов германия, молибдена, селена и т. д. для реализуемых проектов GERDA, NEMO, SuperNEMO, SNO+ и других, внося таким образом свой вклад в развитие фундаментальной науки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Soddy, F., Intra-atomic Charge, *Nature* 92, 399–400, December 4, 1913.
2. Boyle, Robert. *The Sceptical Chymist*, London: Printed by F. Cadwell for F. Crooke, 1661.
3. Helge, Kragh (Oct. 2010). Before Bohr: Theories of atomic structure 1850–1913 // RePoSS: Research Publications on Science Studies 10. Aarhus: Centre for Science Studies, University of Aarhus. URL: <http://www.css.au.dk/reposs>.
4. Babbitt, Edwin D. *The Principles of Light and Color* / New York: Babbitt&Co, 1878.
5. Lord Kelvin, Aepinus Atomized, *Philosophical Magazine* Vol 3, No. 15 (Sixth Series) March 1902, p. 257.
6. Бутлеров, А. М., Заметка об атомных весах // *Журнал Рус. Физ.- хим. общества*, 1882, 14, 208–212.
7. Leadbeater, C. W. and Annie Besant. *Occult Chemistry: Clairvoyant Observations on the Chemical Elements*/ Edited by A. P.Sinnett// LONDON, DODO PRESS, 1919.
8. Hughes, Jeff. Occultism and the atom: the curious story of isotopes, *Physics World*, September 2003.
9. Фан-Левен, Г. И. Гипотезы о строении атомов // *Журнал Русского Физико-Химического Общества*. Т. 46, вып. 6, 1914.
10. Иваненко, Д. Д. О развитии физики в России // В сборнике «Проблемы современной физики», выпуск I, 1994.
11. Каменский, З. А. *Русская философия начала XIX века и Шеллинг* // Издательство «Наука», Москва, 1980.
12. Искольдский, И. И. Забытая теория строения вещества (теория М. Г. Павлова) // *Архив истории науки и техники*, 1936, вып. 7.

- 
13. Пецко, А. А. Великие русские достижения. Мировые приоритеты русского народа / Отв. ред. О. А. Платонов. // М.: Институт русской цивилизации, 2012. – 560 с.
  14. Верещагин, А. Н. Борис Чичерин – российский политолог // Вестник РАН, том 65, № 12, 1995. – С. 1085–1093.
  15. Супранюк, С. Б. Николай Морозов – виртуальный академик МАФО и АРСИИ // Сборник трудов Седьмой конференции АРСИИ им. Г.Р. Державина, Санкт-Петербург, 2011 // URL: [www.kirshin.ru/about/arsii/07\\_09.html](http://www.kirshin.ru/about/arsii/07_09.html)
  16. Крицман, В. А. Энциклопедический словарь юного химика // В.А. Крицман, В. В. Станцо, 1990.
  17. Сайт профессора Мичиганского университета Майкла Тоеннессена // URL: <http://www.nsl.msu.edu/~thoennes/isotopes/>.
  18. Бор, Нильс. Избранные научные труды, Том II, Статьи 1925–1961 // М.: Издательство «Наука», 1971.
  19. J. Frenkel, On the Splitting of Heavy Nuclei by Slow Neutrons // Phys. Rev. 55, 987 (Published 15 May 1939, Received 12 March 1939).
  20. Официальный сайт ОАО «ПО Электрохимический завод» // URL: <http://www.ecp.ru/>.

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
Стихии и атомы.....	5
Возрождение атомизма.....	9
Эволюция представлений о структуре материи.....	14
Революция в физике и «коллекционирование марок».....	23
Модели атома перед атомом бора.....	30
Природные радиоактивные семейства и изотопы.....	37
Открытие стабильных изотопов.....	44
Атомы, изотопы и мистика.....	49
О забытых атомистах.....	54
Охота за изотопами.....	64
Бум ядерных технологий.....	70
ЛИТЕРАТУРА.....	78



*Самое высокое здание на промышленной площадке ОАО «ПО ЭХЗ» –  
цех стабильных изотопов, построенный по проекту «Светлана»*



*Образцы изотопной  
продукции*



*В маизале цеха стабильных изотопов*

