Министерство образования Республики Беларусь

Могилевский государственный университет продовольствия

А.Н. СПАСКОВ

ОПИСАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В МОДЕЛИ РАСШИРЕННОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

(Спасков А.Н. Описание внутреннего движения электрона в модели расширенной теории относительности / Могилев, 2003. – 25с.. – Деп. в БелИСА 13.08.03. - №Д200366)

Могилев 2003

1. Введение

Кризис в современной физике становится всё более очевидным. Истинные причины кризиса выходят далеко за пределы чисто физической науки и коренятся в фундаментальных представлениях о структуре мира. Становится всё более ясным, что физика в результате своего экстенсивного развития вышла на рубеж более глубокой объективной реальности, которая не поддаётся адекватному описанию на языке традиционных понятий и представлений.

Если говорить об экспериментальной физике, то, прежде всего, следует сказать о кризисе макроскопического восприятия. Органы наших чувств и самые точные приборы слишком грубы для субмикромира. Принцип неопределённости Гейзенберга установил непреодолимый барьер для измерений и "зерно истины" оказалось слишком малым и крепким для "зубов" экспериментатора. Как известно, предыдущий кризис заключался в утрате целостного восприятия квантового объекта. При этом оставалась возможность измерения каждого из его параметров в отдельности. Теперь же не остаётся и этой возможности. Не за что вообще ухватиться и "планковский мир" скрыт в "ящике за семью печатями", который принципиально невозможно раскрыть в обозримом будущем. Кантовская "вещь в себе" воплотилась в субэлементарной частице.

В период формирования квантовой теории недостаток эксперимента пришлось восполнять достоинствами теории. Ценой огромных интеллектуальных усилий был найден обходной путь, но при этом пришлось пожертвовать определённостью и непосредственностью описания. Квантовый объект был загнан в "чёрный ящик" волновой функции и искусство теоретика стало заключаться в правильной формулировке вопросов на входе и в правильной интерпретации ответов на выходе. Парадоксально, но факт, что квантовая теория пытается описать внутреннюю структуру элементарных частиц принципиально отказываясь от описания их внутренних движений. Ещё один парадокс заключается в том, что чем более элементарный объект пытается описать квантовая механика, тем более сложным и трудоёмким становится описание и эта тенденция принимает угрожающий характер. Границы такого описания становятся непреодолимыми и налицо кризис теоретической физики.

Очевидно, что для выхода из тупика необходимы новые пути. При этом начинать следует с анализа и расширения фундаментальных представлений. Один из таких подходов и предлагается в данной работе.

2. Волновая функция в модели циклического времени

Рассмотрим динамическую модель элементарной частицы, в которой внутреннее состояние частицы характеризуется энергией E_S и внутренним временем τ. При этом τ будет иметь циклический характер и задаётся в виде:

$$\tau = t_0 \varphi, \tag{1}$$

где φ - фаза, характеризующее внутреннее состояние частицы, а t_0 - временной радиус кривизны, определяемый из соотношения:

$$E_S \cdot t_0 = \frac{\hbar}{2} \tag{2}$$

Как видно, в этой модели используется представление о дополнительной степени свободы и идея Калуцы-Клейна о компактификации дополнительных измерений в приложении ко времени. При такой компактификации внутреннее время будет иметь замкнутый характер и будет проявляться на масштабах, определяемых энергией E_S.

Для того, чтобы перейти к внешнему макроскопическому времени t, придадим следующий смысл соотношению (1).

Если ввести линейное время $\vec{t}$, которое соответствует однонаправленному течению времени лабораторной системы отсчёта, то фазу φ можно интерпретировать как угол наклона радиус-вектора $\vec{t}_0$ к внешнему времени $\vec{t}$. При этом, поворот на угол $\varphi = \frac{\pi}{2}$ будет соответствовать изменению циклического времени на величину $\Delta\tau = \frac{\pi}{2} t_0$ и сдвигу во внешнем времени на величину $\Delta t = t_0$, откуда получим связь между циклическим временем τ и внешним временем t:

$$t = \frac{2}{\pi}\tau \tag{3}$$

Проиллюстрируем эту связь следующим рисунком:

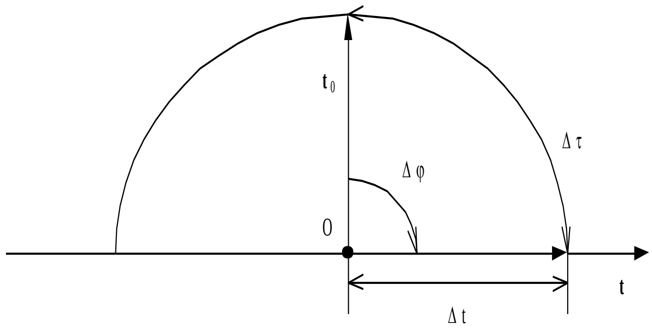

Рисунок 1

При таком определении течение внешнего времени t будет обусловлено изменением циклического времени τ с характерной циклической частотой $\omega = \frac{1}{t_0}$ и периодическому изменению фазы внутреннего времени на величину $\Delta\varphi = 2\pi$ будет соответствовать периодический сдвиг внешнего времени на величину

$$\Delta t = \frac{2}{\pi} T, \tag{4}$$

где $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi t_0$ - период циклического времени.

Таким образом, периоду изменения внутреннего циклического времени Т будет соответствовать изменение внешнего однопараметрического времени на величину

$$\Delta t = 4t_0 \tag{5}$$

и модель такого циклического времени выражает собой по сути модель "квантовых часов" с характерным периодом $T=2\pi t_0$, который обусловлен некоторым внутренним периодическим процессом. Правомерность такой модели следует из предположения о том, что любой квантовый объект характеризуется некоторым внутренним движением, динамика которого определяется планковским действием h. В данном случае величина t_0 определяется из постулированного выше соотношения (2), в котором квантовый объект характеризуется некоторой внутренней энергией E_S.

Рассмотрим далее квантовомеханическое представление внутреннего состояния частицы и характеризуем это состояние волновой функцией

$$\Phi = e^{-i\frac{2E_S \cdot \tau}{\hbar}} \tag{6}$$

Выражение (6) с учётом соотношений (1) и(2) примет вид:

$$\Phi(\varphi)=e^{-i\varphi} \tag{7}$$

и определяет по сути некоторое состояние квантового объекта во внутреннем фазовом пространстве. При этом фаза состояния задаётся соотношением

$$\varphi = \frac{\tau}{t_0} = \frac{2E_S \cdot \tau}{\hbar} \tag{8}$$

3. Соотношение неопределённости и интерпретация волновой функции как "функции наблюдаемости"

Вид функции (6) позволяет ввести операторы энергии и времени и свести задачу определения энергии и времени к задаче на собственные значения. При этом, как это обычно делается в квантовой механике, смысл наблюдаемых величин мы будем придавать действительным собственным значениям. Введём оператор энергии следующего вида:

$$\widehat{E} = \frac{\hbar}{2}\frac{\partial}{\partial\tau} \tag{9}$$

Действуя этим оператором на функцию (6), получим следующее соотношение:

$$\widehat{E}\Phi = -iE_S\Phi \tag{10}$$

Для того, чтобы избавится от мнимой единицы, используем комплексное представление $-i = e^{-i\frac{\pi}{2}}$ и, учитывая выражение (7), перепишем соотношение (10) в виде:

$$\widehat{E}\Phi(\varphi) = E_S\Phi(\varphi) \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}} = E_S\Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) \tag{11}$$

Как видно, в данном представлении действие оператора энергии сводится к умножению на действительный множитель E_S и сдвигу фазы волновой функции на $\frac{\pi}{2}$. Если учесть, что сдвиг фазы волновой функции на $\frac{\pi}{2}$ эквивалентен в нашем представлении сдвигу во внешнем времени на $\Delta t = t_0$, то соотношению (11) можно придать смысл соотношения неопределённости. Для этого определим комплексную энергию, характеризующую состояние системы в следующем виде:

$$E=E_S\cdot e^{-i\varphi} \qquad (12)$$

Как видно, действительные значения энергии будут лежать в пределах $-E_S \le E \le E_S$. Если переписать далее оператор (9) в виде:

$$\hat{E}=\frac{\hbar}{2t_0}\frac{\partial}{\partial\varphi}\ , \qquad (13)$$

то соотношение (11) примет вид:

$$\frac{\hbar}{2t_0}\frac{\partial e^{-i\varphi}}{\partial\varphi}=E_S e^{-i(\varphi+\frac{\pi}{2})}\ , \qquad (14)$$

откуда

$$\frac{\hbar}{2t_0}e^{-i(\varphi+\frac{\pi}{2})}=E_S e^{-i(\varphi+\frac{\pi}{2})}\ , \qquad (14')$$

Соотношение (14) формально напоминает выражение (2), но смысл его будет другим. Рассмотрим например волновую функцию в начальной фазе $\varphi_0=-\frac{\pi}{2}$. В этом случае соотношение (14) будет определять изменение фазы от $\varphi_0=-\frac{\pi}{2}$ до $\varphi=\varphi_0+\frac{\pi}{2}=0$. При этом, действительное значение энергии (12) изменится от $E_0=0$ до $E=E_S$ (т.е. $\Delta E=E_S$). Кроме того произойдёт сдвиг во внешнем времени на величину $\Delta t=t_0$. Таким образом, соотношению (14) можно придать следующий вид:

$$\Delta E\cdot\Delta t=\frac{\hbar}{2}, \qquad (15)$$

который эквивалентен соотношению неопределённости.

Смысл соотношения (15) заключается в том, что в процессе определения собственного значения энергии E_S, действительная составляющая комплексной энергии системы (12) изменяется на величину $\Delta E=E_S$ и этот процесс происходит в течении времени $\Delta t=t_0$.

Заметим, что соотношение (15) выражает собой лишь некоторую формальную неопределённость, соответствующую данному представлению внутреннего состояния системы. Оно выражает собой тот факт, что при данном представлении внутреннего состояния, квантовой системе нельзя одновременно приписать действительные значения энергии и времени, т.к. процесс определения энергии сопровождается изменением времени.

Введём далее оператор циклического времени $\hat{\tau}$, который, используя выражение (1), представим в следующем виде:

$$\hat{\tau} = t_0 \cdot \hat{\varphi}, \tag{16}$$

где действие оператора $\hat{\varphi}$ сводится к определению фазы волновой функции:

$$\hat{\varphi} e^{-i\alpha} = \alpha \cdot e^{-i\alpha} \tag{17}$$

и, следовательно

$$\hat{\tau}\Phi(\varphi) = t_0 \varphi \Phi(\varphi). \tag{18}$$

Получим далее коммутационные соотношения для операторов энергии и циклического времени, используя выражения (11) и (18). Для этого найдём:

$$\hat{E}\hat{\tau}\Phi(\varphi) = t_0 \varphi \hat{E}\Phi(\varphi) = \varphi t_0 E_S \Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) \tag{19}$$

и, соответственно:

$$\hat{\tau}\hat{E}\Phi(\varphi) = E_S \hat{\tau}\Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) = (\varphi + \frac{\pi}{2}) E_S t_0 \Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) \tag{20}$$

Таким образом,

$$(\hat{E}\hat{\tau} - \hat{\tau}\hat{E})\Phi(\varphi) = -\frac{\pi}{2}\frac{\hbar}{2}\Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) \tag{21}$$

Учитывая, что $\Phi(\varphi + \frac{\pi}{2}) = -i\Phi(\varphi)$, соотношение (21) примет вид:

$$(\hat{E}\hat{\tau} - \hat{\tau}\hat{E})\Phi(\varphi) = i\frac{\pi}{2}\frac{\hbar}{2}\Phi(\varphi). \tag{21'}$$

Если, используя выражение (3) ввести оператор внешнего времени

$$\hat{t} = \hat{\tau}\frac{2}{\pi}, \tag{22}$$

то соотношение (21') примет следующий вид:

$$(\hat{E}\hat{t} - \hat{t}\hat{E})\Phi(\varphi) = i\frac{\hbar}{2}\Phi(\varphi). \tag{23}$$

Как видно, соотношение (23) имеет вид, аналогичный соотношениям неопределённости Гейзенберга. Но если соотношения Гейзенберга характеризуют макроскопические процессы измерения наблюдаемых физических величин, то данное соотношение определяет внутреннее состояние квантового объекта.

4. Определение спина частицы, как "собственного момента энергии"

Вид оператора (13) напоминает вид оператора момента импульса в сферических координатах. В самом деле, если ввести оператор

$$\widehat{l}_z = -it_0\widehat{E} = -i\frac{\hbar}{2}\frac{\partial}{\partial\varphi}, \qquad (24)$$

то получим:

$$\widehat{l}_z\Phi(\varphi) = \frac{\hbar}{2}\Phi(\varphi)$$
$$\qquad (25)$$
$$\widehat{l}_z\Phi^*(\varphi) = -\frac{\hbar}{2}\Phi^*(\varphi).$$

Таким образом, действие оператора $\widehat{l}_z$ сводится к нахождению собственных значений $l_z = \pm\frac{\hbar}{2}$, соответствующим собственным моментам частицы с полуцелым спином.

Очевидно, что представление о собственном моменте частицы следует непосредственно из принятого ранее соотношения (2), если интерпретировать его как определение абсолютной величины момента энергии во времени. При этом внутреннее состояние частицы будет характеризоваться вектором энергии $\vec{E}_s$, который направлен по касательной к временной окружности радиуса t_0 и вращается с угловой скоростью $\omega = \frac{1}{t_0}$. Проиллюстрируем это представление в виде рисунка:

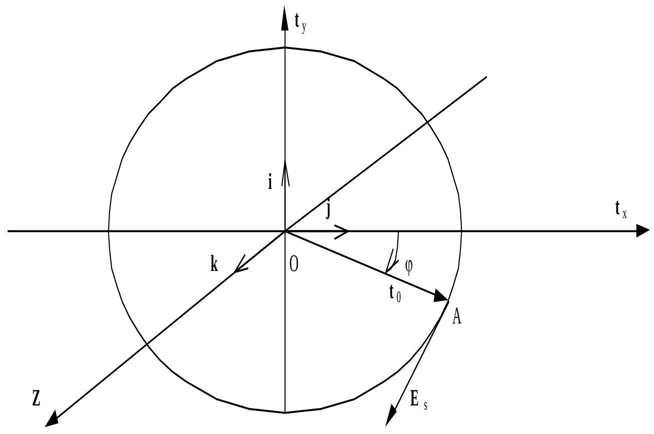

Рисунок 2

На этом рисунке состояние частицы характеризуется фазовой точкой A, которой соответствует радиус-вектор $\vec{t}_0$ и вектор энергии $\vec{E}_s$. Окружность, по которой движется фазовая точка, лежит в плоскости (t_x,t_y), где направление $\vec{t}_x$ соответствует направлению макроскопического времени $\vec{t}$. Если ввести ортонормированный базис $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ таким образом, что орты $\vec{i}$ и $\vec{j}$ будут характеризовать соответственно направления времени t_x и t_y, а орт $\vec{k}$ - направление оси, перпендикулярной плоскости (t_x,t_y), то в данном представлении можно определить собственный момент частицы:

$$\vec{l}_z = [\vec{E}_s \cdot \vec{t}_0] = \frac{\hbar}{2}\vec{k}. \tag{26}$$

Соотношения (25) можно записать в матричном виде. Для этого введём спинор

$$\Psi = \begin{pmatrix} \Phi \\ \Phi^* \end{pmatrix} \tag{27}$$

и определим матричный оператор

$$\hat{S}_z = \hat{l}_z \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{28}$$

Из выражений (27) и (28) следует, что

$$\hat{S}_z \Psi = \begin{pmatrix} \frac{\hbar}{2}\Phi \\ -\frac{\hbar}{2}\Phi^* \end{pmatrix}. \tag{29}$$

Таким образом, оператор (28) можно представить в виде:

$$\hat{S}_z = \frac{\hbar}{2}\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} = \frac{\hbar}{2}\hat{\sigma}_z, \tag{30}$$

где $\hat{\sigma}_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ - спиновая матрица Паули.

Определим теперь вид оператора собственного момента в декартовом представлении. Рассмотрим волновую функцию следующего вида:

$$\Phi_t = e^{-i\frac{2\vec{E}_s \cdot \vec{t}_0}{\hbar}} = e^{-i\frac{2}{\hbar}(E_{sx}t_{0x} + E_{sy}t_{0y})}. \tag{31}$$

Т. к. скалярное произведение $\vec{E}_s \cdot \vec{t}_0 = 0$, то $\Phi_t = e^{-i0} = 1$ и волновая функция Φ_t является элементом унитарной абелевой группы $U(1) = e^{i\alpha}$ с параметром $\alpha=0$. Это соответствует тому, что функция (31) описывает внутреннее состояние частицы.

Введём операторы энергии и времени следующего вида:

$$\hat{E}_x = -i\frac{\hbar}{2}\frac{\partial}{\partial t_x}, \ \hat{t}_x = t_x$$
$$\hat{E}_y = -i\frac{\hbar}{2}\frac{\partial}{\partial t_y}, \ \hat{t}_y = t_y \tag{32}$$

и определим оператор собственного момента:

$$\hat{l}_z = \hat{E}_x\hat{t}_y - \hat{E}_y\hat{t}_x. \tag{33}$$

Найдём собственные значения этого оператора, учитывая, что в соответствии с нашим представлением (См. рис. 2):

$$t_{0x} = t_0 \cdot \cos\varphi \ ; \ \ t_{0y} = -t_0 \cdot \sin\varphi$$
$$E_{sx} = -E_s \cdot \sin\varphi; \ \ t_{0y} = -E_s \cdot \cos\varphi \tag{34}$$

Таким образом

$$\hat{l}_z\Phi_t = E_s t_0(\sin^2\varphi + \cos^2\varphi)\Phi_t = \frac{\hbar}{2}\Phi_t \tag{35}$$

$$\hat{l}_z \Phi^*{}_t == -\frac{\hbar}{2} \Phi^*{}_t .$$

Как видно, соотношения (35), определяющие действие оператора $\hat{l}_z$ в декартовом представлении на волновую функцию Φ_t, эквивалентны соотношениям (25), которые определяют действие оператора $\hat{l}_z$ в полярном представлении на волновую функцию Φ_τ.

Таким образом, введение дополнительной временной степени свободы позволяет описать собственный момент частицы. Такое описание согласуется с теорией спина Паули, но при этом представление о внутренней степени свободы приобретает реальный физический смысл и имеет наглядное представление, что видно из рисунка 2. Спин частицы в данном случае определяется как момент вектора энергии $\vec{E}_s$, который вращается во временной плоскости (t_x,t_y) с угловой скоростью $\omega = \frac{1}{t_0}$. Итак, определим спин частицы как аксиальный вектор

$$\vec{S} = [\vec{E}_s \cdot \vec{t}_0], \tag{36}$$

который будет иметь две проекции $S_z = \pm \frac{\hbar}{2}$ на ось z в зависимости от направления вектора $\vec{E}_s$.

5. Описание внутреннего движения частицы в модели расширенной теории относительности

Придадим теперь оси z смысл пространственной степени свободы. Для этого введём новый параметр

$$v_\tau = c \cdot \sin\varphi \tag{37}$$

и придадим ему смысл скорости, характеризующей движение частицы вдоль пространственной оси z.

$$v_\tau = \frac{dz}{d\tau} \tag{38}$$

В определении (37) используется вариант расширенной теории относительности, в котором поворот оси времени движущейся со скоростью v системы отсчёта относительно оси времени неподвижной системы задаётся соотношениями

$$\sin\varphi = \frac{v}{c} \tag{39}$$

и

$$\cos\varphi = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{40}$$

При этом, релятивистский множитель (40), определяющий изменение масштабов движущейся системы, при углах $\frac{\pi}{2} \langle \varphi \langle \frac{3\pi}{2}$ становится отрицательным. Это соответствует переходу временных и пространственных масштабов в область отрицательных значений. Для того, чтобы придать физический смысл этим величинам, их можно интерпретировать, как "ненаблюдаемые", аналогично тому, как это делается для мнимых величин в известных вариантах расширенной теории относительности [1,2].

В данном случае, т.к. $\varphi = \omega\tau$, скорость v_τ задаётся как гармоническая функция

$$v_\tau = c \cdot \sin\omega\tau \tag{41}$$

и движение вдоль оси z будет иметь вид гармонического колебания

$$z = \int v_\tau d\tau = -\frac{c}{\omega}\cos\omega\tau\,. \tag{42}$$

Дифференцируя v_τ, получим:

$$\frac{dv_\tau}{d\tau} = cv \cdot \cos\omega\tau \tag{43}$$

и, следовательно, мы можем написать дифференциальное уравнение гармонического колебания:

$$\frac{d^2 z}{d\tau^2} + \omega^2 z = 0\,. \tag{44}$$

Как видно, это уравнение эквивалентно уравнению макроскопических колебаний, но если в макроскопическом случае движение зависит от линейного времени t, то в данном случае характер движения определяется циклическим временем τ.

Если теперь перейти к линейному времени

$$t = t_{0x} = t_0 \cdot \cos\varphi, \tag{45}$$

то

$$dt = -t_0 \cdot d\varphi \cdot \sin\varphi = -d\tau \cdot \sin\varphi \tag{46}$$

и уравнение (38) приобретёт вид

$$v_\tau = -\frac{dz}{dt} \cdot \sin\varphi, \tag{47}$$

где dt является проекцией вектора $d\vec{\tau}$ на ось t_x и характеризует бесконечно малое смещение вдоль оси t_x.

Сравнивая выражения (46) и (37), получим выражение для линейной скорости:

$$v_t = \frac{dz}{dt} = -c \tag{48}$$

и, следовательно

$$z = -ct = -ct_0 \cdot \cos\varphi,$$

что согласуется с уравнением (42).

Таким образом, циклическая скорость v_τ в линейном представлении будет иметь постоянное абсолютное значение v_t=c, равное скорости света и внутреннее движение такого объекта, описываемое в макроскопической системе отсчёта будет существенно релятивистским. Это связано с тем, что выражение (45) в соответствии с формулой (40) имеет вид:

$$t = t_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}. \tag{49}$$

Как видно, эта формула соответствует релятивистской формуле замедления времени, если считать, что t- характеризует течение собственного времени частицы, определяемое в лабораторной системе отсчёта, относительно которой частица покоится и обладает только внутренним колебательным движением. В этом случае при углах $\varphi = \frac{\pi}{2} + \pi n$ значение линейной скорости v_t изменяет знак, что соответствует изменению знака течения собственного времени в выражении (49).

Таким образом из этого описания следует парадоксальный вывод о том, что внутреннее движение частицы вдоль оси z с точки зрения микроскопического времени τ имеет колебательный характер и описывается уравнением (44), с точки же зрения макроскопической системы наблюдения, внутреннее движение частицы вдоль оси z всегда происходит с постоянной линейной скоростью v_t=c. При этом значения углов $\varphi = \frac{\pi}{2} + \pi n$ соответствуют особым точкам, в которых знак скорости меняется из-за изменения знака линейного времени t. Этот результат можно интерпретировать следующим образом. Будем считать, что при достижении фазы циклического времени значения $\varphi = \frac{\pi}{2} + 2\pi n$ частица уходит за "горизонт наблюдения" и становится ненаблюдаемой, а при достижении значения $\varphi = -\frac{\pi}{2} + 2\pi n$ частица выходит из-за "горизонта наблюдения" и становится наблюдаемой.

В данном случае понятие "горизонт наблюдения" аналогично понятию "горизонта событий" в общей теории относительности и "светового барьера" в специальной теории относительности. Из этих соображений волновую функцию вида (6) можно интерпретировать как некоторую "функцию наблюдаемости" частицы.

6. Динамическая модель внутреннего движения частицы

Придадим теперь уравнению (44) смысл динамического уравнения в обычной ньютоновской формулировке:

$$ma + kz = 0, \qquad (50)$$

где $k=m\omega^2$.

В этом уравнении введён новый параметр m, имеющий размерность массы. Так как уравнение (50) описывает внутреннее движение частицы, то естественно отождествить этот параметр с массой покоя частицы. При этом будем исходить из того, что масса частицы обусловлена некоторой характерной длиной, соответствующей данной частице. Эта длина должна характеризовать как саму частицу, так и процессы её взаимодействия, что видно из уравнения (50). В самом деле, параметр $k= m\omega^2$ определяет наличие некоторого силового поля, которое задаётся как градиент энергии по оси z:

$$F = -\frac{dE}{dz} = -kz. \tag{51}$$

Кроме того, эта длина должна иметь простейший вид и в качестве таковой естественно взять Комптоновскую длину волны

$$\bar{\lambda}_0 = \frac{\hbar}{mc}. \tag{52}$$

Если связать эту длину с амплитудой колебания вдоль оси z, то из уравнений (42) и (52) получим:

$$\frac{c}{\omega} = \frac{\hbar}{mc}, \tag{53}$$

откуда

$$mc^2 = \hbar\omega. \tag{54}$$

Таким образом, в данной интерпретации, формула Эйнштейна для энергии покоя частицы $E=mc^2$, будет определять полную энергию внутреннего динамического процесса, характерными параметрами которого являются время t_0 и длина $\bar{\lambda}_0$.

Найдём энергию колебательного движения, описываемого уравнением (50). Согласно классической механике

$$E_k = \frac{kz^2}{2} + \frac{mv^2}{2} \tag{55}$$

и, подставляя в это уравнение выражения для z(42) и для v_τ(37), получим:

$$E_k = \frac{m\omega^2 (\frac{c^2}{\omega^2}) \cos^2 \varphi}{2} + \frac{mc^2 \sin^2 \varphi}{2} = \frac{mc^2}{2} \tag{56}$$

Таким образом, для энергии колебания получилось значение равное половине энергии покоя частицы. Если придать теперь величине энергии E_s, определяемой выражением (2) смысл энергии, характеризующей собственное вращение частицы, то, в соответствии с выражениями (2) и (53) получим:

$$E_s = \frac{\hbar\omega}{2} = \frac{mc^2}{2} \tag{57}$$

и, следовательно, полная энергия частицы

$$E = E_k + E_s = mc^2. \tag{58}$$

Таким образом, в уравнении (57) энергия покоя частицы представлена как полная энергия, соответствующая внутреннему движению частицы. При этом внутреннее движение частицы раскладывается на две составляющие, а именно - вращательное движение частицы в плоскости (t_x,t_y), которому соответствует энергия E_s(57) и колебательное движение вдоль оси z, которому соответствует энергия E_k(56).

Замечательным свойством выражений (56) и (57) является то, что они являются существенно релятивистскими и при этом удаётся избегнуть трудностей, которые возникают при классическом описании внутреннего движения частицы в связи с релятивистскими эффектами изменения масштабов. В самом деле, при классическом описании колебательного движения частицы возникают трудности в связи с бесконечным возрастанием массы

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \tag{59}$$

в случае релятивистских внутренних движений. Кроме того, непонятен смысл амплитуды колебания из-за сокращения длин

$$z = z_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \tag{60}$$

и периода колебания из-за замедления времени

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \tag{61}$$

Это связано с тем, что в релятивистских выражениях (59), (60), (61) параметр v имеет смысл скорости поступательного движения и эти формулы выражают собой результат определения физических величин в разных системах отсчёта при относительном движении этих систем с постоянной скоростью v. При этом, в соответствии с выражением (39) относительное движение систем характеризуется постоянным параметром $\varphi = \arcsin\frac{v}{c}$.

В данном же случае, учитывая выражение (56), можно дать следующее определение параметра m:

$$m = \sqrt{m_p^2 + m_k^2}, \tag{62}$$

где $m_p = m\cdot\cos\varphi$ - "потенциальная" масса, а $m_k = m\cdot\sin\varphi$ - "кинетическая" масса.

Как видно, в определении (62), в отличии от выражения (59) масса остаётся постоянной величиной, не зависящей от параметра φ, который в данном случае будет характеризовать фазу внутреннего состояния частицы. Кроме того, так как $\varphi=\omega\tau$, то внутреннее движение частицы будет описываться циклической скоростью $v_\tau=c\cdot\sin\omega\tau$ и линейной скоростью $v_t=c$. Таким образом, при внутренних движениях с линейной скоростью $v_t=c$ масса частицы не возрастает до бесконечности, как это происходит при характеристике относительных поступательных движений в соответствии с выражением (59), а остаётся величиной постоянной в соответствии с выражением (62). Это связано с тем, что в соответствии с данным представлением, масса не является характеристикой внутренне присущей частице, а определяется как проявление более фундаментальной структуры, связанной с фундаментальной длиной $\lambda\!\!\!^{-}_0 = \frac{\hbar}{mc}$. При этом, эта длина имеет смысл амплитуды колебания

$$z = \lambda\!\!\!^{-}_0 \cdot \cos\omega\tau = \lambda\!\!\!^{-}_0 \cdot \cos\frac{\pi}{2t_0}t \tag{63}$$

с периодом $T=4t_0$.

Как видно, уравнение (56) полностью соответствует энергии линейного осциллятора в нормальном состоянии (n=0)

$$E_0 = \frac{1}{2}\hbar\omega \tag{64}$$

Вид уравнения (62) соответствует представлению о том, что в модели двумерного времени (t_x,t_y) масса, также как и энергия будет векторной величиной и, следовательно, уравнение (62) можно представить в виде:

$$m = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}\,, \tag{65}$$

где $m_x = m_p = m \cdot \cos\varphi$ и $m_y = m_k = m \cdot \sin\varphi$.

Эти же рассуждения справедливы и для энергии вращения E_s(57). При этом, в соответствии с выражением (65)

$$E_s = \sqrt{E_{sx}^2 + E_{sy}^2}\,, \tag{66}$$

где $E_{sx} = \dfrac{m_x c^2}{2}$, $E_{sy} = \dfrac{m_y c^2}{2}$.

Как известно, при формировании теории спина были использованы представления о вращающемся электроне [3]. При этом, описание вращения электрона с классической точки зрения приводило к непреодолимым трудностям. Дальнейшее развитие квантовой механики привело к представлению о спине как о специфически квантовом свойстве элементарных частиц, являющемся проявлением внутренней степени свободы и принципиально не допускающем классической интерпретации. С точки зрения квантовой механики "собственный" момент элементарной частицы никак не связан с её движением в пространстве и, в частности, было бы совершенно бессмысленным представлять его себе как результат вращения частицы "вокруг своей оси" [4, с. 243].

Как полагает автор, принципиальные трудности в описании внутренних движений элементарных частиц связаны прежде всего с использованием представлений обычного макроскопического 4-мерного пространства Минковского. Между тем эти представления на квантовых масштабах теряют смысл и было бы логичнее описывать внутренние движения в рамках представлений о "внутреннем пространстве" элементарной частицы. При этом, вполне естественно исходить из того, что динамические свойства элементарных частиц (такие например, как энергия, масса, спин) являются проявлением более фундаментальной структуры, а именно - пространственно-временной структуры, характеризующей внутреннее состояние частицы с внутренними степенями свободы. Очевидно, что параметры этой структуры должны определяться через такие фундаментальные константы, как постоянная Планка h и скорость света c. Кроме того, для полного описания необходимо ввести некоторую константу, характеризующую взаимодействие. В случае одномерного пространственного движения это взаимодействие (или вернее самодействие частицы на себя) можно определить в виде f=kz, где $z=-z_{max}\cdot\cos\omega\tau$. Константа z_{max} определяется при этом типом элементарной частицы и, например, для электрона - это характерная длина

$$z_{max} = \lambda_0 = \frac{\hbar}{mc}.$$

Таким образом, в рамках вышеизложенных представлений возможно описание спина, которое согласуется с релятивистской теорией спина. При этом, неклассический характер спина будет связан в данном случае с представлением о вращении частицы во временной плоскости (t_x,t_y). Дополнительная временная степень свободы будет по существу внутренней в связи с компактификацией до масштабов $t_0 = \frac{\hbar}{2E_s}$. Благодаря этому, точечной в пространственном отношении частице можно приписать спин, как проявление её собственного момента.

Пространственная же степень свободы частицы будет связана с колебательным характером её внутреннего движения. При этом, введение пространственной оси z позволяет определить одномерное силовое поле $\vec{F} = -\frac{\partial E}{\partial z}\vec{k}$ и определить проекции спина $S_z = \pm\frac{\hbar}{2}$ в зависимости от ориентации частицы по отношению к силовому полю.

7. Гиромагнитное отношение для собственного момента электрона

Как известно, одной из неразрешимых проблем полуклассической теории спина было объяснение аномального гиромагнитного отношения для электрона. При этом, если "собственный" магнитный момент ещё можно было объяснить исходя из представлений о пространственном вращении заряженного электрона, то для объяснения механического момента эти представления не годились.

Как представляется автору, данная модель допускает естественное объяснение гиромагнитного отношения. Это связано с тем, что на энергию вращения электрона в соответствии с выражением (57) приходится половина энергии покоя частицы. Другим словами можно сказать, что в определении механического момента участвует лишь половина массы покоя частицы. Если же предположить, что в определении магнитного момента участвует весь заряд электрона, то в рамках полуклассической теории можно объяснить гиромагнитное отношение.

В самом, если исходить из представления о том, что магнитный момент обусловлен элементарным витком тока

$$\mu = \frac{I \cdot S}{c}, \tag{67}$$

то в случае электрона можно определить величину элементарного тока

$$I = \frac{e}{T}, \tag{68}$$

где e - заряд электрона; $T=2\pi t_0$ - период "собственного" вращения электрона.

Площадь витка можно определить как

$$S = c^2 S_t, \tag{69}$$

где $S_t=\pi t_0^2$ - площадь "петли времени", соответствующая представлению о "собственном" вращении электрона в плоскости (t_x,t_y). Подставляя эти выражения в уравнение (67), получим

$$\mu = \frac{e \cdot t_0}{2} c = \frac{e \cdot \hbar}{mc} \tag{70}$$

Как видно, это выражение соответствует значению магнетона Бора и при этом гиромагнитное отношение для собственного момента электрона

$$\gamma = \frac{\mu}{s} = \frac{e}{mc}. \tag{71}$$

В случае движения электрона по круговой орбите радиуса r со скоростью v, величина кругового тока

$$I = \frac{e \cdot v}{2\pi r} \tag{72}$$

и, следовательно, магнитный момент

$$\mu = \frac{e \cdot vr}{2c}. \tag{73}$$

Орбитальный момент количества движения электрона, согласно постулату Бора

$$L = mvr \tag{74}$$

и, следовательно, гиромагнитное отношение

$$\gamma = \frac{\mu}{L} = \frac{e}{2mc}. \tag{75}$$

Как видно, различие отношений (71) и (75) связано с различием механических моментов s и L. В определении (74) рассматривается движение электрона как единого целого и при этом учитывается вся масса покоя и связанная с ней энергия покоя. В определении же спина рассматривается собственное вращение электрона, энергия которого равна половине энергии покоя.

8. Заключение

Таким образом, введение дополнительной временной степени свободы позволяет построить модель внутренних движений элементарной частицы. При этом основные свойства частицы трактуются как проявление некоторой фундаментальной структуры, лежащей в основе внутренних движений. Если сами по себе эта структура и движения ненаблюдаемы, то результаты их действия являются наблюдаемыми и согласуются с известными квантовомеханическими соотношениями.

Как известно, при квантовомеханическом описании наблюдаемые величины являются результатом взаимодействия макроскопического прибора и квантовой системы. В данном же представлении эти наблюдаемые будут результатом проявления некоторой внутренней и принципиально ненаблюдаемой структуры. Если в квантовой механике интерпретация волновой функции носит вероятностный характер, в основе которого лежат случайные процессы, то в данном подходе возможна интерпретация волновой функции, как "функции наблюдаемости", в основе которой лежат некоторые скрытые процессы, связанные с внутренними степенями свободы.

Важным результатом данной модели является то, что внутренние движения частицы будут происходить с некоторой частотой $\nu = \frac{m_0 c^2}{h}$ и постоянной скоростью c и при этом удаётся избегнуть трудностей связанных с релятивистскими эффектами. Следует отметить, что эти результаты согласуются с результатами, полученными Шредингером при анализе свободного движения электрона[5].

В самом деле - анализируя уравнение Дирака, Шредингер получил интересный результат для производной координаты центра тяжести электрона по времени:

$$\frac{dx_k}{dt} = c\alpha_k \qquad (k=1,2,3).$$

Из этого результата Шредингер делает вывод, что "Сама компонента скорости допускает лишь значения ±c. Её математическое ожидание может быть и в общем будет меньшим. Тем не менее для него ожидают порядок величины c и удивляются, как это может удаваться центру тяжести облака заряда двигаться всегда так быстро и всё же при известных условиях перемещаться поступательно только с умеренной скоростью. Это, очевидно, возможно потому, что он не движется прямолинейно." И далее он связывает величину $c\alpha_k$ со скоростью "высокочастотного, быстрого дрожательного движения малой амплитуды, которое накладывается на прямолинейное равномерное движение. Можно также сказать, что $c\alpha_k$ является мгновенной скоростью центра тяжести облака заряда." При этом, для амплитуды дрожательного движения Шредингер получил значение, имеющее порядок комптоновской длины волны.

Составляющая скорости с частотой $\frac{2m_0c^2}{h}$ связывалась Шредингером с переходом из состояний с положительной энергией в состояние с отрицательной энергией. Эта идея получила дальнейшее развитие в работах Я. И. Френкеля [6,7]. Излагая свою концепцию квантово-полевой теории материи, он пишет, что "дело заключается не в "дрожании" электрона, а в виртуальном проявлении пар электрон-позитрон". Далее он отмечает, что "Аналогичным образом, рассеяние света электроном связано, согласно И. Е. Тамму, с прохождением последнего через промежуточное состояние с отрицательной энергией, т.е., следовательно, с возникновением и исчезновением пары электрон-позитрон, если вакантные состояния с отрицательной энергией заменить позитронами" [6, с. 507].

Исходя из этих представлений, Френкель предлагает "регенеративную" модель элементарной частицы - "в том смысле, что движение частицы в пространстве может быть описано как исчезновение её в исходном месте и появление в другом, более или менее близком от исходного" [7, с. 75].

Как видно, эти идеи согласуются с рассматриваемой моделью внутренних движений элементарной частицы. При этом, в соответствии с используемой концепцией расширенной теории относительности, исчезновение и появление частиц можно связать с уходом за "горизонт наблюдения" и, соответственно, с выходом из-за него.

Характер колебательного движения электрона естественно связать с периодическим процессом испускания и поглощения фотона. При этом, в процессе испускания фотона, электрон должен переходить в состояние с отрицательной энергией. Так как длина испускаемого фотона будет в данном случае равна комптоновской длине волны, то полная энергия системы остаётся неизменной и равна энергии электрона. То же самое можно сказать и о спине системы.

Таким образом, процесс внутреннего движения электрона можно связать с процессом его "самодействия" посредством испускаемого и поглощаемого фотона. Колебательный характер внутреннего движения такой системы можно связать с движением "виртуального фотона", внутри которого находится электрон. При этом, виртуальный фотон будет выглядеть как стоячая волна, составляющие которой имеют скорости $\pm c$. Тот факт, что скорость виртуального фотона постоянна и равна c, имеет важное значение, т.к. в этом случае не возникает проблемы "ускорения" фотона в процессе взаимодействия с электроном. Этот же результат вполне естественно распространить и на процессы взаимодействия электрона с реальным фотоном.

В заключение следует отметить, что представленная модель имеет большие перспективы в описании внутренних симметрий и различных типов взаимодействия элементарных частиц и заслуживает, как полагает автор, дальнейшего серьёзного анализа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Реками Э. Теория относительности и её обобщения // Астрофизика, кванты и теория относительности: Сб. ст. / Под ред. Э. Реками. –М.: Мир, 1982 с.53.
2. Гурин В. С. и Трофименко А.П. Расширенная теория относительности и многомерное (комплексное) представление расширенных многообразий // Acta Physica Hungarica. – 1990. - 67 (3-4). - P. 275-287.

3. Гаудсмит С. Открытие спина электрона // Успехи физических наук. – 1967. - т.93, в.1. - С. 151-158.
4. Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Наука, 1989.- с.
5. Шредингер Э., Избранные труды по квантовой механике. – М.: Наука, 1976. - С.218-228.
6. Френкель Я.И. Понятие движения в релятивистской квантовой теории // Доклады АН СССР. – 1949. - т.64, №4. - С. 507-509.
7. Френкель Я.И. Замечания к квантово-полевой теории материи // Успехи физических наук. – 1950. - т.62, в.1. - С. 69-75.

ОГЛАВЛЕНИЕ