

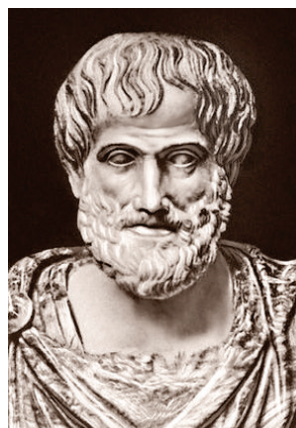
*Посвящается 100-летию открытия  
Э. Резерфорда — протоны входят в  
состав всех атомных ядер.*

## 1. История протона

Представление об атомном строении материи существовало уже за 2500 лет до настоящего времени. В V веке до нашей эры Демокрит считал, что вещество состоит из неделимых частиц, которые он называл атомами. Существовала и другая точка зрения на строение материи. Она развивалась в работах Аристотеля, который считал, что вещество состоит из 4 элементов: огонь, вода, воздух, земля. Благодаря высокому авторитету Аристотеля в науке атомная теория Демокрита не получила широкого признания.



Демокрит  
460 – 360 до н.э.



Аристотель  
384 – 322 гг. до н.э.

Только в XIX веке благодаря работам химиков атомы превратились из философской концепции в физическую реальность — некоторую единицу химической структуры материи.

*Дж. Дальтон: “Наблюдения приводят к выводу, который, по-видимому, является общепринятым, что все тела сколь-нибудь заметной величины... состоят из огромного числа чрезвычайно маленьких частиц, или атомов материи, связанных между собой силами притяжения”.*

Заслуга Дж. Дальтона в том, что его взгляд на атомное строение материи позволил объяснить многие химические явления и явился стимулом развития методов химических и физических исследований.



Антуан Лавуазье  
1743 – 1794



Джон Дальтон  
1766 – 1844

Огромная заслуга в развитии атомной структуры материи принадлежит А. Лавуазье. В 1774 г. он установил, что воздух не является простым веществом, а состоит из двух различных газов — азота и кислорода. В это же время было доказано, что вода состоит из водорода и кислорода.

В 1789 г. А. Лавуазье определил понятие химического элемента.

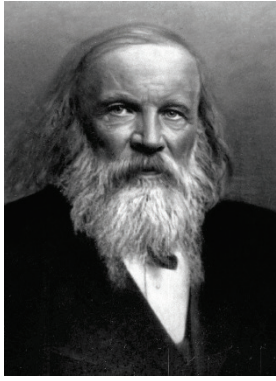
А. Лавуазье: *“Мы применили термин “элементы”... к телам, чтобы выразить наше представление о последнем пределе, которого может достичь анализ”.*

А. Лавуазье заменил четыре элемента Аристотеля на 33 химических элемента, из которых более 20 считаются химическими элементами (а не соединениями элементов) и в настоящее время. Современная таблица химических элементов насчитывает 118 элементов. Символику обозначения химических элементов предложил в 1819 г. Йёнс Якоб Берцелиус. Химические элементы стали обозначаться символами — начальными буквами латинского алфавита: водород H, кислород O, сера S. Химические соединения обозначаются комбинацией символов химических элементов: вода  $H_2O$ , серная кислота  $H_2SO_4$ ...

Периодическая система элементовъ по группамъ и рядамъ.

Рядъ.	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ:											
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
0	х	—	—	—	—	—	—	—	—			
1	у	Водо-родъ Н 1,008	—	—	—	—	—	—	—			
2	Гелий He 4,0	Литий Li 7,03	Берил-лий Be 9,1	Боръ B 11,0	Угле-родъ C 12,0	Азотъ N 14,01	Кисло-родъ O 16,00	Фторъ F 19,0	—			
3	Неонъ. Ne 19,9	На-трий Na 23,05	Маг-ний Mg 24,36	Алю-миний Al 27,1	Крем-ний Si 28,2	Фос-форъ P 31,0	Сѣра. S 32,06	Хлоръ Cl 35,45	—			
4	Аргонъ Ar 38	Ка-лий K 39,15	Каль-ций Ca 40,1	Скан-дий Sc 44,1	Тан-танъ Ti 48,1	Вана-дий V 51,2	Хромъ Cr 52,1	Мар-ганецъ Mn 55,0	Же-лѣзо Fe 55,9	Ко-бальтъ Co 59	Ник-кель Ni 59	(Cu)
5	—	Мѣдь Cu 63,6	Цинкъ Zn 65,4	Гал-лий Ga 70,0	Гер-маній Ge 72,5	Мышь-якъ As 75	Селенъ Se 79,2	Бромъ Br 79,95	—	—	—	—
6	Крип-тонъ Kr 81,8	Рубидій Rb 85,5	Строн-цій Sr 87,6	Ит-трий Y 89,0	Цир-коній Zr 90,6	Ниб-бій Nb 94,0	Молиб-денъ Mo 96,0	—	—	—	—	—
7	—	Сере-бря Ag 107,93	Кад-мій Cd 112,4	Индій In 115,0	Оло-во Sn 119,0	Сурь-ма Sb 120,2	Тел-луръ Te 127	Иодъ J 127	—	—	—	—
8	Ксе-нонъ Xe 128	Це-сий Cs 132,9	Ба-рий Ba 137,4	Лан-танъ La 138,9	Це-рій Ce 140,2	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	Иттер-бій Yb 173	—	Тан-талъ Ta 183	Фольф-рамъ W 184	—	—	—	—	—
11	—	Зо-лото Au 197,2	Ртуть Hg 200,0	Талий Tl 204,1	Свя-нецъ Pb 206,9	Вис-мутъ Bi 208,5	—	—	—	—	—	—
12	—	—	Радій Rd 225	—	Торій Th 232,5	—	Уранъ U 238,5	—	—	—	—	—

Рис. 1.1. Периодическая система химических элементов (≈ 1900 г.)



Д. И. Менделеев  
1834 – 1907

В 1869 г. Д. Менделеев провёл классификацию химических элементов, исходя из их масс и химических и физических свойств. Так возникла Периодическая система элементов, которая носит имя Менделеева. Первоначально в периодической системе Д. Менделеев оставил несколько свободных мест, в которые по его мнению должны быть помещены ещё не открытые химические элементы. При жизни Д. Менделеева было заполнено 4 пустые клетки Периодической системы: галлий Ga ( $Z = 31$ ), скандий Sc ( $Z = 21$ ), германий Ge ( $Z = 32$ ), полоний Po ( $Z = 84$ ). Все вновь обнаруженные химические элементы имели массы и химические свойства, предсказанные Д. Менделеевым. Д. Менделеев оставил следующему поколению исследователей загадку: что является причиной периодических свойств химических элементов? Ответ на этот вопрос был получен спустя сто лет в результате развития представлений о квантовой природе строения материи. Учитывая заслуги Д. Менделеева в изучении химических элементов, в его честь назван 101 химический элемент – менделевий Md ( $Z = 101$ ).



В. Рентген  
1845 – 1923

В 1838 г. М. Фарадей провёл первые исследования электрического разряда в газах. Дальнейшие исследования этого явления показали, что вблизи анода появляется свечение, которое было названо люминесценцией. Изучение явления люминесценции показало, что это излучение вызывается “лучами”, исходящими из катода, которые поэтому были названы катодными лучами. Большая заслуга в изучении катодных лучей принадлежит В. Рентгену. Он показал, что люминесценция может проникать сквозь непрозрачные для света экраны, вызывать потемнение фотопластинок, завёрнутых в бумагу. В. Рентген назвал это проникающее излучение X-лучами. В настоящее время, учитывая заслуги В. Рентгена в исследовании X-лучей, это излучение называется рентгеновским излучением. В 1901 г. В. Рентген первым среди физиков был удостоен Нобелевской премии «за открытие лучей, названных его именем». К 1910 г. были получены доказательства, что рентгеновские лучи представляют собой электромагнитное излучение подобное свету, но имеющее гораздо меньшую длину волны.

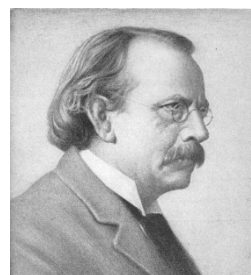
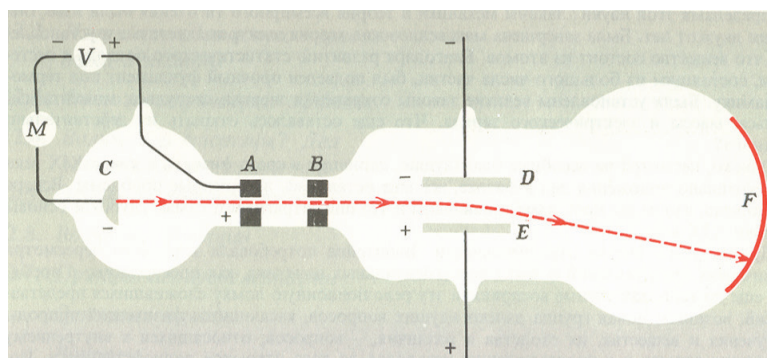




Рис. 1.2. Разрядная трубка. При попадании катодных лучей на стекло трубки или на анод внутри нее возникает излучение, проникающее сквозь непрозрачные материалы.

В 1897 г. Дж. Томсон, исследуя отклонение катодных лучей в электрическом и магнитном полях, показал, что катодные лучи представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, масса которых примерно в 2000 раз меньше массы самого лёгкого химического элемента — водорода. Дж. Томсон считал, что отрицательно заряженные корпускулы катодных лучей являются первичными частицами, из которых состоит вся материя.

Дж. Томсон: *“Катодные лучи представляют собой новое состояние материи, состояние, в котором делимость материи идёт много дальше, чем в случае обычного газообразного состояния; состояния, в котором вся материя, то есть материя, полученная от различных источников, таких как водород, кислород и углерод, — одного и того же рода; эта материя представляет собой то вещество, из которого построены все химические элементы”*.



Джозеф Джон Томсон  
1856 – 1940

Рис. 1.3. Схема прибора Томсона для исследования заряженных частиц методом отклонения в электрических и магнитных полях.

Отрицательно заряженные частицы катодных лучей стали называть электронами. В настоящее время электрически заряженные частицы, имеющие электрический заряд  $4,8 \cdot 10^{-10}$  ед. СГСЭ и имеющие массу примерно в 2000 раз меньше атома водорода называются электронами. Электроны входят в состав всех атомов. Это открытие

положило конец первоначальной идее Демокрита о неделимости атома.

Дж. Томсон создал одну из первых моделей атома. Согласно Дж. Томсону атомы состоят из положительно заряженного вещества, в которое вкраплены электроны. В такой модели периодические свойства элементов объяснялись особыми расположениями электронов в веществе атома.

После открытия отрицательно заряженного электрона начались поиски аналогичной частицы, имеющей положительный заряд. Эксперименты также были поставлены на разрядной трубке. Однако теперь отверстия-каналы были сделаны и в катоде. Было обнаружено, что сквозь эти каналы проходят частицы, имеющие положительный заряд. Положительно заряженные частицы первоначально были названы каналовыми лучами, т.к. они проходили сквозь каналы в катоде. Основное отличие их от катодных лучей состояло в том, что

- они имели положительный заряд;
- масса частиц каналовых лучей была сравнима с массой атомов или молекул ионизованного газа, находящегося в разрядной трубке.

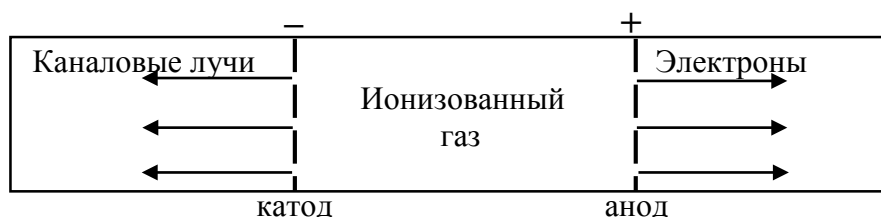
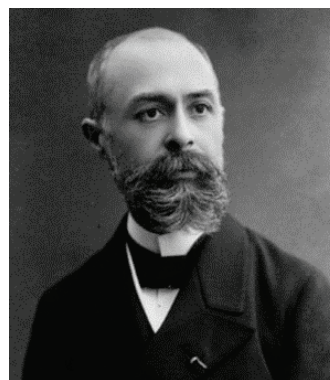
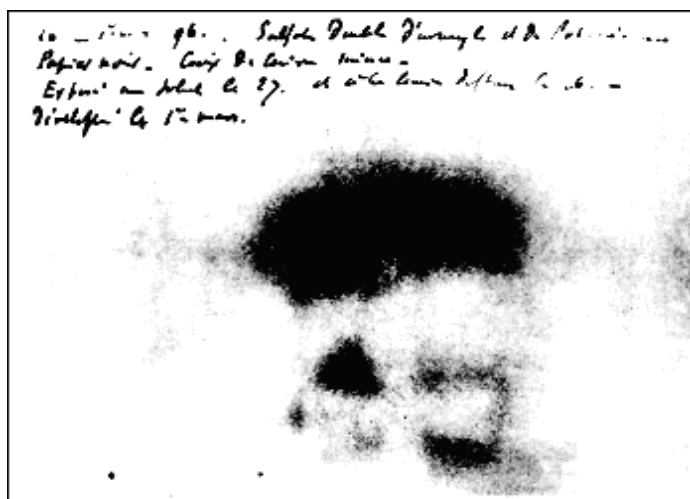


Рис. 1.4. Разрядная трубка. Каналовые лучи выходят через отверстия в катоде. Электроны выходят через отверстия в аноде.

Самая лёгкая из положительно заряженных частиц имела такую же массу, как атом водорода. То есть это был атом водорода, который потерял один электрон.

Э. Резерфорд: *«Вопрос о подходящем названии для этой единицы (т.е. о положительно заряженном атоме водорода) обсуждался на неофициальном собрании секции А (физика) Британской ассоциации в Кардиффе... Всеобщее одобрение получило название “протон”, в частности, потому что оно связано с термином “протил”, который был введен Праутом в его известной гипотезе, что все атомы состоят из водорода... На официальном собрании секции было обращено внимание на необходимость специального названия для... единицы с массой 1 и автор [Резерфорд] предложил название “протон”».*

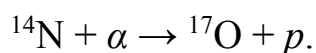
В 1896 г. А. Беккерель, изучая явление люминесценции, обнаружил, что соли урана испускают излучение, которое подобно рентгеновским лучам вызывает потемнение фотопластинок, завернутых в непрозрачную для света бумагу. Природа этого излучения была исследована Э. Резерфордом, который показал, что излучение состоит из ионизированных атомов гелия He ( $\alpha$ -частиц) и электронов. Из этих опытов стало ясно, что химические элементы могут самопроизвольно распадаться, превращаясь в другие химические элементы. Следующий шаг в понимании структуры материи был сделан в результате опытов по рассеянию  $\alpha$ -частиц на атомах золота. Э. Резерфорд, анализируя результаты этих опытов, предложил новую модель атома: атом состоит из положительно заряженного ядра, имеющего размер меньше  $10^{-12}$  см, и вращающихся вокруг него электронов.

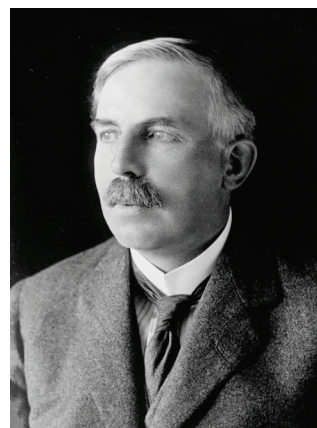
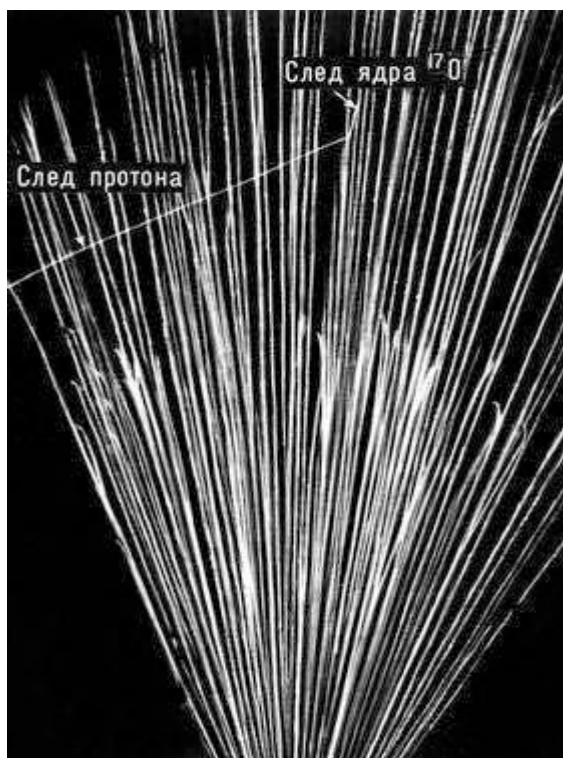


Антуан Беккерель  
1852 – 1908

Рис. 1.5. Радиоактивное излучение солей урана вызывает потемнение фотопластинок, завернутой в непрозрачную для света бумагу.

В 1919 г., продолжая эксперименты по рассеянию  $\alpha$ -частиц на различных мишенях, Э. Резерфорд обнаружил, что при бомбардировке ядер азота  $\alpha$ -частицами из них вылетают положительно заряженные частицы. Величина заряда этих частиц по абсолютной величине была равна величине заряда электрона, но противоположна по знаку. Масса частицы была примерно в 2000 раз больше массы электрона. Повторение опыта на других мишенях показало, что положительно заряженные частицы вылетают и из других атомных ядер. Ядерная реакция, в которой впервые были обнаружены протоны:





Эрнест Резерфорд  
1871 – 1937

Рис. 1.6. Фотография, полученная в камере Вильсона при бомбардировке азота  $^{14}\text{N}$   $\alpha$ -частицами. На фотографии видны следы от  $\alpha$ -частиц, протона и ядра  $^{17}\text{O}$ .

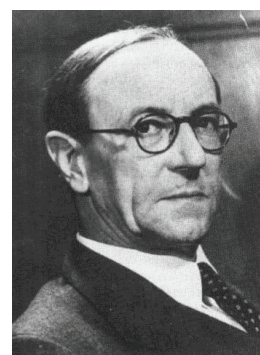
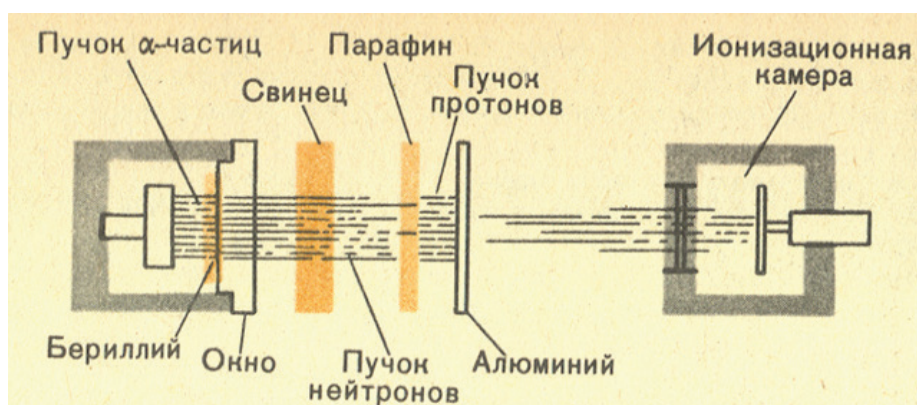
Эта ядерная реакция явилась прямым подтверждением ранее обнаруженных в каналовых лучах частиц с единицей положительного заряда. Э. Резерфорду удалось осуществить то, что в течение многих веков пытались сделать алхимики, – превратить одно вещество в другое: ядро азота превращалось в ядро кислорода. Это была первая ядерная реакция, осуществленная искусственно в лабораторных условиях. Стало ясно, что протоны следует считать элементарными частицами, входящими в состав атомного ядра.

Э. Резерфорд: *«Исходя из полученных до сих пор результатов, трудно избежать заключения, что атомы с большой длиной пробега, появившиеся при столкновении  $\alpha$ -частиц с атомами азота, суть не атомы азота, а, по-видимому, атомы водорода или атомы с массой 2. Если это действительно так, то нам следует сделать вывод, что под действием мощных сил, возникающих при столкновении с быстрой  $\alpha$ -частицей, атом азота расщепляется и что освободившийся при этом атом водорода является составной частью ядра азота. ...В целом эти результаты наводят на мысль, что, если мы будем располагать для экспериментов  $\alpha$ -частицами – или другими подобными частицами – такой же энергии, то,*



*быть может нам удастся разрушить ядерную структуру многих более легких атомов».*

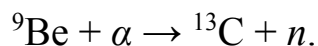
Обнаруженное Э. Резерфордом выбивание из ядер азота протонов, а также давно известное испускание радиоактивными ядрами электронов в виде бета-лучей, казалось, подтвердили представление, ранее высказанное Резерфордом: атомные ядра состоят из протонов и электронов. Однако было совершенно неясно, почему одни электроны связаны в атомном ядре, а другие вращаются по орбитам на большом расстоянии от атомного ядра.



Джеймс Чедвик  
1891 – 1974

Рис. 1.7. Схема эксперимента 1932 г., в котором Дж. Чедвик открыл нейтрон.

В 1930–1932 гг., продолжая эксперименты по облучению тонких фольг из различных материалов  $\alpha$ -частицами, В. Боте и Г. Беккер обнаружили сильно проникающее излучение из бериллиевой мишени, состоящее из нейтральных частиц. Это излучение также наблюдали в аналогичных экспериментах И. Кюри и Ф. Жолио-Кюри. Первоначально выдвинутая гипотеза о том, что это фотоны высокой энергии, не выдержала проверки. В 1932 г. Дж. Чедвик показал, что это новая, до сих пор неизвестная нейтральная частица с массой, приблизительно равной массе протона. Обнаруженная частица была названа нейтроном. Реакция, в которой был открыт нейтрон:

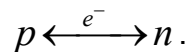


Дж. Чедвик: *«Эти экспериментальные результаты очень трудно объяснить на основе гипотезы, что излучение бериллия представляет собой квантовое (т. е. электромагнитное) излучение, но они непосредственно вытекают из предположения, что излучение состоит из частиц, которые имеют массу, приблизительно равную массе протона, но не имеют заряда».*

В 1935 г. Дж. Чедвик получил Нобелевскую премию «за открытие нейтрона».

Дж. Чедвик, как и Э. Резерфорд считал, что нейтрон – это некоторая связанная система, состоящая из протона и электрона. Впервые на то, что нейтрон является «отдельной самостоятельной» частицей было указано в работах В. Гейзенберга, Д. Иваненко и Э. Майораны.

Первоначальная идея В. Гейзенберга состояла в том, что взаимодействие между протоном и нейтроном происходит в результате обмена электронами

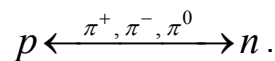


Сразу после открытия нейтрона Д. Иваненко, В. Гейзенберг и Э. Майорана независимо выдвинули гипотезу, что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны в атомном ядре связаны новым типом сил — ядерными силами.



Х. Юкава  
1907 – 1981

В 1935 г. Х. Юкава предсказал существование новой частицы – кванта ядерного поля. Согласно гипотезе Х. Юкавы взаимодействие между протонами и нейтронами в атомном ядре происходит в результате обмена  $\pi$ -мезонами



$\pi$ -мезоны были открыты в 1947 г. в космических лучах. В 1949 г. Х. Юкава был удостоен Нобелевской премии по физике «за предсказание существования мезонов на основе теоретических работ по ядерным силам».

Ядерные силы существенно превосходили известные в то время гравитационные и электромагнитные силы. Они обуславливают высокую плотность ядерной материи  $\approx 10^{14}$  г/см<sup>3</sup>.