Гипотезы

УДК 537

Бельцов Р.И., Федоткин И.М.

О ДВИЖЕНИИ ЭЛЕКТРОНА В ФИЗИЧЕСКОМ ВАКУУМЕ

Длина когерентности электрон-позитронных пар в физическом вакууме принята равной комптоновской длине волны, т.е. $\xi_o = l_c = 3{,}86 \cdot 10^{-11}$ см. Это определяет джозефсоновский переход частиц-античастиц со сверхтекучим током на движущемся электроне с m_o и функцию Лагранжа. Волновая функция частицы φ(x,t) = $\sum_i C_i \phi_i(x,t)$ с джозефсоновским переходом определяет также релятивистские соотношения массы, энергии-импульса движущейся частицы.

Ключевые слова: электрон, физический вакуум, позитрон, сверхтекучесть.

1. Введение

Согласно [1], даже при отсутствии реальных фотонов в физическом вакууме происходят флуктуации электромагнитного поля. И энергия электромагнитных нулевых колебаний равна сумме бесконечного числа осцилляторов, образующих поле виртуальных фотонов:

$$\sum \mathrm{E} = \frac{1}{4\pi}\int E_{вак}^2 d^3x = \sum_{k,\lambda}\frac{1}{2}\hbar\omega_{k,\lambda}, \cdot$$

где $\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-27}$ эрг/сек - постоянная Планка.

Вероятность рождения электрон-позитронных ($e^- + e^+$) пар из вакуума становится заметно отличной от нуля при напряженности электрического поля [4]:

$$E_n = \frac{\omega_o{}^2 c^3}{e\hbar} = 1{,}32 \cdot 10^{16}\, В/см,$$

где w_o – частота; $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл; c – $2{,}997 \cdot 10^8$ м/с– скорость света, при котором электрическое поле на комптоновской длине волны

$$l_c = \frac{\hbar}{m_o c} = 3{,}86 \cdot 10^{-11} \text{ см, где } m_o = 9{,}1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

совершает над электрон-позитронной парой работу 2 $m_o c^2$.

Рождение частиц-античастиц под действием лазерного одиночного импульса или двух встречных импульсов может быть реальным при интенсивностях излучения [4]:

$$I \approx I_S = \frac{c}{4\pi} E_S{}^2 = 4{,}65 \cdot 10^{29} \text{ Вт/см}^2.$$

Как видно, электрон-позитронные пары в физическом вакууме представляют связанные состояния с противоположными импульсами и спинами, и потенциалом спаривания $V = -2m_o c^2$.

2. О частицах-античастицах физического вакуума

В бозе-эйнштейновском конденсате физического вакуума находится макроскопически большое число частиц:

$$\begin{gathered} \lim_{N\to\infty} \langle m, N |\psi| m, N+1 \rangle = \psi \\ \lim_{N\to\infty} \langle m, N+1 |\psi^*| m, N \rangle = \psi^* \end{gathered} \qquad (1)$$

Фурье-компонента матрицы плотности определяет распределение частиц по импульсам:

$$N\left(\vec{p}\right) = N\int \rho(r)\cdot e^{-i\bar{p}r}dx^3 \ .$$

Уравнение (1) определяет волновую функцию частиц в конденсатном состоянии

$$\psi\left(t,\vec{r}\right) = \sqrt{n_o\left(t,\vec{r}\right)}\cdot e^{i\Phi\left(t,\vec{r}\right)}$$

Плотность потока частиц, вычисленная по волновой функции, имеет вид

$$j_{конд} = \frac{i\hbar}{2m_o}\left(\psi\nabla\psi^* - \psi^*\nabla\psi\right) = \frac{\hbar}{m_o}n_o\nabla\Phi \qquad (2)$$

где m_o – масса частиц. А потенциал скорости $U_{(V_S)}$ сверхтекучего движения частиц-античастиц совпадает с фазой конденсатной волновой функции:

$$\phi = \frac{\hbar}{2m_o}\Phi \ . \qquad (3)$$

Добавим, бозе-эйнштейновский конденсат электрон-позитронных (e^-e+) пар в физическом вакууме является когерентной, т.е. единой комплексной волновой функцией: $(\psi\psi^*) = \rho_S \cdot e^{i\theta}\cdot$, где ρ_S – плотность частиц. И волновые функции электрон-позитронных пар скореллированы и перекрыты, в результате скорости их движения и фазы становятся равными друг другу.

Рассмотрим основные положения о сверхтекучести электрон-позитронных (e^-e+) пар в физическом вакууме.

Этой связью является линейная зависимость энергии возбуждения, т.е. электромагнитной волны от импульса: ε = f(p), т.е. $\frac{\varepsilon}{p} = \frac{d\varepsilon}{dp} = c$. И поэтому при $v<c$, в физическом вакууме возникает сверхтекучесть электрон-позитронных пар. Это одно из фундаментальных положений в современной физике.

3. Функция движения электрона в физическом вакууме

Длина когерентности для электрон-позитронных (e^-e+) пар, на которой происходит изменение параметра порядка $(\psi\psi^*) \to 1$, определяется по комптоновской длине волны

$$\xi_o = \ell_c = \frac{\hbar}{m_o c} = 3{,}86\cdot 10^{-11} \text{ см, (см. выше),}$$

где $m_o = 9{,}1\ 10^{-31}$ кг – масса электрона и позитрона, $\hbar = 1{,}05\ 10^{-27}$ эрг сек – постоянная Планка; с = $2{,}997\cdot 10^8$ м/с – скорость света.

Согласно [3], классический радиус электрона r_e.=.$2{,}8\cdot 10^{-13}$ см. Таким образом, когерентность виртуальных (e^-e+) пар при $\xi_o = 3{,}86\cdot 10^{-11}$ см $> 2\cdot 2{,}8\cdot 10^{-13}$ см приводит к сверхтекучему току и эффекту Джозефсона на движущемся электроне в физическом вакууме.

Сверхток на джозефсоновском переходе на электроне m_o при $\upsilon \ll c$ содержит бездиссипативный сверхток I_S, который является функцией от разности фаз: $\nabla\varphi = \theta_1 - \theta_2$, θ_1, θ_2 — фазы волновых функций бозе-эйнштейновского конденсата перед и за электроном. И сверхтекучий ток: $I_S(\varphi) = I_C\cdot\sin\varphi$, где I_C- максимальный бездиссипативный ток через переход.

Так как изменение любой из фаз θ_1, θ_2 на 2π приводит к тому же состоянию системы $I_S(\varphi) = I_S(\varphi + 2\pi)$, и фазы также совпадают при φ = π, и таким образом, уровни энергии движущегося электрона: $En = \left(n + \frac{1}{2}\right)\hbar\omega$, где n = (0,1,2,...); ω – частота.

Проанализируем функцию распространения электрона. Ее можно написать в виде [3]:

$$G\left(p\right) = \frac{\gamma p + m}{p^2 - m^2 + iO}, \text{ где принято: } c = 1,\ h = 1.$$

Как видим, функция пропагатора электрона представляет произведение биспинорного множителя $\gamma p + m$ и скаляра: $G^{(O)}(p) = \frac{1}{p^2 - m^2}$. Соответствующая координатная функция $G^{(O)}(\xi)$ является функцией Грина уравнения $\left(\hat{p}^2 - m^2\right)\psi = 0$. Таким образом, $G^{(O)}(x\text{-}x^1)$ есть функция распространения скалярных частиц-античастиц $\rho_S = (\psi\psi^*) \to 1$, т.е. параметр порядка бозе-эйнштейновского конденсата электрон-позитронных пар в физическом вакууме, что и подтверждает наши выводы.

Функция распространения скалярного поля, т.е. бозонов выражается через $\hat{\psi}$ – операторы формулой

$$G^{(O)}(x\text{-}x^1) = -i < 0\, |T\psi(x) \cdot \psi^+(x^1)|\, 0> ,$$

где T – хронологическое произведение.

И уравнение Эйлера-Лагранжа для движущегося электрона с джозефсоновским переходом

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\delta L}{\delta\dot{\phi}}\right) + \nabla\left(\frac{\delta L}{\delta\nabla\phi}\right) - \frac{\delta L}{\delta\phi} = 0$$

Импульс, канонически сопряженный волновой функции φ:

$$P = \frac{\delta L}{\delta\dot{\phi}} = \dot{\phi}$$

Канонические уравнения Гамильтона

$$\frac{\delta H}{\delta p} = \dot{\phi}, \frac{\delta H}{\delta\phi} = -\dot{p},$$, где точкой обозначена производная по t.

При скорости электрона $v \ll c$ сверхтекучий ток электрон-позитронных пар на джозефсоновском переходе с потенциалом спаривания представим в виде:

$$I_S = \sum_n \left|-2m_0c^2\right| \cdot e^{i2\bar{q}r}, \tag{4}$$ где $2_{\bar{q}}$ – импульс центра масс.

При скорости электрона $v \le c$ в сверхтекучем токе появляются возбужденные квазичастицы с волновой функцией u: $I_\mu = u^*(p_-)\gamma^\mu(-p_+)u$, где γ^μ – матрицы.

Собственные значения энергии для возбужденных электрон-позитронных пар

$$\varepsilon\left(\vec{k}, r\right) = 2\sqrt{p^2c^2 + m_o{}^2c^4} + \frac{\hbar}{2m_o}\vec{k}\vec{q}, \tag{5}$$

где $\vec{q}$ - вектор в направлении тока.

Отметим, что уравнение Клейна-Гордона описывает волновую функцию движущейся частицы m_o, в том числе со сверхтекучим током на джозефсоновском переходе: $\left(c^2\hbar^2\nabla^2 - \hbar^2\frac{\partial^2}{\partial t^2} - m_o{}^2c^4\right)\cdot\psi = 0$, где $E = -\frac{\hbar}{i}dt$, $p = \frac{\hbar}{i}\nabla$ и сверхтекучий ток $I_S = I_c \cdot sin\varphi$, где $\nabla\varphi = \Theta_1 - \Theta_2$, разность фаз волновых функций на переходе.

Плотность заряда и плотность тока на движущемся электроне e:

$$\rho = \frac{ie\hbar}{2m_oc^2}\left[\psi^*\frac{\partial\psi}{\partial t} - \left(\frac{\partial\psi^*}{\partial t}\right)\psi\right],$$

где $\rho_S = \psi^*\psi = \frac{\rho}{e}$, т.е волновая функция конденсата (e^-e^+) пар.

$$I_S = \frac{e\hbar}{2m_oi}\left[\psi^*\nabla\psi - \left(\nabla\psi^*\right)\psi\right].$$

Приведем уравнение Дирака для свободной частицы [1]

$$(E-H)\psi = 0,$$

где операторы: $E = ih\frac{\partial}{\partial t}$, $p = -ih\nabla$; гамильтониан H имеет вид:

$$H = c\left(\alpha\vec{p}\right) + \rho_3 m_o c^2,$$

где α (α_1, α_2, α_3), ρ_3 — четырехрядные матрицы.

Мы описываем физические процессы, т.е. джозефсоновский переход частиц-античастиц физического вакуума на движущемся электроне e_-, что совпадает с выводами Дирака. Добавим, электрон-позитронные пары образуют на переходе движущийся вихрь, длина которого уменьшается с увеличением скорости электрона по релятивистскому соотношению:

$$\lambda_j^{\,1} = \lambda_j\left(1 - \frac{\nu_e^{\,2}}{c^2}\right)^{1/2}, \; c = \omega_p \cdot \lambda_j, \text{ где } \lambda_j^{\,1} \text{ – вихрь.} \qquad (6)$$

Собственное время вращения вихря при $\nu_e \to c$ уменьшается

$$\tau = t\sqrt{1 - \frac{\nu_e^{\,2}}{c^2}}\,.$$

Также и энергия движущегося электрона при $\nu_e \to c$ увеличивается по релятивистской формуле

$$E_1(\nu) = \frac{E_1(0)}{\sqrt{1 - \frac{\nu_e^{\,2}}{c^2}}}$$

Выводы

1. Джозефсоновский переход частиц-античастиц физического вакуума на движущемся электроне e(ν) определяет L и волновой пакет электрона: $\varphi(x,t) = B \cdot e^{-i(w_o t - k_o x)}$, где амплитуда B распространяется со скоростью электрона, равной $\nu_e = \frac{dE}{dp}$.
2. Джозефсоновский переход с вихрем, образуемом частицами-античастицами физического вакуума при движении частицы m_o определяет релятивистские соотношения массы, энергии-импульса частицы.
3. Волновая функция электрона с джозефсоновским переходом определяет также принцип неопределенности Гейзенберга:

$$\nabla E \cdot \nabla t \ge \hbar, \nabla p \nabla x \ge \hbar\,.$$

Таким образом, в настоящей статье предложено описание физических процессов, которые происходят при движении электрона в физическом вакууме, а также дано обоснование уравнения Дирака для электрона. Физически обосновываются диаграммы Р.Фейнмана.

Литература:

1. *Соколов А.А., Тернов И.М., Жуковский В.И.* Квантовая механика. — М., Наука, 1979.
2. *Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М.* Теория поля. — М.-Л., ОГИЗ, 1948.
3. *Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т.IV. Квантовая электродинамика /В.Б.Берестецкий, Е.М.Лифшиц, Л.Питаевский/. — М., Наука, 1980.
4. *Буланов С.С., Нарожный Н.Б., Мур В.Д., Попов В.С.* О рождении электрон-позитронных пар электромагнитными импульсами. // ЖЭТФ. — 2006. — Т.129. — Вып.1. — С.14–29.
5. Кулик И.О., Янсон И.К. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах. — М., Наука, 1970.
6. *Ландау Л.Д. и Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т.IX. Статистическая физика. Ч.2. Теория конденсированного состояния /Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский/. — М., Наука, 1978.
7. *Соколов А., Иваненко Д.* Квантовая теорія поля. — М.,-Л., ГИТТЛ, 1952.

Приложение

1. Диаграммы Фейнмана

Антисимметричные конденсированные электрон-позитронные (e^-e^+) пары с противоположными спинами и импульсами в физическом вакууме образуют параметр порядка с комплексной волновой функцией,

$$(\psi\psi^*) = \rho_s, \ \psi = \sqrt{\rho_s} \cdot e^{i\Theta(r)}$$

Длина когерентности (e^-e^+) пар:

$$\xi_0 > d(m),$$

где d(m) – размеры частиц химических элементов.

Потенциал джозефсоновского перехода (e^-e^+) пар на движущемся электроне:

$$\nabla U = \frac{\pi}{m_0}\nabla\psi,$$

где $\nabla\psi$ – градиент волновых функций частиц-античастиц конденсата.

При рассеивании 1<u>го</u> электрона на 2<u>м</u> в физическом вакууме по диаграммам Фейнмана, амплитуда вероятности перехода S_{fi}:

$$Sfi \sim e^2\left(\overline{u_4}\gamma^{\mu}u_2\right)D_{\mu\nu}(k)\left(\overline{u_3}\gamma^{\nu}u_1\right) - e^2\left(\overline{u_4}\gamma^{\mu}u_1\right)\times D_{\mu\nu}(k')\left(u_3\gamma^{\nu}u_2\right),$$

где $k = p_4 - p_2$, $k' = p_4 - p_1$; u – биспинорные амплитуды электронных состояний; $D_{\mu\nu}(k)$ – фотонный пропагатор виртуальный в импульсном представлении

$$D_{\mu\nu}(k) = \int D_{\mu\nu}(x - x')\cdot e^{ik(x-x')}\cdot d^4(x - x').$$

Излучение фотонов — это возбуждение электрон-позитронных (e^-e^+) пар физического вакуума, их антисимметричных волновых функций:

$$\psi = \sum_p\left(a_p\psi_p + b_p^+\psi_{-p}\right), \ \psi^* = \sum_p\left(a_p\psi_p^* + b_p\psi_{-p}^*\right),$$

где функции ψ_p - возбуждения с 4-импульсами р:

$$\psi_p = \left(\frac{1}{V}\right)u_{(p)}e^{-i(px)};$$

где $u_{(p)}$ – амплитуда.

При разложении на бегущие волны в физическом вакууме, потенциал $\vec{A}$:

$$\vec{A} = \sum_k\left(\vec{a}_k\cdot e^{i\vec{k}r} + \vec{a}_{k^*}\cdot e^{-i\vec{k}r}\right),$$

где $a_k \approx e^{-i\omega t}$; $\omega = |k|$, $\vec{a}_k\vec{k} = 0$.

Потенциал джозефсоновского перехода на частице $\overline{m}$ определяет фаза волновой функции конденсата $(\psi\psi^*) = \rho_s$ электрон-позитронных (e^-e^+) пар физического вакуума:

$$\nabla U = \frac{\pi}{2m_0}\Phi.$$

Выводы:

Импульсы сталкивающихся частиц $\vec{k_1}$, $\vec{k_2}$, … передаются возбужденными волновыми функциями электрон-позитивных пар физического вакуума, т.е. $\sum\overrightarrow{k_{1,2}}\left(\vec{r},t\right) = \sum\pi\nabla\left(\psi\psi^*\right)_{1,2}\left(\vec{r},t\right)$. Добавим, волновые функции частиц-античастиц когерентны, сильно перекрыты и фазы равны друг другу.

2. О переходе электрон-позитронной пары в конденсат физического вакуума.

Волновую функцию электрона с джозефсоновским переходом электрон-позитронных пар (e^+e^-) можно описать уравнением Клейна-Гордона:

$$\left(c^2\hbar^2\nabla^2 - \hbar^2\frac{\partial^2}{\partial t^2} - m_0^2c^4\right)\psi = 0\,,$$

где операторы $E = -i\hbar\dfrac{\partial}{\partial t}$, $\quad \vec{P} = \dfrac{\hbar}{i}\nabla$

Матричный элемент оператора испускания фотона электроном [3]:

$$V_{fi}(t) = -e\int\left(\psi^*, \alpha\psi_i\right)\vec{A}_u^* dV\,,$$

где ψ^*, ψ_i - волновые функции начального и конечного состояния электрона или позитрона; α – матрицы.

Зависящие от t матричные элементы

$$V_{fi}(t) = V_{fi}e^{-i\left(E_i - E_f - w\right)t}\,,$$

где излучение фотона на джозефсоновском переходе с энергией $\hbar w = E_i - E_f = \hbar\dfrac{\partial\phi}{\partial t}$.

Излучение электрона при длине волны $\lambda \geq \xi_0 = l_c$, это возбуждение волновых функций частиц-античастиц физического вакуума с изменением тока джозефсоновского перехода (e^+e^-) пар на электроне, то есть $\nabla J = J_c\sin\nabla\left(\nabla\phi\right)$, где $\nabla\phi = \Theta_1 - \Theta_2$ волновые функции конденсата перед и за электроном.

Рассмотрим конденсацию электрон-позитронной (e^+e^-) пары в физический вакуум, основное состояние которого характеризуется функцией v_k^2, которая представляет вероятность заполнения электрон-позитронными парами ячеек $\left(\vec{k}, -\vec{k}\right)$, $\vec{k}, -\vec{k}$ - противоположные импульсы.

Двухфотонная аннигиляция [7], конденсация, согласно нашему выводу, пары: $e^+ + e^- = \gamma + \gamma'$, где γ, γ' – фотоны.

Эффективное расчетное сечение

$$\gamma = \frac{\pi c r_0^2\left(1 + ss'\right)}{2\left|v_+\right|}\,,$$

где $\left|v_+\right| = \left|v_-\right|$ - скорость позитрона (и электрона) в системе центра инерции; s и s' - спиновые состояния.

Эффективное сечение зависит от ориентации проекции спинов e^- и e^+ ($s_+ = -s'$).

В нерелятивистском приближении сечение конденсации согласно [7]:

$$\gamma = \frac{1}{4}\sum_{s,s'}\gamma = \pi r_0^2\frac{c}{v}\,,$$

где $r_0 = \dfrac{e^2}{m_0c^2} = 2{,}81\cdot 10^{-13}\,см$ – классический радиус электрона.

В нерелятивистком случае энергия ε квантов равна энергии электрона (позитрона) ($\varepsilon \approx m_0c^2$).

В ультрарелятивистком случае в системе центра инерции γ-квантов будут равны энергии электрона (позитрона) ($E_+ = cp_+$), и $\cos\phi \approx {}^{+}_{-}1$.

Другой γ-квант получит энергию порядка $\varepsilon \approx m_0c^2$. При «аннигиляции» медленных позитронов вылетают два фотона в противоположных направлениях с энергией $\approx m_0c^2$.

Рассмотрим свободные пары электрон и позитрон в состоянии с импульсами $\vec{k}, \vec{k}'$.

Электрон-позитронные пары в физическом вакууме $\left(k, -k\right)$ и $\left(k', -k'\right)$ не могут участвовать в процессах рассеивания и переходах, и они компенсируют энергию ($2m_0c^2$) свободных электрона и позитрона.

Конденсация (e^+e^-) пары происходит при длине когерентности между электроном и позитроном $\xi_0 \le l_c$, меньше комптоновской длины волны, когда срабатывает потенциал физического вакуума, $W \to 2\left|-m_0c^2\right|$, то есть восстанавливается нарушенная симметрия электрон-позитронных пар возле электрона и позитрона.

До конденсации частица e^- в физическом вакууме забирала парную с противоположным импульсом, и энергия повышалась на $\approx m_0c^2$.

Компенсация энергии e^+ и e^- с переходами импульсов в физическом вакууме: $e^- \to (-k)$, $e^+ \to (-k^1)$ и обратно.

Амплитуда конденсации F_k:

$$F_k = \left[\phi_{N+2}\left|a^+_{k\uparrow}a^+_{-k\downarrow}\right|\phi_N\right],$$

где φ_N – волновая функция физического вакуума.

Область изменения v_k от 0 до 1 имеет ширину ξ_0, по энергии $\approx m_0c^2$ и по импульсу $\delta k \approx \frac{m_0c}{\hbar}$ и излучает энергию электромагнитных волн компенсирующее поле электрон-позитронных пар с восстановлением симметрии взаимодействия.

Составим энергетический баланс при конденсации электрона с позитроном:

1. $\left(\sqrt{p^2c^2+m_0^2c^4}-\left|m_0c^2\right|\right)-\left(\sqrt{p^2c^2+m_0^2c^4}-\left|m_0c^2\right|\right)\approx 0$.
2. $-m_0c^2+m_0c^2 \to \gamma+\gamma' \leftarrow \hbar w+\hbar w'$, излучение компенсирующего поля физического вакуума.
3. $\left(\sqrt{p^2c^2+m_0^2c^4}-\sqrt{p^2c^2+m_0^2c^4}\right)\to\approx\left(-2m_0c^2\right)$ - переход в конденсат.

Таким образом, электрон e^- и позитрон e^+ образовали антисимметричную конденсатную электрон-позитронную пару с противоположными импульсами $(k,-k)$ и спинами $(s_+,-s')$.

Статья поступила в редакцию 18.11.2010 г.

Beltzov R.I., Fedotkin I.M.

On the motion of the electron in the physical vacuum

The coherence length of the electron-positron pairs in the physical vacuum is taken equal to the Compton wavelength, ie $\xi_0 = l_c = 3{,}86 \cdot 10^{-11}$ cm. That defines a Josephson junction particle-antiparticle with the superfluid current on a moving electron with m_0 and the Lagrange function. Particle wave function φ (x, t) = $\sum_i C_i\phi_i(x,t)$ with Josephson junction also determines the ratio of the relativistic mass, energy-momentum of the moving particle.

Keywords: electron, physical vacuum, positron, superfluidity.