

Мысовский Лев Владимирович

**Новые идеи в физике
атомного ядра**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
Л34

Л34 **Лев Владимирович М.**
Новые идеи в физике атомного ядра / Мысовский Лев Владимирович – М.:
Книга по Требованию, 2022. – 243 с.

ISBN 978-5-519-98311-2

ISBN 978-5-519-98311-2

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2022

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2022

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ПРЕДИСЛОВИЕ К ТРЕТЬЕМУ ИЗДАНИЮ

В третьем издании сохранен прежний план изложения. В первых шести главах сделаны некоторые необходимые изменения и сокращения устаревшего материала. Наибольшему изменению подверглась гл. VIII второго издания, посвященная обзору ядерных реакций, — вместо нее написано пять глав: VII, VIII, IX, X и XI. Это пришлось сделать по той причине, что в настоящее время, говоря о ядерных реакциях, уже нельзя весь материал (более 600 различных реакций) вместить в одну главу. В перечисленных новых главах реакции рассмотрены по отдельным типам. Почти для каждого типа даны численные примеры, которые позволят читателю не только понять, но, так сказать, и почувствовать особенности ядерных превращений. Общее представление о наших знаниях в области физики атомного ядра дают таблицы, взятые из последнего обзора Ливингстона и Бете, помещенного в „Reviews of Modern Physics“, July 1937. Вместо заключения, помещенного во втором издании, в настоящем издании дана новая глава (XII): „Строение атомного ядра и гипотеза Бора“. В этой главе в элементарной форме подводятся итог современных знаний и представлений об атомном ядре. Глава о космических лучах (гл. VII второго издания) поставлена последней, так как ее содержание еще мало связано с явлениями, наблюдаемыми при ядерных реакциях, протекающих в лабораторных условиях. В приложении, как и в предыдущем издании, даны основные понятия по квантовой механике.

Февраль 1939 г.

Л. Мысовский

ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ

Многие интересные научные положения в первое время после своего открытия кажутся настолько сложными и трудными для понимания, что ими занимаются только выдающиеся специалисты данной области. Но если эти положения выражают собой общие законы природы, то, по мере развития науки и техники, они становятся доступными все более и более широкому кругу лиц. За примерами ходить не далеко. Максвелловская теория предста-

вляла собой не так давно высшее достижение человеческого знания, с которым специалисты знакомились не раньше, чем на 4-м курсе университета. Теперь же приемники радиоволн строят даже дети школьного возраста. Большую роль в разъяснении трудных теоретических положений науки играет соответствующим образом поставленный эксперимент. Еще со времен Фарадея известно, что при помощи правильно подобранного эксперимента можно так иллюстрировать опытами какой-либо закон природы, что он будет доступен для любой аудитории. Но время блестящих лекционных экспериментов уже прошло. Многие установки, воспроизводящие тонкие явления природы, строятся годами и не могут быть вынесены из той лаборатории, где они собраны. Но это несколько не уменьшает доступности современных экспериментов. Фотографические снимки, автоматические записи и т. д. в одинаковой мере доступны как самому получившему их экспериментатору, так и тому, кто даст себе труд с ними ознакомиться. Все эти общие положения можно с полным правом применить к явлениям, связанным с превращением элементов, — явлениям радиоактивности. Прежде всего надо сказать, что благодаря открытию целого ряда новых экспериментальных фактов процесс радиоактивного распада уже не является для нас столь же недоступным, как несколько лет тому назад. Искусственное расщепление и искусственная радиоактивность делают этот процесс для нас более понятным. В значительной мере помогает этому и применение волновой механики к выяснению основных черт радиоактивных явлений. Богатый экспериментальный материал позволяет сделать основные выводы учения о превращении элементов доступными читателю со средним образованием. Попытка использовать этот материал для указанной цели сделана мною при изложении основных явлений радиоактивности. За исключением последней главы, предполагающей у читателя умение дифференцировать, все остальные главы требуют для своего понимания только элементарных сведений по математике и физике. Неподготовленный читатель мог бы эту последнюю главу и пропустить, не нарушив этим связности всего предыдущего изложения. Что же касается потребности в таком не слишком популярном описании основных данных радиоактивности, то мне кажется, что в ней не приходится сомневаться, если учесть тот огромный интерес, который проявляется в настоящее время ко всему, что связано с превращением элементов.

15/VIII 1934 г.

Л. Мысовский

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Несмотря на то, что после появления первого издания прошло лишь около года, во втором издании необходимо было сделать некоторые изменения и дополнения. Эти дополнения

касаются главным образом новых фактов, относящихся к изучению нейтронов и искусственной радиоактивности. § 4 гл. V первого издания выделен в самостоятельную главу: „Искусственные радиоэлементы, получаемые при помощи нейтронов“. В параграфе же 4-м гл. V во втором издании изложены некоторые соображения о том, что атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. Во втором издании добавлена гл. VIII: „Обзор ядерных реакций и возможность их практического применения“. Иллюстрацией к этой главе служит таблица ядерных реакций (табл. VIII), помещенная в конце книги. Гл. VII первого издания: „Применение квантовой механики к изучению атомного ядра“, дана во втором издании в виде приложения. В остальном текст первого издания оставлен почти без изменений.

17/VII 1936 г.

Л. Мысовский

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Глава I. Изучение ядра как центральная проблема современной физики

§ 1. Предположение об эволюции химических элементов	9
§ 2. Попытки алхимиков получить золото искусственным путем	10
§ 3. Основные законы химии	11
§ 4. Периодическая система элементов	12
§ 5. Законы сохранения вещества и энергии в применении к химическим реакциям	14
§ 6. Радиоактивные вещества и их излучения	15
§ 7. Закон сохранения материи и энергии	18
§ 8. Энергетический баланс ядерных реакций	21
§ 9. Изотопы	24
§ 10. Новые идеи в физике атомного ядра	25

Глава II. Установки для расщепления атомных ядер

§ 1. Работы с трансформатором Тесла	30
§ 2. Ударный генератор	33
§ 3. Трансформатор постоянного тока	35
§ 4. Ротационный повыситель напряжения	38
§ 5. Работы Кокрофта и Уолтона	39
§ 6. Расщепление атома при помощи синхронного ускорителя протонов и дейтронов в магнитном поле	42
§ 7. Наблюдение расщепления атома при помощи камеры Вильсона	53
§ 8. Применение счетчиков Гейгер-Мюллера	58

Глава III. Нейтроны и их свойства

§ 1. Открытие нейтронов	61
§ 2. Масса нейтрона	66
§ 3. Рассеяние нейтронов	68
§ 4. Наблюдение нейтронов при помощи камеры Вильсона	74
§ 5. Наблюдение нейтронов при помощи фотографических пластинок с толстым эмульсионным слоем	76
§ 6. Проникающая способность нейтронов	77

Глава IV. Позитроны

§ 1. Открытие позитронов	79
§ 2. Теория Дирака	80
§ 3. Наблюдение позитронов при помощи камеры Вильсона	83

§ 4. Образование пар из позитрона и электрона	84
§ 5. Масса позитрона	86
§ 6. Продолжительность жизни позитрона	87

Глава V. Искусственная радиоактивность

§ 1. Открытие искусственной радиоактивности	90
§ 2. Искусственная радиоактивность, вызываемая α -лучами	91
§ 3. Искусственная радиоактивность и строение атомного ядра	93

Глава VI. Искусственные радиоэлементы, получаемые при помощи нейтронов

§ 1. Основные типы ядерных реакций	97
§ 2. Действие замедленных нейтронов на атомные ядра	102
§ 3. Избирательное поглощение нейтронов	108
§ 4. Общий обзор искусственных радиоэлементов	110

Глава VII. Расщепление атомных ядер α -частицами

§ 1. Реакции типа $\alpha - p$. Энергетические уровни атомного ядра	123
§ 2. Реакции типа $\alpha - n$. Образование возбужденного ядра ${}^*Be_4^8$	129

Глава VIII. Расщепление атомных ядер протонами

§ 1. Реакции типа $p - \alpha$. Образование нормального ядра Be_4^8 и вычисление его массы	134
§ 2. Реакции типа $p - d$ и $p - \gamma$. Источник γ -лучей в 17 млн. электрон-вольт	136
§ 3. Реакции типа $p - n$	141

Глава IX. Бомбардировка атомных ядер дейтронами

§ 1. Реакции типа $d - \alpha$. Образование возбужденного ядра ${}^*C_6^{12}$	142
§ 2. Реакции типа $d - p$ и $d - p, \alpha$. Практическое значение радионатория. Механизм реакции у тяжелых частиц	147
§ 3. Реакции типа $d - n$ и $d - n, \alpha$. Источник нейтронов, эквивалентный 200 кг радия	154

Глава X. Бомбардировка атомных ядер нейтронами

§ 1. Реакции типа $n - \alpha$. Колоссальные эффективные сечения у бора и лития	161
§ 2. Реакция типа $n - p$. Условия возможности этой реакции	167
§ 3. Реакции типа $n - \gamma$. Прилипание нейтронов	169
§ 4. Реакции типа $n - 2n$. Особенности бомбардировки атомных ядер нейтронами в 20 млн. электрон-вольт	175

Глава XI. Бомбардировка атомных ядер γ -лучами

§ 1. Действие γ -лучей естественных радиоэлементов. Источник нейтронов $Be + \gamma$	178
§ 2. Действие искусственных γ -лучей на атомные ядра. Значение ядерного фотоэффекта	179

Глава XII. Строение атомного ядра и гипотеза Бора

§ 1. Определение масс	182
§ 2. Энергия связи и энергетические уровни	186
§ 3. Изотопы, изобары и изомеры	194

§ 4. Определение резонансных уровней тяжелых ядер при помощи нейтронов	201
§ 5. Гипотеза Бора и ее следствия	202

Глава XIII. Космические лучи

§ 1. Энергия космических лучей	208
§ 2. Образование ливней	212
§ 3. Природа и происхождение космических лучей	213
§ 4. Присутствие тяжелых частиц в космических лучах	217
§ 5. Открытие баритрона	219
§ 6. Наблюдение расщепления атомов космическими лучами при помощи фотографических пластинок с толстым эмульсионным слоем	220
§ 7. Расщепление атомных ядер космическими лучами по наблюдениям в камере Вильсона	224

Приложение. Применение волновой механики к изучению атомного ядра

§ 1. Кванты света и волны материи	225
§ 2. Аномальное рассеяние α -частиц	230
§ 3. Теория естественного α -распада	235
§ 4. Особенности β -распада радиоактивных элементов	237

ГЛАВА I

ИЗУЧЕНИЕ ЯДРА КАК ЦЕНТРАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

ПРЕДПОЛОЖЕНИЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.—ПОПЫТКИ АЛХИМИКОВ ПОЛУЧИТЬ ЗОЛОТО ИСКУССТВЕННЫМ ПУТЕМ.—ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ ХИМИИ.—ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ.—ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ В ПРИМЕНЕНИИ К ХИМИЧЕСКИМ РЕАКЦИЯМ.—РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ ИЗЛУЧЕНИЯ.—ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МАТЕРИИ И ЭНЕРГИИ.—ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ.—ИЗОТОПЫ.—НОВЫЕ ИДЕИ В ФИЗИКЕ АТОМНОГО ЯДРА.

§ 1. Предположение об эволюции химических элементов. Все в окружающей нас природе непрерывно изменяется, — иногда эти изменения происходят быстро, иногда же, наоборот, крайне медленно и почти незаметно. Исключений из этого правила нет и не может быть. Если обыденный опыт и наблюдения в некоторых случаях как будто и противоречат ему, то это означает только то, что или самый опыт был проведен недостаточно тщательно, или же наблюдение производилось в течение слишком короткого промежутка времени. Хороший пример этого, как известно, дает биология: виды животных и растений долгое время считались чем-то весьма постоянным, однако садоводам путем скрещивания и особой культуры удалось вывести целый ряд новых форм плодовых деревьев и цветов; таким же путем были выведены и новые породы полезных для человека животных. Дарвин, основываясь, с одной стороны, на такого рода опытах, а с другой — на данных палеонтологии, написал свою знаменитую книгу „Происхождение видов“. Нужно, однако, сказать, что физикам, занимавшимся изучением происхождения химических элементов и превращения их, пришлось проделать гораздо более трудный путь, чем Дарвину и другим биологам-эволюционистам. В распоряжении физиков до сравнительно недавнего времени совсем не было данных, указывавших на какой-либо факт изменчивости химических элементов. Напротив, спектральный анализ звезд достоверно показал, что даже в самых отдаленных частях вселенной находятся лишь те же элементы, с которыми мы имели возможность ознакомиться на поверхности земли. Можно было думать, что процессы преобразования элементов, если и происходили когда-либо в мировом

пространстве, то к нашей эпохе они уже закончились одинаковым для всей вселенной образом, и нам остается лишь считаться с тем материалом, который нам предоставляет природа. В настоящее время, однако, мы знаем, что правы были те ученые, которые, несмотря на отсутствие опытных данных, продолжали думать, что и в окружающей нас природе происходит непрерывное превращение элементов. Теперь мы с полным правом уже можем сказать, что располагаем многочисленными и твердо установленными фактами изменчивости химических элементов. Для того чтобы достаточно ясно представить себе грандиозные успехи физики, которые привели к накоплению этих фактов, нужно хотя бы кратко остановиться на истории учения о превращении элементов.

§ 2. Попытки алхимиков получить золото искусственным путем. Интерес к превращению элементов и смутная уверенность в возможности производить такое превращение искусственным путем никогда не угасали у человечества. Оставляя в стороне различные умозрения древних философов, мы остановимся несколько подробнее на стараниях алхимиков добиться превращения элементов экспериментальным путем. Количество лиц, посвящавших свое время и силы этой весьма неблагодарной по тому времени задаче, показывает, насколько уже в средние века был велик интерес к разбираемому здесь вопросу. Правда, с нашей, современной точки зрения этот интерес был весьма наивен, но, если принять во внимание состояние научных знаний в то время, взгляды алхимиков будут вполне понятны. Химии — как науки — тогда еще не существовало, а между тем обыденный опыт указывал на возможность получать различные вещества, комбинируя их отдельные составные части. Особенно хорошо этот процесс соединения и разложения тел происходил при подогреве (еще и теперь одним из главных приборов, которыми пользуются химики, является газовая горелка). Алхимики знали это свойство высоких температур и надеялись, найдя соответствующий рецепт, получить в своих тиглях и ретортах золото. Несомненно, что среди алхимиков были шарлатаны, которые, обещая добывать золото искусственным путем, в действительности стремились только нажиться за счет тех средств, которые отпускались им на производство опытов. Были, однако, среди них и глубоко убежденные люди, совершенно искренно думавшие, что только недостаток средств не позволяет им довести свои опыты до благополучного конца. Основным недостатком всех этих опытов было то, что алхимики обращали внимание главным образом на качественную сторону явлений и почти совсем не занимались их количественной стороной. Беря, напр., камень, называемый свинцовым блеском, алхимики получали из него свинец, а из свинца им удавалось получать серебро. Если бы эти опыты сопровождалось взвешиванием, можно было бы убедиться, что при этом проис-

ходит не превращение свинцового блеска в свинец и свинца в серебро, а лишь выделение свинца, заключавшегося в свинцовом блеске, и выделение серебра, содержавшегося в виде примеси в свинце. Но алхимики, как было уже сказано, не считали нужным заботиться о каких-либо точных данных и потому пришли к ошибочному заключению о превращении свинцового блеска в свинец и свинца в серебро. Допуская возможность такого рода превращений вообще, уже не трудно было допустить и возможность превращения серебра в золото. Несмотря на свои заблуждения и ошибки, алхимики собрали большой фактический материал и таким образом подготовили почву для возникновения новой по тогдашнему времени научной дисциплины — химии.

§ 3. Основные законы химии. Моментом возникновения химии, как науки, нужно считать замечательные по тому времени опыты Лавуазье, произведенные в 1774 г. В этих опытах Лавуазье, пользуясь весами, с несомненностью доказал, что окисление металлов происходит от соединения их с кислородом, а восстановление окислов есть обратный процесс выделения того же кислорода. Своими опытами Лавуазье нанес окончательный удар высказанной Сталем на основании работ алхимиков гипотезе о флогистоне — особом веществе, которое выделяется при окислении и поглощается при восстановлении. С этого момента химия, идя по пути количественного анализа, указанного Лавуазье, начинает быстро развиваться и устанавливает ряд основных законов, которым подчиняются все химические реакции. Для нас здесь важно отметить два основных положения: 1) все тела в природе подразделяются на простые, которые уже не могут быть разложены, и сложные, представляющие собой соединения простых тел; 2) все процессы в природе подчиняются закону сохранения вещества и закону сохранения энергии. Оба эти положения обеспечили дальнейший расцвет химии и дали ей возможность достигнуть того высокого научного уровня, который мы наблюдаем в настоящее время. Отметим, однако, уже здесь, что оба эти положения в приведенной нами выше формулировке, несмотря на то, что они оправдываются на опыте при всех химических реакциях, оказываются неприемлемыми для современных физиков-радиологов. Чтобы не дать повода к недоразумениям, следует указать, что речь идет не о том, что оба эти положения неправильны, а лишь о том, что они недостаточно общи для того, чтобы их можно было применять к явлениям радиоактивности. Примеров формулировок с различной степенью общности можно привести из области физики очень много. Возьмем хотя бы такой простой и общеизвестный закон, как закон Ома. Для постоянного тока он, как известно, пишется в такой форме:

$$I = \frac{E}{R}, \quad (1)$$

где I —сила тока, E —электродвижущая сила и R —сопротивление. Для переменного тока формула (1) оказывается уже непригодной и должна быть заменена более сложным выражением:

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (2)$$

где I_0 и E_0 —амплитудные значения силы тока и электродвижущей силы, R —поперечному сопротивлению, L —самоиндукция, C —емкость и ω —частота. Обе формулы (1) и (2) верны, но общность их различна. Формула (1) есть лишь частный случай формулы (2). То же самое имеет место и для двух приведенных выше основных положений химии. Для изучения химических реакций оба эти положения будут вполне правильными и законными, при изучении же явлений радиоактивности их надо будет заменить более общими законами. Для того чтобы подойти к этой более общей формулировке и выяснить ее необходимость, мы предварительно должны несколько подробнее остановиться на применении этих законов в химии.

§ 4. Периодическая система элементов. После Лавуазье, вплоть до момента открытия явления радиоактивности, уверенность в невозможности каким-либо способом разложить простые тела на их составные части все более и более укреплялась по мере накопления опытного материала. Чтобы это не показалось голословным, предоставим слово творцу периодической системы элементов Д. И. Менделееву („Основы Химии“, изд. 1903 г.):

„Многие древние философы принимали одну первичную материю. Это отражается до нашего времени в постоянном стремлении уменьшить число простых тел, напр., доказать, что в броме содержится хлор или что хлор содержит кислород. Множеством путей старались опытно и умозрительно доказать сложность простых тел. Все труды до сих пор были напрасны, и уверенность в том, что первичная материя не столь однородна, как хотелось бы уму в его первоначальном порыве скорого обобщения, — укрепляется из года в год“.

Мы привели здесь выдержку из книги Менделеева потому, что после открытия периодической системы элементов уверенность в постоянстве и неразложимости простых тел достигла своего апогея. При взгляде на табл. I, где приведена периодическая система элементов, мы можем понять, откуда рождалась такая уверенность в постоянстве химических элементов. Каждый элемент занимает вполне определенное место в таблице, соответствующее его химическим свойствам, элементы располагаются по возрастающему атомному весу. Вновь открываемые элементы занимали свободные клетки, причем свойства их можно было предсказать заранее. Предположению, что первичной материей