

О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ПОСТОЯННОЙ ПЛАНКА,
ЭЛЕКТРОНЕ И ПРОТОНЕ

М. Грызинский (M. Gryziński)

От ред.: Предваряя следующую статью (В. В. Вихрева), ниже публикуется небольшой фрагмент из книги Михала Грызинского “Дело атома” (Michał Gryziński. Sprawa atomu. — Homo-Sapiens, Warszawa, 2002. — С. 60–63, 66–69) в переводе ее автора и И. А. Егановой. Эта научно-популярная книга написана прекрасным литературным языком, щедро и красочно иллюстрирована (рисунки Ханны Грызинской), пронизана тонким юмором, с которым автор высвечивает физический смысл и логику главных шагов ученых-физиков в истории развития их представлений об архитектуре атомного мира. В этом фрагменте автор стремится донести до любознательного и вдумчивого читателя глубокие, удивительные свойства материи, связанные с вращением, в том числе характерные свойства электрона и протона. См. также:

1. Грызинский М. Об атоме точно: Семь лекций по атомной физике / Ред. М. М. Лаврентьев. — Новосибирск, 2004; М.: Editorial URSS, 2005. — 94 с.

2. Грызинский М. *О природе атома* // Поиск математических закономерностей Мироздания: физические идеи, подходы, концепции / Ред. М. М. Лаврентьев. — Новосибирск: Изд-во ИМ, 2001, с. 135–160. — (Избранные труды Третьей сибирской конференции по математическим проблемам физики пространства-времени сложных систем (ФПВ-2000), Новосибирск, 22–24 июня 2000 г.).

Пользуясь случаем, редакционная коллегия благодарит Михала Грызинского-мл. за сотрудничество.

Представляет ли постоянная Планка h совершенно иной мир? Первым шагом к ответу на вопрос, почему атом построен так, а не иначе, было открытие квантовых условий, задающихся постоянной Планка h . Так как физики были не в состоянии найти для этой постоянной соответствующее положение в рамках классической динамики, то они объявили ее величиной, принадлежащей совсем другому миру, величиной, которую невозможно свести к известным понятиям макроскопического мира. Учебники по квантовой механике говорят, что классическая физика — это физика, в которой h равняется нулю. А на самом деле постоянная Планка h — это не что иное, как величина, фактически определяющая понятие хорошо известного в классической физике гироскопа.

Втолкование adeptам, штудирующим физику, что $h \neq 0$ — это чисто квантовое явление, не имеющее своего аналога в классической физике, было одним из основных элементов, направленных на укрепление представления о необыкновенности квантовой механики, тогда как постоянная Планка — это отражение того, что вихревое движение является имманентным признаком микромира, и обойти его в рассуждениях о строении атома невозможно. Для демистификации взглядов на постоянную h и чтобы достаточно вникнуть в понимание гироскопических свойств электрона, скажем несколько слов о свойствах объекта, называющегося гироскопом.

Можно ли сидеть на жерди, которая поддерживается только на одном конце?

Можно! И без какого-либо страха!

Однако с одним условием. На жерди должно быть смонтировано массивное, с большим радиусом, быстро вращающееся колесо.

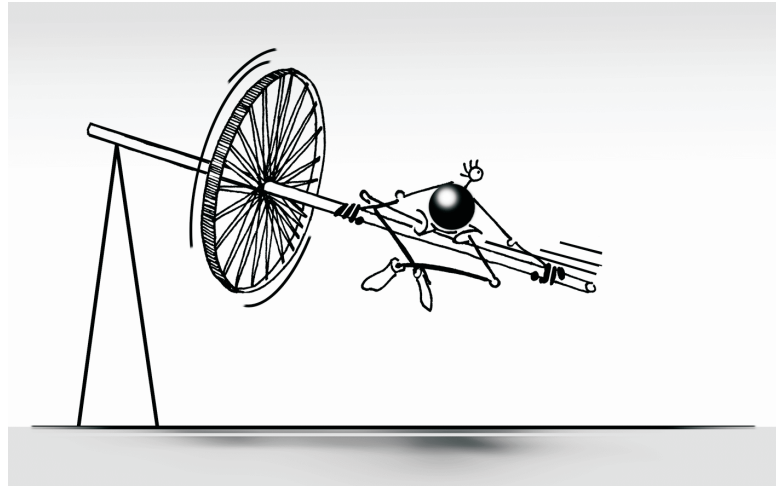


Рис. 1. Здесь “воочию” демонстрируются гироскопические свойства материи.

Велосипедное колесо и электрон. Гироскоп — это очень удивительный объект, в чем легко убедиться, взяв в обе руки ось вращающегося велосипедного колеса: хотим изменить ориентацию его оси в каком-либо направлении, а ось, к нашему удивлению, перемещается перпендикулярно направлению, в котором мы хотели ее сдвинуть. Благодаря этой реакции вертящейся материи, мы можем спокойно сидеть на жерди, подпертой только с одного конца, как это показано на рис. 1.

Количественно это явление описывается уравнением Эйлера, которое говорит, что

$$\omega_{\text{рг}} = \mathcal{M}/H,$$

где $\omega_{\text{рг}}$ определяет угловую скорость жерди, поворачивающейся вокруг точки опоры, H — представляет свойства вертящегося колеса и \mathcal{M} — крутильный момент, действующий на жердь с сидящей на ней персоной.

H — кинетический момент, величина, определяющая понятие гироскопа. Это — мера ориентационной упругости вращающегося объекта: чем больше кинетический момент, тем труднее изменить ориентацию его оси.

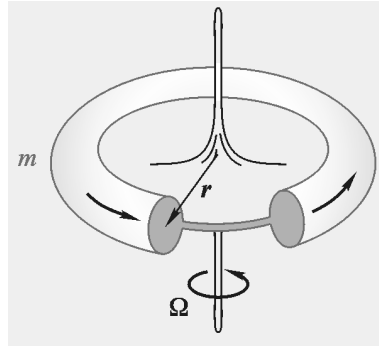


Рис. 2. Простейший гироскоп — вращающийся обруч.

В случае вращающегося обруча кинетический момент можно выразить через массу обруча m , его радиус r и угловую скорость вращательного движения Ω (рис. 2):

$$H = mr^2\Omega.$$

\mathcal{M} — крутильный момент, фактор, принуждающий к изменению ориентации оси вращающегося объекта (гироскопа).

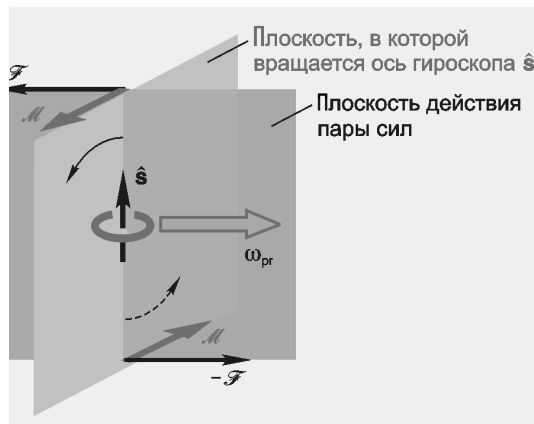


Рис. 3. Изменение ориентации гироскопа — это результат воздействия на него крутильных моментов.

В таком случае, как вращающееся кольцо — обруч на спицах, крутильный момент может иметь вид пары сил, действующих на ось. Если силы $\mathcal{F}_1 = -\mathcal{F}_2$ перпендикулярны оси и приложены на расстоянии l (рис. 3), то крутильный момент имеет вид:

$$\mathcal{M} = \mathcal{F} \times l \quad (\mathcal{F}_1 = -\mathcal{F}_2 = \mathcal{F}).$$

Электрон — “черный ящик” с вращающейся материей. В случае такого гироскопа, как велосипедное кольцо, и кинетический момент \mathbf{H} , и крутильный момент \mathcal{M} мы можем свести к простейшим понятиям, какими являются угловая скорость кольца или пара сил, приложенная к его оси. В случае микроробъектов, таких как электрон или протон, внутренняя структура которых нам не известна, т. е. мы не можем определить распределения вращающейся материи и идентифицировать места приложения сил, как кинетический момент, так и крутильный момент фигурируют как первичные понятия, не сводимые к другим. О наличии и величине как кинетического момента, так и крутильного момента мы судим по наблюдениям изменения ориентации этих объектов, когда вблизи находятся подобные объекты. На основе такого типа наблюдений было определено, что

у электрона и протона один и тот же кинетический момент и он равняется половине постоянной Планка \hbar ($\hbar/2\pi$).

Согласно видению Декарта, который весь мир воспринимал как наборы вихрей, постоянная Планка представляет вихревую природу микромира. Чтобы отобразить крутильные моменты, действующие на электрон или протон, необходимо было ввести понятие магнитного момента $\boldsymbol{\mu}$, создающего магнитное поле \mathcal{H} (рис. 4),

$$\mathcal{H} = -\frac{\mu}{r^3}(\hat{\mathbf{s}} - 3\hat{\mathbf{r}}(\hat{\mathbf{s}} \cdot \hat{\mathbf{r}})),$$

которое является источником крутильного момента

$$\mathcal{M} = \boldsymbol{\mu} \times \mathcal{H}.$$

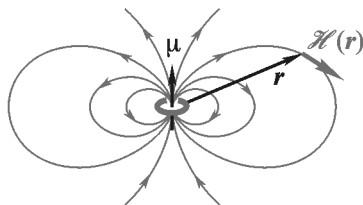


Рис. 4. Магнитное поле \mathcal{H} .

Опыт показал, что магнитный момент как электрона, так и протона пропорционален постоянной Планка \hbar :

$$\boldsymbol{\mu} = \hat{\mathbf{s}} \cdot g\hbar.$$

Причем коэффициент пропорциональности g , называемый гиромагнитным отношением, соответственно имеет величину:

$$\begin{aligned} \text{для электрона} \quad g_e &= \frac{e}{2m_e c}, & m_e & \text{— масса электрона,} \\ \text{для протона} \quad g_p &= 2,79 \frac{e}{2m_p c}, & m_p & \text{— масса протона,} \end{aligned}$$

(e — элементарный электрический заряд, c — скорость света в вакууме).

Из приведенных формул следует, что находящиеся вблизи две элементарные частицы, какими являются протон и электрон, будут изменять свою ориентацию из-за действия крутильных моментов. Эти изменения, описываемые уравнением Эйлера, довольно сложные, и для их расчета необходимо хорошее знакомство с математикой. Однако нам достаточно рассмотреть некоторые отдельные простые случаи, которые играют значительную роль в понимании существования стационарных состояний, когда оси вращения взаимодействующих частиц или остаются постоянно ориентированными в пространстве, или прецессируют вокруг прямой, соединяющей обе частицы.

Так, существуют только четыре ситуации, когда крутильные моменты равны нулю и обе частицы могут оставаться неизменно ориентированными в пространстве. В одном случае — когда их оси ориентированы вдоль прямой, соединяющей эти частицы, в другом — когда они перпендикулярны к ней (рис. 5). Этот факт имеет огромное значение для рассуждений о строении микромира, так как он сужает область поиска решений, описывающих стационарные состояния набора частиц, какими являются протон и электрон. Об этом будет идти речь в пятой главе.

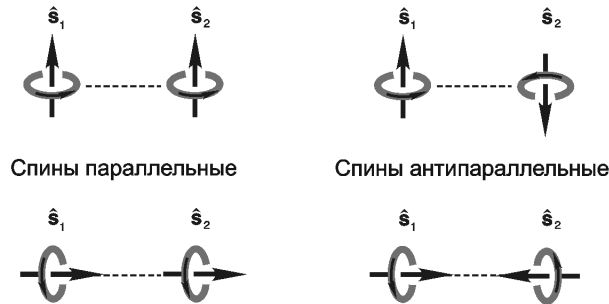


Рис. 5. Четыре выделенные ситуации, в которых две частицы, взаимодействующие через спиновое магнитное поле и обладающие гироскопическими свойствами, могут оставаться с постоянно ориентированной осью собственного вращения.

И в заключение этих рассуждений — замечание, имеющее большое значение для понимания строения ядра атома. Так, электростатическое притяжение электрона и протона компенсируется при соответствующей взаимной ориентации их спиновых осей магнитным отталкиванием; при этом оси обеих частиц будут вращаться с одной и той же угловой скоростью вокруг прямой, соединяющей их центры (рис. 6).

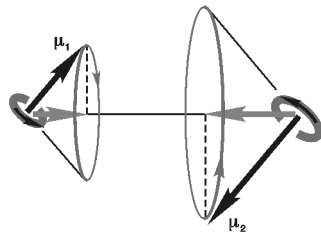


Рис. 6. Компенсация электростатического притяжения электрона и протона магнитным отталкиванием.

Итак, оставив позади мистическое представление об электроне как о волне и мистический смысл постоянной Планка h , присутствующий в квантовых теориях, мы можем другими глазами взглянуть на строение атома и понять мир химии.*



Рис. 7. С чего это физики XX века вообразили, что постоянная Планка, представляющая кинетический момент вертящегося тела, не принадлежит области классической физики, а является исключительно атрибутом мистического мира квантов, — это вопрос, на который трудно найти логически обоснованный ответ.

* *От ред.:* На этом пути М. Грызинский открыл динамику электронов атомных оболочек и динамику молекулярной связи, а также физические механизмы многих свойств вещества и явлений в нем, связанных с движением электронов. Например, именно с электронами связано распространение акустических волн и теплопередача в твердых телах, именно электроны, быстро движущиеся между соседними ядрами, обуславливают энергию нулевых колебаний решетки. Или, например, виден механизм образования куперовских пар при сверхпроводимости. Что касается структуры атомного ядра, то Грызинский предложил вернуться к модели Резерфорда (1920 г.) — ядро есть конгломерат протонов и электронов: массовое число A определяет число протонов, а разность $Z - A$ (Z — атомный номер) определяет число электронов, находящихся в ядре. Ему сразу удалось преодолеть известную трудность теории, рассматривающей нейтрон как систему, состоящую из протона и электрона: объяснить “исчезновение” магнитного момента электрона в нейтроне (магнитный момент электрона почти на три порядка больше магнитного момента как протона, так и нейтрона). Грызинский рассматривает нейтрон как связанное состояние электрона и протона — двух гироскопов, связанных между собой магнитными силами. Он показал, что прецессия в системе *протон+электрон* обуславливает электрическое поле, которым ни электрон, ни протон в отдельности не обладают. Как мы видим по его результатам, наглядно представленным в этой книге, он имел все основания для скептического отношения к квантовой теории атомного ядра и формулировки радикальных критических вопросов: *Новые частицы, новые силы — необходимость или выбор легкого пути? Нужны ли нам ядерные силы?*

Читая третью главу “*Дела атома*”, нельзя не выразить изумления — какое огромное богатство свойств и явлений окружающего нас мира удастся вывести из нескольких простых свойств двух элементарных кирпичиков материи, какими являются электрон и протон; им посвящены следующие страницы этой книги.

Планетарная модель атома — это ошибка, которая завела в тупик рассуждения о строении атома и которая в огромной мере способствовала прекращению работ над динамической теорией атома. Весьма вероятно, что при наличии правильного решения, какое представляет собой атомная модель свободного падения, до создания квантовой механики никогда бы и не дошло.

Знание, которое принес нам XX век, позволило выдвинуть тезу: *весь непосредственно и опосредовано доступный нашим чувствам материальный мир — это различные комбинации двух разных, но одновременно и похожих “завихрений” космического эфира*. Эти два взаимно притягивающихся завихрения — это протон и электрон. Тандем такой космической материи — это атом водорода. Но, чтобы говорить о том, как построен такой тандем, нам прежде всего нужно определить значение использованных выше слов: ‘протон’ и ‘электрон’. Ведь мы должны знать, о чем говорим!

Протон и электрон — это объекты, взаимодействующие по закону Кулона. Хотя электрон и протон открыты весьма давно (электрон был идентифицирован в 1897 г. Дж. Дж. Томсоном, а протон — в 1918 г. Э. Резерфордом), к сожалению, до сих пор почти ничего не известно о внутреннем строении этих двух универсальных составляющих материи. В различных рассуждениях эти объекты появляются в виде математических точек, которым приписываются определенные через математические функции разнообразные свойства, позволяющие предвидеть их поведение в разных физических условиях. Выведенное на основе многих разнообразных наблюдений *основное свойство протона и электрона — это взаимодействие, спадающее с увеличением расстояния обратно пропорционально квадрату расстояния: отталкивание в случае одинаковых частиц и притяжение в случае различных частиц*. Чтобы о взаимодействии можно было говорить количественным образом, физики ввели понятие электрического заряда: чем больше заряд у частицы, тем сильнее взаимодействие. В математических формулах электрический заряд обычно обозначается при помощи буквы q (Q) со знаком $+$ или $-$, так, чтобы по знаку произведения зарядов знать, имеем ли мы дело с отталкиванием (тогда произведение положительно) или с притяжением (тогда произведение отрицательно). Такое взаимодействие, изображающееся с помощью математической формулы

$$\mathcal{F} = \pm \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \hat{\mathbf{r}},$$

называется силой Кулона. Кулоновское взаимодействие — это основной признак, определяющий как электрон, так и протон (рис. 8).

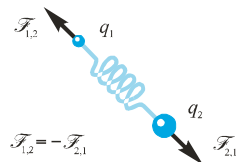


Рис. 8. Пружина — объект, являющийся синонимом силы. В микроскопическом мире сила непосредственно не видна, ее присутствие проявляется в наблюдаемых изменениях скорости.

Опыты показали, что определенная электрическим зарядом способность материи к взаимодействию у протона та же самая, что и у электрона. Электриче-

ский заряд протона принято обозначать символом $+e$, а электрический заряд электрона — символом $-e$.

Протон и электрон — это объекты, движущиеся по закону Ньютона.

Наличие взаимодействия вызывает свои последствия, и эти последствия суть наблюдаемые изменения скорости взаимодействующих частиц. Изменение скорости, отнесенное к единице времени, называется ускорением. Обычно его обозначают буквой a , от английского слова *acceleration* — *ускорение*, подобно тому, как символ \mathcal{F} , описывающий взаимодействие, имеет свои корни в английском слове *force* — *сила*. Эта номенклатура идет от работ Ньютона, который был англичанином и который первый изобразил соотношение между взаимодействием и ускорением в виде математического уравнения $\mathcal{F} = ma$, где коэффициент m , называемый массой, определяет способность данного объекта к вынужденному взаимодействием изменению скорости; масса — это мера количества материи, т. е. субстанции, из которой построен данный объект.

Так физики с помощью закона Кулона и закона Ньютона свели протяженный объект (рис. 9), каким является электрон (протон), к абстрактной математической точке. *Используя понятие электрона (протона), сведенного к точечной массе и к точечному электрическому заряду, нужно иметь в виду огромность отсутствующей информации об этом объекте в таком его представлении.* Ситуация такова, как если бы мы все знание о Солнце хотели свести к двум числам: к массе Солнца m_{\odot} и к гравитационному заряду, определенному произведением $m_{\odot}\sqrt{G}$, где G — гравитационная постоянная. В действительности, очень скоро оказалось, что, оставаясь в рамках понятий точечной массы и точечного электрического заряда, невозможно объяснить многие явления, и точке, представляющей электрон, нужно приписать еще некоторые дополнительные свойства.

Протон и электрон — это объекты, имеющие свойства гироскопа! Не углубляясь в то, как физики этого добились, скажем только, что как электрону, так и протону нужно было фактически приписать свойства механического волчка. Другими словами, как протон, так и электрон — это вращающаяся материя, что-то наподобие водяного вихря, воздушного торнадо или велосипедного колеса. Но, *чтобы можно было говорить о вращении, нужно вначале ввести понятие оси вращения, определяющей ориентацию вращающейся материи в пространстве.* По этой причине к точке, представляющей положение вращающегося объекта, электрона или протона, присоединяют единичный вектор (орт) \hat{s} . Чтобы знать, имеем ли мы дело со “слабым” или с могучим волчком, т. е. чтобы знать, легко

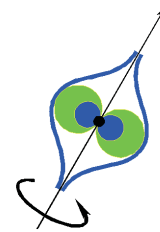
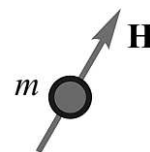


Рис. 9. Реальный физический объект ...



... и его точечное представление.

или трудно нам будет изменить ориентацию этого вращающегося объекта, нужно было к орту \hat{s} присовокупить некоторую числовую информацию (см. рис. 9). В случае такого волчка, как велосипедное кольцо, данная информация — это величина произведения

$$H \stackrel{\text{def}}{=} m \cdot r \cdot v,$$

где m — масса обруча вместе с шиной и всякими другими добавками, r — радиус кольца и v — скорость, с которой движутся точки обруча. Величину H , представляющую ориентационную инерцию вращающегося объекта, физики назвали кинетическим моментом, а сам объект — гироскопом.

После многих экспериментов было констатировано, что

электрон и протон — это два почти идентичных гироскопа,

поскольку у них величина кинетического момента (спин) одинакова и равна половине постоянной Планка \hbar : $H_e = H_p = \frac{1}{2}\hbar$.

Хотя до сих пор мы не знаем, каково внутреннее строение электрона или протона, но, зная их массу и зная величину постоянной Планка \hbar , а также то, что экстремальная скорость, с какой может перемещаться материя, — это скорость света c , мы можем судить о диаметре такого микроскопического гироскопа. Исходя из определения кинетического момента H , мы можем подсчитать

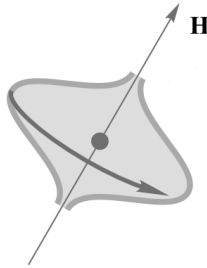


Рис. 10. Электрон — это вращающийся объект. Он мал, но это — не математическая точка.

гироскопический диаметр электрона

$$\phi_e = 2r_e = \frac{\hbar}{m_e c} \simeq 3,86 \cdot 10^{-11} \text{ см}$$

и гироскопический диаметр протона

$$\phi_p = 2r_p = \frac{\hbar}{m_p c} \simeq 2,10 \cdot 10^{-14} \text{ см.}$$

Полученные таким путем числа указывают, что электрон, а тем более протон, — это очень маленькие объекты, но не математические точки, лишенные размера (рис. 10).

Протон и электрон — это объекты, имеющие свойства магнитной иглы! Другой удивительный объект, о котором мы знаем из курса школьной физики, — это компас, его “душа” — свободно поворачивающаяся, имеющая опору в центре тяжести магнитная игла. Две такие магнитные иглы в зависимости от ориентации будут притягиваться или отталкиваться. Но кроме того они стремятся повернуться так, чтобы разноименные полюсы находились как можно ближе друг к другу. Таким образом, сила их взаимодействия, как и крутильный момент, зависит как от взаимного расстояния, так и от взаимной ориентации.

Как показали измерения, сила, стремящаяся изменить расстояние между иглами, обратно пропорциональна четвертой степени расстояния, а крутильный момент, стремящийся изменить их взаимную ориентацию, обратно пропорционален третьей степени расстояния. Измерения, проведенные на различных

магнитах, позволили разгадать вид математических формул, описывающих как силы, так и действующие между ними крутильные моменты.

Эти формулы уже не так просты, как формула Кулона, и мы не будем здесь их приводить. Достаточно знать, что в особом случае, когда две иглы, ориентированные параллельно, направлены перпендикулярно соединяющему их отрезку (рис. 11), формула силы взаимодействия имеет вид

$$\mathcal{F}_m = \pm \frac{\mu_1 \mu_2}{r^4},$$

где μ определяет магнетизм данной иглы, при этом знак плюс соответствует параллельной ориентации, а знак минус — антипараллельной.

И еще одно свойство — сила Лоренца. Наверно среди читателей есть те, кто знает, что движущаяся вблизи магнита заряженная частица изменяет направление своего движения. Такой же эффект можно получить, заменив магнит катушкой с текущим в ней током. Это явление довольно широко использовалось и используется. Например, в кинескопе телевизора или мониторе компьютера движение светящейся на экране точки, возникающей от попадающей в эту точку электронов, управляется при помощи катушки с током. Это явление берет свое начало в опытах Ампера, который первый заметил, что проводники с током могут притягиваться или отталкиваться и что магнит можно рассматривать как катушку с током (рис. 12). Фарадей, проводя опыты с подвижными проводниками и магнитами, показал, что сила взаимодействия между магнитом и электрическим зарядом зависит от их относительной скорости, а нидерландский ученый Х. А. Лоренц предложил математическую формулу, описывающую эту силу. Так что на электрон, двигающийся в электрическом поле ядра, действуют две силы: сила Кулона и сила Лоренца.

В особом случае, когда ось электрона ориентирована перпендикулярно вектору скорости, а атомное ядро расположено в его экваториальной плоскости (рис. 13), формула Лоренца имеет следующий вид:

$$\mathcal{F}_L = \frac{v Ze\mu}{c r^3},$$

где μ — магнитный момент электрона, а Ze — электрический заряд ядра. Так как сила Лоренца уменьшается с расстоянием намного быстрее, чем сила Кулона, то ее влияние на движение электрона ограничивается малыми расстояниями от ядра. Сравнивая силу Лоренца с силой Кулона, приходим к заключению, что магнитное поле имеет существенное влияние на движение электрона в поле ядра, если они находятся на расстоянии порядка 10^{-10} см.

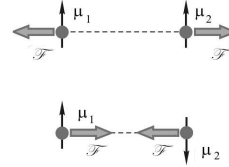


Рис. 11. Магнитное взаимодействие двух электронов (протонов).

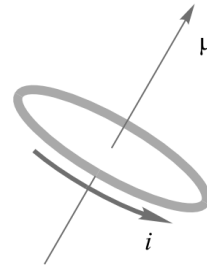


Рис. 12. Электрон (протон) — миниатюрная петля с током.

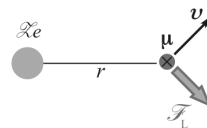


Рис. 13. Сила Лоренца.

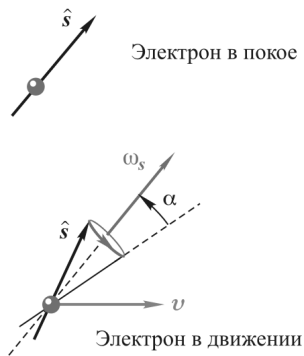


Рис. 14. Угол α — отклонение вызвано процессом ускорения.

Угловая скорость прецессии ω_s равна кинетической энергии электрона E , поделенной на половину постоянной Планка \hbar (рис. 14):

$$\omega_s = \frac{2}{\hbar} E.$$

Переписав эту зависимость несколько в ином виде, получим закон, играющий ключевую роль в мире атома. Будем называть его *законом трансляционной прецессии*:

$$\frac{\Delta\Psi}{\Delta x} = \frac{mv}{\hbar},$$

где $\Delta\Psi$ — угол, на который поворачивается ось электрона на пути Δx (рис. 15). То, что электрон, имеющий свойства магнитной иглы, перемещается, “танцуя вальс”, а не “шагает”, находит свое отражение в его переменном электрическом поле, изменяющемся в такт оборотам. Сила, происходящая от этого переменного поля и действующая на электрон, который перемещается в поле ядра, в принципе, намного меньше, чем сила Кулона. Тем не менее, эта малая сила является причиной того, что при рассеянии электронов на щели или на крае твердого тела на экране “образуются волны”. В случае электрона, окружающего ядро атома, она является причиной того, что только в некоторых,

Рис. 15. Длина волны де Бройля — это отрезок пути, на котором ось электрона совершает один полный оборот.

исключительных случаях движение электрона может быть стационарно — это значит, что как размер, так и форма электронной орбиты могут быть все время одни и те же. Эта переменная составляющая электрического поля электрона связана с трансляционной прецессией его оси, которую можно идентифицировать с волновым полем электрона — это поле, которое долгие годы искал

Электрон (протон) не “идет”, а “танцует” — и танцует он вальс! В тот момент, когда электрону была приписана ось, возникла проблема — а как ведет себя ось электрона, когда тот перемещается в пространстве? Физики тридцатых годов ушедшего века приняли, что при свободном перемещении в пространстве ориентация оси электрона жестко фиксирована — остается неизменной. Но это было ошибкой! Ошибкой с далеко идущими последствиями, так как этот способ описания электрона закрыл путь к преодолению корпускулярно-волновой дилеммы, возникшей на фоне открытия де Бройля. А загадку волновых свойств электрона можно было просто разрешить, предположив, что *перемещения электрона внутренне связаны с прецессией его спиновой оси, причем угловая*

де Бройль, и скрывается за таинственным квантованием энергии, открытым Планком.

Числа, определяющие элементарную частицу. Согласно с тем, что было сказано выше, как электрон, так и протон — это объекты, которые подчинены законам классической динамики, которые сформулировали Ньютон и Эйлер, объекты, которые взаимодействуют согласно закону Кулона и силе Лоренца. Но очевидно, не всякий объект, удовлетворяющий этим критериям, — это электрон (протон). Чтобы идентифицировать рассматриваемый объект, нужно еще определить величину коэффициентов, присутствующих в математических формулах, описывающих свойства этого объекта. Эти коэффициенты — это масса, электрический заряд, кинетический момент (спин) и магнитный момент. В системе единиц СГСЭ они соответственно имеют величину:

	Масса	Электрический заряд	Спин	Магнитный момент
Электрон	m	$-e$	$\frac{1}{2}\hbar$	$-\mu$
Протон	$1836 \cdot m$	$+e$	$\frac{1}{2}\hbar$	$2,79 \cdot \mu/1836$

$$\begin{aligned} \text{где } m &= 9,109 \cdot 10^{-28} \text{ г,} \\ e &= 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ дин}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{см,} \\ \hbar &= 1,055 \cdot 10^{-27} \text{ дин} \cdot \text{см} \cdot \text{с,} \\ \mu &= 9,285 \cdot 10^{-21} \text{ дин}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{см}^2. \end{aligned}$$

Послесловие от ред.: Такое представление об элементарных кирпичиках вещества — электроны и протоне, о *физической сущности* давно введенного и широко используемого физического понятия — ‘спина’ открыло путь к познанию подлинной динамической структуры атома. Грызинский открыл нам совершенную красоту Природы: изумительную упорядоченность в пространстве и идеальную согласованность во времени, глубочайшую рациональность организации динамической архитектуры микромира. Неудивительно, что некоторые современные нобелевские лауреаты стали публично высказывать свое недовольство квантовыми теориями (Р. Б. Лафлин) и с уверенностью говорить о том, что “*дни квантовой теории могут быть сочтены*” (Э. Легетт).

Перед современной физической Теорией стоит глобальная задача переосмысления своих представлений об атомном мире и о мире в целом со всеми вытекающими последствиями, касающимися логики и методологии научных исследований, рассуждений и расчетов, а главное — своих взаимоотношений с Экспериментом. Теория, которая только “объясняет” и “интерпретирует”, но фактически беспомощна по части существенных предсказаний, ибо не руководствуется экспериментом и не исходит из эксперимента, не может претендовать на роль Инструмента для открытия новых, неизведанных свойств и явлений окружающего нас мира. Она не может способствовать прогрессу в процессе познания. На это в свое время настоятельно обращал внимание научного сообщества выдающийся ученый XX века П. Л. Капица (см.: Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика. Статьи, выступления. 3-е изд., доп. — М.: Наука, 1981).