

### 7.11. Спин ядра «электрона»

Итак, мы пришли к выводу, что основная часть инертной и напряженной массы элементарных «частиц» сосредоточена в периферийной области их ядер, что делает ближайшую к внутренней границе ракии периферийную область ядра наиболее плотной и быстро вращающейся, т. е. на крайне периферийной области ядра имеет место сферообразная «твердая скорлупа». Интересно, что данное обстоятельство позволяет решить проблему спина элементарных «частиц», и в частности осознать суть этого понятия.

Напомним вначале, в чем эта проблема состояла. Физики начала XX столетия предполагали, что электрон – это электрически заряженный шарик. Радиус этого шарика определялся посредством приравнивания его потенциальной электрической энергии и собственной энергии покоя

$$e^2/(4\pi \varepsilon_0 r_e) = m_e c^2, \quad (7.126)$$

где  $e$  – заряд электрона;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная.

Из (7.126) следует

$$r_e = e^2/(4\pi \varepsilon_0 m_e c^2) \approx 2,81 \cdot 10^{-13} \text{ см}. \quad (7.127)$$

Если электрон – это электромагнитный шарик, то его момент инерции должен быть равен

$$J = (2/5) m_e r_e. \quad (7.128)$$

При этом собственный момент импульса такого электрона задается выражением

$$L_s = J\omega = Jv_\tau / r_e, \quad (7.129)$$

где  $\omega = v_\tau / r_e$  – угловая скорость вращения.

Приравняем теперь момент импульса (7.129) к спину электрона, с учетом (7.128) получим

$$(2/5) m_e r_e v_\tau = \hbar \sqrt{3}/2, \quad (7.130)$$

где  $\hbar$  – постоянная Планка.

*Напомним, что согласно квантовой механике, модуль собственного момента импульса электрона (т.е. спина) равен*

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)} = \hbar \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar$$

Из выражения (7.130) можно получить оценку для скорости вращения внешней сферы такого электрона

$$v_\tau = \sqrt{3} 5\hbar / (4 m_e r_e) \approx 350 c. \quad (7.131)$$

То есть согласно классическим представлениям скорость точки, находящейся на поверхности такой частицы должна в 200 раз превышать скорость света, что находится в очевидном противоречии с общей теорией относительности, гласящей, что в физическом мире невозможны процессы со скоростями, превышающими скорость света.

Вернемся к рассматриваемой модели ядра «электрона» (рис. 5.15). Если вся инертная масса «электрона» в среднем сосредоточена в периферийной сферообразной области его ядра, то мгновенное значение момента импульса такого ядра можно оценить следующим образом. Момент импульса полой сферы с усредненным радиусом  $r_e \approx 2 \cdot 10^{-13}$  см, вращающейся вокруг мгновенной оси, с учетом релятивистского изменения инертной массы может быть задано приближенным выражением [30]:

$$L_s \approx \kappa_e m_e r_e v_\tau / (1 - v_\tau^2/c^2)^{3/2}, \quad (7.132)$$

где  $\kappa_e$  – числовой коэффициент, связанный с толщиной и формой вращающейся фигуры. Приравняем это выражение спину электрона

$$\kappa_e m_e r_e v_\tau / (1 - v_\tau^2/c^2)^{3/2} = \hbar \sqrt{3}/2, \quad (7.133)$$

откуда получим усредненную скорость вращения полой фигуры сферообразной формы вокруг мгновенной оси

$$v_r = c/(1 + c^2/\alpha^2)^{1/2}, \quad (7.134)$$

где

$$\alpha = \sqrt{3} \hbar / (2 \kappa_e m_e r_e). \quad (7.135)$$

Подставляя числовые значения

$$\begin{aligned} \kappa_e &\approx 10^2, & r_e &\approx 2,81 \cdot 10^{-15} \text{ м}, & m_e &\approx 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}, \\ \hbar &\approx 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, & c &= 2,99 \cdot 10^8 \text{ м/с}, \end{aligned}$$

в (7.134) и (7.135), получим числовую оценку

$$v_r \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx c. \quad (7.136)$$

Таким образом, в периферийном слое ядра «электрона» (и др. элементарных «частиц»)  $\lambda_{-12 \div -16}$ -вакуум движется со скоростью, близкой к скорости света. Однако для любого наперед заданного направления мгновенная ось усредненного вращения часть времени совпадает с этим направлением, а другая равная ей часть противоположна этому направлению, поэтому у ядра свободного, покоящегося «электрона» собственный момент импульса для любого направления в среднем равен нулю

$$\langle ? \hbar + (- ? \hbar) \rangle / 2 = 0. \quad (7.138)$$

Из-за этого, не смотря на то, что мгновенный собственный момент инерции ядра покоящегося «электрона» равен  $? \hbar$ , его усредненный собственный момент всегда равен нулю.

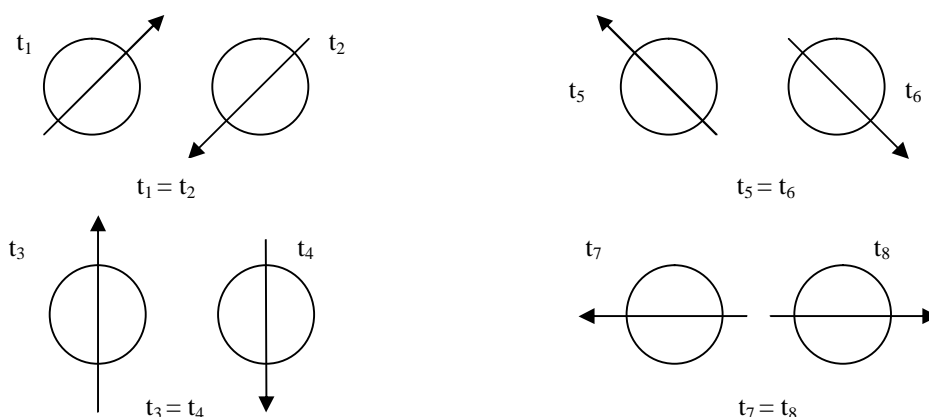


Рис. 7.15.1. Ось вращения ядра покоящегося «электрона» прецессирует таким образом, что она равное количество времени направлена в различные направления  $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5 = t_6 = t_7 = t_8 = \dots = t_n$ . Следовательно, промежутки времени в которых ось вращения направлена во взаимно противоположные стороны так же равны  $t_1 = t_2, t_3 = t_4, t_5 = t_6, t_7 = t_8, \dots, t_n = t_{n+1}$ . С этим связана природа коэффициента  $?$  перед постоянной Планка  $\hbar$ . Данные обстоятельства и определяют суть понятия «спин» ядра покоящегося «электрона».

Рассмотренная модель очень примитивна, но позволяет осознать характер и скорость процессов, протекаемых на периферии ядер элементарных «частиц». Точнее, мы с удивлением осознаем, что на внутренней и внешней границах ракии, т. е. с двух сторон сферообразной бездно-трещины (названной в ТОРЕ небом), отделяющей ядро «частицы»/«античастицы» (малых вод) от ее внешней оболочки (больших вод), субконт-антисубконтные потоки протекают со скоростями, близкими к скорости света. При этом мы обнаруживаем, что в ядрах элементарных частиц содержится огромная энергия движения и напряженных деформаций, высвобождение которой и из-под гнета мертвого объёма ракий (бездно-трещин) и входит в задачи ученого кабалиста.

Тому, что здесь в сумятице упомянуто о ядре «электрона», нужно посвятить отдельные монографии, соизмеримые по объему с данной книгой. Лишь тогда мы начнем в тонкостях «осознать» процессы, протекаемые в ядрах элементарных «частиц». Пока же мы «смотрим» на ядро «электрона» через мутный слой недопонимания, с помощью далекой от совершенства математики. И все же мы уже что-то начинаем распознавать!

Правильная математика в потенции содержит правильную картину физического мира. Не это ли должно удивлять более всего?

### 7.11.1. Модель поведения точечной частицы Ф. Ж. Вильфа [175]

Фернандо Жозевич Вильф в своей книге «Еще раз о спине точечной частицы...» [175] подробно исследовал природу спина элементарных частиц и пришел к следующим выводам:

1. Точечная частица, к какой бы разновидности она ни принадлежала (какой бы массой она ни обладала), не может существовать иначе, как вращаясь по собственной орбите конечного ненулевого радиуса (рис. 7.15.2).

2. Центр собственной орбиты выполняет функции центра инерции точечной частицы, и ему могут быть переадресованы абсолютно все характеристики частицы (включая спин).

3. Собственно-орбитальную скорость частицы необходимо признать самостоятельным (неопределяемым) понятием и приписать ее абсолютному значению величину в корень из трех раз большую, чем скорость света в пустом пространстве. Численное значение каждой из проекций собственно-орбитальной скорости на оси координат при этом точно равно численному значению скорости света.

4. Если описывать вращение точечной частицы по поверхности собственно-орбитальной сферы не прибегая к использованию понятия ускорение, придется считать только одну из трех проекций вектора собственно-орбитальной скорости определенной точно: и по модулю, и по направлению (две другие проекции придется считать определенными только по модулю). Это же касается и собственно-орбитального импульса частицы, поскольку он не является самостоятельным понятием, а пропорционален собственно-орбитальной скорости.

5. Признавая точно определенной лишь одну проекцию вектора собственно-орбитальной скорости, автоматически приходится признавать точно определенной также лишь одну из трех проекций радиус-вектора точки собственно-орбитальной сферы.

6. Точечная частица обладает собственным механическим моментом (спином), абсолютное значение которого оказывается одинаковым для любого инерциального наблюдателя.

Радиус собственной орбиты точечной частицы  $R_0$  (см. рис. 7.5.2) Ф. Ж. Вильф определил следующим образом

$$R_0 = \frac{s\sqrt{3}}{m_0c} = \frac{\sqrt{3}\hbar}{2m_0c} \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ см} \quad (7.138 \text{ а})$$

где  $m_0$  – масса покоя точечной частицы, внешний импульс которой  $P = 0$ ;

$$s = |\vec{s}| = \frac{\hbar}{2} \text{ – модуль спина точечной частицы (см. рис. 7.15.2 а)}$$

$$\vec{s} = R_0 \times m_0 \vec{u}_0 \quad (7.138 \text{ б})$$

Сопоставим результаты, полученные Ф. Ж. Вильфом с представлениями Алсигны о спине ядра электрона, приведенными в предыдущем пункте.

В случае ядра электрона из выражения (7.133) имеем

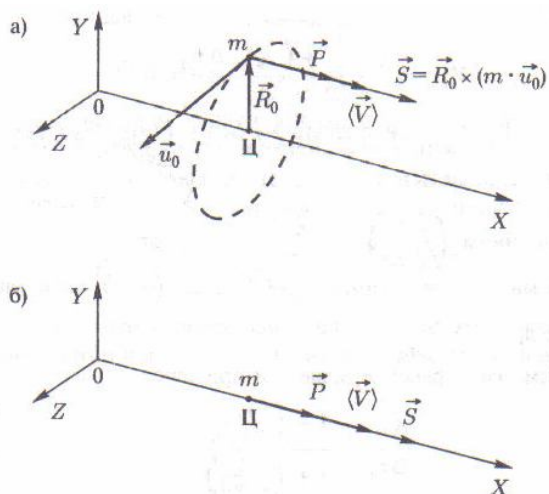


Рис. 7.15.2. Представление о точечной частице [175].

а) Представление, в котором носителем всех своих характеристик является сама частица.

б) Представление, в котором носителем всех характеристик частицы считается ее центр инерции. В этом представлении обладание спином выглядит действительно крайне загадочным;

$$r_e = \frac{\sqrt{3}\hbar}{2k_e m_e c} \approx 2,81 \cdot 10^{-13} \text{ см} \quad (7.138 \text{ в})$$

Сопоставляя (7.138 а) и (7.138 в), обнаруживаем, что при  $r_e = R_0$ ,  $m_e = m_0$  эти выражения практически совпадают. Другими словами модель Ф. Ж. Вильфа точечной частицы обладающей собственным орбитальным моментом импульса (спином) и модель вращающегося ядра элементарной частицы, рассматриваемая Алсигной, практически совпадают.

Отличие этих моделей лишь в том, что у Вильфа вся масса частицы сосредоточена в одной материальной точке (замысловато вращающейся по «орбитальной» сфере с радиусом  $R_0$ ), а в Алсигне масса «покоя» элементарной «частицы» равномерно распределена по периферийному слою ее ядра, форма которого в среднем сходна с формой сферы. То есть, согласно Алсигне, масса «покоя» элементарной частицы размазана по сфере (скорлупе) с радиусом  $r_e = R_0$ , ограничивающей ее ядро. При этом поверхностная плотность массы на этой сфере в среднем равна

$$\rho = m_0 / (4\pi R_0^2) = m_e / (4\pi r_e^2) \quad (7.138 \text{ г})$$

Момент импульса вращающейся вокруг своей оси массивной сферы с поверхностной плотностью массы (7.138 г), эквивалентна моменту импульса точечной частицы с массой  $m_0$ , вращающейся по орбите с тем же радиусом  $R_0$ , вокруг той же оси. Поэтому модельные представления Вильфа и Алсигны в итоге приводят практически к одним и тем же следствиям.

При всем этом, на наш взгляд, модельные представления Алсигны более предпочтительны, поскольку позволяют не только вскрыть природу спина элементарных частиц, но и не противоречиво описать многие другие эффекты микромира.

Вместе с тем необходимо констатировать, что мы не до конца проникли в тайну спина элементарной частицы. Дело в том, что выражение (7.138 а) состоящее только из фундаментальных констант приводит к тому, что радиус ядра «электрона» должен иметь значение

$$r_{яе} = \frac{\sqrt{3}\hbar}{2m_0 c} \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ см} \quad (7.138 \text{ д})$$

что входит в противоречие со значением радиуса ядра «электрона», вытекающего из сопоставления воззрений Алсигны с классическим законом Кулона (см. п. 9.3)

$$r_{пе} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m_0 c^2} \approx 2,81 \cdot 10^{-13} \text{ см} . \quad (7.138 \text{ е})$$

Оба выражения (7.138 д) и (7.138 е) состоят из фундаментальных констант, но приводят к разным результатам. Это и не дает покоя нашему любопытству.

*Предпочтение отдается нами выражению (7.138 е), поскольку из экспериментов известно, что ядро «протона», состоявшее из трех ядер «кварков», имеет размеры порядка  $\sim 10^{-13}$  см. В рамках Алсигны размеры ядер «кварков» соизмеримы с размерами «ядер» электронов (см. гл. 10). Более того, в развиваемой здесь теории «электрон» – это ничто иное, как «е-кварк». Поэтому размеры ядра «электрона» так же должны быть порядка  $\sim 10^{-13}$  см, тогда как расстоянию  $\sim 10^{-11}$  см соответствую уже размерам целых «атомов».*

Попробуем разобраться, в чем мы чувствуем себя уверенно, а в чем нет?

1). Мы уверены, что все элементарные частицы, в том числе «электрон» имеют ядро, «изолированное» от внешнего окружения ракией. Мы уверены, что это ядро элементарных «частиц» вращается вокруг своей оси, которая в отсутствии внешнего воздействия (например, магнитного поля) постоянно хаотически меняет свое направление. То есть ось, вращающегося ядра «электрона», с равной вероятностью может быть направлено в любое направление 3-мерного пространства. Уверенность в это вселяет нас знание, что так устроены практически локальные материальные образования со сферической формой, например: ядра биологических клеток, планеты, галактики...

2). Мы уверены, что периферия на экваторе ядра элементарных «частиц» вращается со скоростью близкой к скорости света. Уверенность в этом придает то обстоятельство, что скорость света  $c \approx 2,99792 \cdot 10^8$  м/с – это максимальная из возможных скоростей в материальном мире. Согласно представлениям Алсигны, ядро элементарной «частицы» – это «выданный» клочок в континуальном «теле» вакуума. Поэтому оно по необходимости пограничной зоны периферия ядра просто обязана перемещаться (вращаться) со скоростью близкой к максимально возможной – т. е. со скоростью света. При этом скорость вращения периферии ядра «электрона» (близкая к скорости света) должна быть одним из основных факторов, определяющих его размеры.

## Глава 7. Элементарные частицы (Стихия «Земля»)

3). Мы уверены в том, что заряд «электрона» равен его экспериментальному значению  $e \approx 1,60219 \cdot 10^{-19}$  Кл. Уверенность в этом связана с очень простым физическим смыслом данной константы. Далее (см. гл. 9) Алсигна устанавливает, что во внешней оболочке «электрона» имеют место два потока: приток субконта и отток анти-субконта. Радиус ракии  $r_{ep}$  (т. е. горловины, пропасти, рис. 7.14), окружающей ядро «электрона», является определяющим параметром т изменение интенсивности этих потоков при удалении от ракии к бесконечности по закону

$$I \cong \frac{e}{4\pi \varepsilon_0} \frac{1}{2r^2} \left( \frac{1}{(1-r_{ep}/r)} + \frac{1}{(1+r_{ep}/r)} \right) = \frac{e}{4\pi \varepsilon_0 r^2 (1-r_{ep}^2/r^2)}, \quad (7.138 \text{ ж})$$

где  $r_{ep}$  – радиус ракии (сферообразной бездно-трещины), окружающей ядро «электрона», куда со скоростью близкой к скорости света втекает субконт, и из которой со скоростью близкой к скорости света вытекает антисубконт.

Согласно (7.138 ж) полная электрическая энергия «электрона» равна

$$E_s = \int_0^\infty I^2 dV \cong \frac{e^2}{16\pi^2 \varepsilon_0^2} \int_0^\infty \frac{1}{(r^2 - r_{ep}^2)^2} 4\pi r^2 dr = \frac{e^2}{4\pi \varepsilon_0^2} \int_0^\infty \frac{r^2}{(r^2 - r_{ep}^2)^2} dr \quad (7.138 \text{ з})$$

Но интеграл в правой части выражения (7.138 з) как это не странно равен нулю

$$\int_0^\infty \frac{r^2}{(r^2 - r_{ep}^2)^2} dr = -\frac{r}{2(r^2 - r_{ep}^2)} + \frac{1}{4r_{ep}} \ln \left| \frac{r - r_{ep}}{r + r_{ep}} \right| \Bigg|_0^\infty = 0 \quad (7.138 \text{ и})$$

Поэтому полная энергия электрических процессов в «электроне» равна нулю

$$E_s = m_s c^2 = 0 \quad (7.138 \text{ й})$$

*Этот результат покажется не таким уж странным, когда позже, при рассмотрении электромагнитных процессов, выяснится, что положительная энергия радиальных составляющих субконтных потоков во внешней оболочке и ядре «электрона», практически полностью компенсирует отрицательную энергию противоположных радиальных антисубконтных потоков. Поэтому полная энергия этих потоков оказывается взаимно скомпенсированной.*

*На самом деле был бы странным обратный результат, поскольку при получении метрик (7.44) - (7.46), описывающих метрико-динамическое состояние неподвижного и невращающегося как целое «электрона», мы положили правую часть уравнения Эйнштейна – Гильберта – Шипова (7.2) равной нулю. Другими словами мы положили, что тензор энергии-импульса (или тензор 4-напряжений) в области занимаемой «электроном» в среднем равен нулю.*

*Полученный результат (7.138 и) и, следовательно, (7.138 й) лишней раз подтверждает, что инертная масса покоя «электрона» связана не с его ламинарными противотоками субконта и антисубконта, а с их не скомпенсированными вращениями в рамках его вращающегося ядра.*

4). Мы умерены, что радиус ядра «электрона» равен классическому радиусу электрона  $r_e \approx r_{ep} \sim 10^{-13}$  см, поскольку ядро «электрона» должно быть соизмеримо с ядрами «кварков», а из экспериментов известно что ядро «протона», состоящее из ядер 3-х «кварков» имеет размер порядка  $\sim 10^{-13}$  см.

Проанализируем теперь: – В чем мы неуверенны?

1). Мы не уверены, что модуль мгновенного значения собственного момента импульса спинирующего (вращающегося) ядра «электрона» равен

$$L_s = \hbar \sqrt{s(s+1)} = \hbar \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar \approx 0,9 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \quad (7.138 \text{ к})$$

Потому, что это значение момента импульса получено из экспериментальных данных при исследовании дублетной структуры спектров щелочных металлов. Так же из опытов по пространственному квантованию (по схеме опытов Штерна и Герлаха) атомов серебра, золота и других атомов. Из опытов с сами свободными электронами подобных экспериментальных данных получено не было.

2). Мы не уверены в том, что вся ли масса покоя «электрона»  $m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг участвует в формировании спина (момента импульса) его ядра. Поскольку наше предположение, что практически вся масса покоя «электрона» сосредоточена во вращающейся периферии (скорлупе) его «ядра», хотя и вполне правдоподобна, но все же гипотеза.

Таким образом, следует рассмотреть три случая:

а). Модуль момента импульса вращающегося ядра «электрона» –  $L_s = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar \approx 0,9 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Масса  $m_m$ , участвующая в формировании спина (момента импульса) его ядра – *не известна?*  
В этом случае из выражения типа (7.138 д)

$$r_e = \frac{\sqrt{3}\hbar}{2m_m c} \quad (7.138 \text{ л})$$

Получим оценку

$$m_m = \frac{\sqrt{3}\hbar}{2r_e c} \approx 1,5 \cdot 10^{-28} \text{ кг} \quad (7.138 \text{ м})$$

где предполагается, что радиус ядра «электрона» примерно равен радиусу его ракии

$$r_e \approx r_{pe} \approx 2 \cdot 10^{-15} \text{ м} \quad (7.138 \text{ н})$$

Данные примитивные рассуждения приводят нас к мысли, что инертная масса вращающегося ядра «электрона»  $m_m$  (связанная с его внутриядерными торсионными полями) должна примерно на два порядка превышать его массу покоя  $m_0$ , характеризующую инертные свойства «электрона» при его перемещении как целого.

б). Модуль момента импульса  $L_s$  вращающегося ядра «электрона» – *не известен?*

Масса  $m_m$ , участвующая в формировании спина (момента импульса) его ядра –  $m_m = m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.  
В этом случае, если считать, что вся масса «электрона»  $m_m \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг сосредоточена на периферии его ядра с радиусом  $r_e \approx 2 \cdot 10^{-15}$  м, которое вращается с линейной скоростью  $v = c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с, получим оценку

$$L_s \sim m_e r_e c \approx 9 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8 \approx 0,54 \cdot 10^{-36} \text{ Дж·с} \quad (7.138 \text{ о})$$

Которая примерно на два порядка меньше чем оценка (7.138 к).

в). Модуль момента импульса  $L_s$  вращающегося ядра «электрона» – *не известен?*

Масса  $m_m$ , участвующая в формировании спина (момента импульса) его ядра – *не известна?*

В этом случае нам нет, на что опереться, и мы должны искать другие доводы в пользу рассматриваемой модели ядра «электрона».

В любом из этих 3-х случаев положиться можно только на эксперимент.

Но на наш взгляд наиболее предпочтительным выглядит второй случай, приводящий к оценке модуля момента импульса вращающегося ядра «электрона»  $L_s \sim 0,54 \cdot 10^{-36}$  Дж·с, при неизменных константах  $m_m \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг,  $r_e \approx 2 \cdot 10^{-15}$  м,  $c \approx 3 \cdot 10^8$  м/с. При этом получается согласованная картина с электрическими свойствами «электрона» (7.138 е).

Таким образом, мы остановились на том, что момент импульса спинирующего ядра «электрона» должно описываться выражением:

$$L_s = \lambda \sqrt{s(s+1)} = \lambda \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + 1 \right)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \lambda \approx 0,54 \cdot 10^{-36} \text{ Дж·с} \quad (7.138 \text{ п})$$

где

$$\lambda \approx \frac{2}{\sqrt{3}} 0,54 \cdot 10^{-36} \approx 0,62 \cdot 10^{-36} \text{ Дж·с} \quad (7.138 \text{ р})$$

– постоянная играющая роль постоянной Планка для внутриядерных процессов.

### 7.11.2. Спин в квантовой механике [127]

Говорят, что первая мировая война была войной химиков, а вторая мировая война стала войной физиков [137].

Спин иногда считают самой «квантовомеханической» из всех физических величин. По существу, спин – это мера, характеризующая вращение частицы вокруг собственной оси. В английском языке слово *spin* означает «вращение».

Однако спин элементарных частиц обладает некоторыми весьма экстравагантными свойствами, – совсем не такими, которые мы могли бы ожидать исходя из опыта исследований вращения макроскопических шарообразных предметов.

Прежде всего, для элементарных частиц определенного типа величина спина всегда оказывается одной и той же. Изменяться может только направление спина, причем очень странным, с точки зрения макроскопической физики, образом.

В отличие от, например, шарика для настольного тенниса, вращение которого может быть запущено как угодно сильно или слабо в зависимости от исходного толчка, для электрона, протона и нейтрона величина спина всегда равна одной и той же величине  $\hbar/2$ . Элементарные частицы со спином, равным нечетному кратному от  $\hbar/2$  (т. е.  $\hbar/2, 3\hbar/2, 5\hbar/2 \dots$ ) называются фермионами.

Для определенности будем называть исследуемую частицу со спином  $\hbar/2$  – электрон, и покажем, как квантовой механике удастся описать данное странное поведение этой частицы.

Во-первых, для любого наперед заданного направления в 3-мерном пространстве можно обнаружить, что электрон вращается либо в одном, либо в противоположном направлении. Для отражения данного факта в квантовой механике вводятся два вектора состояния. Например, относительно вертикальной оси спин электрона может быть направлен вверх и обозначаться вектором в гильбертовом пространстве  $|\uparrow\rangle$  или вниз и тогда его состояние задается вектором  $|\downarrow\rangle$ . Состояния спина  $|\uparrow\rangle$  и  $|\downarrow\rangle$  взаимно ортогональны и нормированы, т. е.  $|\uparrow|^2 + |\downarrow|^2 = 1$ . При этом любое возможное состояние спина электрона можно представить в виде суперпозиции этих ортонормированных векторов  $w|\uparrow\rangle + z|\downarrow\rangle$  (где  $w$  и  $z$  – весовые коэффициенты, в общем случае комплексные числа).

Нужно сказать, что в состояниях *спин вверх* и *спин вниз* нет ничего особенного. С таким же успехом мы могли за основу взять ортонормированные вектора состояний  $|\rightarrow\rangle$  – *спин вправо* и  $|\leftarrow\rangle$  – *спин влево*. Между этим различными описаниями имеется однозначная связь [127]

$$|\rightarrow\rangle = (?)^? |\uparrow\rangle + (?)^? |\downarrow\rangle$$

$$|\leftarrow\rangle = (?)^? |\uparrow\rangle - (?)^? |\downarrow\rangle$$

Точно так же спин частицы в любом другом направлении может быть описан в тех же терминах, например

$$|\nearrow\rangle = w|\uparrow\rangle + z|\downarrow\rangle$$

$$|\swarrow\rangle = w|\uparrow\rangle - z|\downarrow\rangle$$

Как все это связано с измерениями, которое можно было бы произвести над спином электрона? Выберем некоторое направление в пространстве и обозначим его  $\alpha$ . Если мы измеряем спин в этом направлении, то ответ «да» означает, что электрон действительно вращается слева направо вокруг этого направления  $\alpha$ . А ответ «нет» означает, что электрон вращается слева направо вокруг направления противоположного направлению  $\alpha$ . В следующий момент времени эксперимент показывает, что ось вращения меняется на направление  $\beta$ , причем вероятность этого события равна [127]

$$? (1 + \cos\theta)$$

где  $\theta$  – угол между направлениями  $\alpha$  и  $\beta$

А вероятность этого, что в следующий момент времени спин окажется в обратном направлении  $\beta$ , равна

$$? (1 - \cos\theta)$$

Вся эта диковинная алгебра ортонормированных векторов состояний в гильбертовом пространстве вырисо-

---

вывает картину, с которой не как не может согласиться рассудок, воспитанный на физических примерах макромира. Все выглядит так, как если бы ось вращения ядра покоящегося электрона постоянно хаотически изменяло свое направление во все возможные стороны 3-мерного пространства. При этом каждое ее мгновенное направление является равновероятным. Однако усредненный момент вращения ядра электрона относительно любого мгновенного направления оси вращения всегда остается постоянным.

Не один шарообразный объект в макромире, как кажется на первый взгляд, не может вести себя подобным образом. Чтобы, например, изменить направление оси вращения макроскопического тела необходимо приложить к нему стороннюю силу и порой не малую. Попробуйте, например, изменить направление оси вращения нашей планеты. Это и отличает спин ядер элементарных частиц от вращения макроскопических тел. Хотя на самом деле оси вращения планет и звезд медленно, но прецессируют и по весьма замысловатой траектории, слабо напоминающей эллипс. Поэтому при более детальном рассмотрении выясняется, что поведение объектов микромира не слишком то отличаются от реальности космических масштабов.

У квантовой механики нет ядер элементарных частиц, поэтому она делает спин весьма таинственной и темной характеристикой материи, но при этом суть этого явления ей удается передать правильно. То-то и удивляет, что рассудок человека настолько изворотлив, что порой оказывается в состоянии описать очевидное явление весьма экстравагантными методами, перенося, однако правильно картину происходящего в искаженную плоскость восполненного восприятия.