Волна де Бройля и увеличение массы электрона.

Юхимец А.К. Anatoly.Yuhimec@Gmail.com

«Мы должны найти такой приём исследования, при котором мы могли бы сопровождать каждый свой шаг ясным физическим изображением явления».
Д.К. Максвелл

Как известно [1], в своё время, в начале 20-х годов прошлого столетия, Луи де Бройль предложил описывать движение свободной элементарной частицы с помощью плоской волны для некоторой *волновой функции* $\phi(x,t) = Ae^{-2\pi i(\nu t - \frac{x}{\lambda})} = Ae^{-\frac{i}{\hbar}(Et - px)}$, (1)

где: A- амплитуда волновой функции частицы; e- основание натуральных логарифмов; x- координата *фазы* волны в направлении её движения; t - время перемещения фазы; ν - частота волны.

Скорость распространения де-бройлевской волны u в квантовой волновой механике находится как скорость перемещения постоянной фазы волны $\varphi = 2\pi i(\nu t - \frac{x}{\lambda}) = \frac{i}{\hbar}(Et - px)$. (2)

Поэтому, если за время $\Delta t = t_1 - t_0$ постоянная фаза сместится на расстояние $\Delta x = x_1 - x_0$, то можно записать равенство $Et_1 - px_1 = Et_0 - px_0 = const$, или $E\Delta t - p\Delta x = 0$. Отсюда скорость распространения постоянной фазы, а следовательно, и волны в целом находят как $u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{E}{p}$. (3)

где: $E = mc^2$ – полная энергия частицы; $p = mV$ – внешний импульс частицы; m_0 – масса относительного покоя частицы; $m = m_0 / \sqrt{1 - V^2/c^2}$ - релятивистская масса частицы; $\boldsymbol{c}$ – скорость света; V – скорость частицы. Все они связаны основным уравнением релятивистской квантовой теории поля как $E^2 = c^2p^2 + m_0{}^2c^4$, (4)

И сегодня в квантовой механике скорость де-бройлевских волн (3) с учётом уравнения (4) рассчитывается как $u = \frac{dx}{dt} = \frac{E}{p} = \frac{mc^2}{mV} = \frac{c^2}{V}$. (5)

Но, как мы здесь видим, значение скорости распространения этих волн значительно превосходит скорость света. И только для света (фотонов), когда импульс $p = mc$, скорость $u = c$. Поэтому волны де Бройля для частиц стали трактовать не как материальные, а как волны *амплитуды вероятности* нахождения частицы в той, или иной части пространства. А частицам стали сопоставлять не отдельные монохроматические волны, а целый набор волн с близкими частотами. При распространении такого набора волн в нём якобы возникает так называемый *групповой пакет*, скорость перемещения которого совпадает со скоростью движения частицы. Тогда частицу и связали с этим групповым пакетом. Однако и такой подход не решил проблему.

Теоретически всегда с помощью группы волн можно получить волновой пакет, который будет перемещаться со скоростью частицы. Но из-за дисперсии скорость распространения отдельных монохроматических волн, составляющих пакет, в реальных средах будет несколько различаться одна от другой, и пакет станет расплываться. Частица в таких средах не может сохранить стабильность, что не отвечает реальности. Причём для электрона это должно произойти практически мгновенно. Поэтому от этой идеи пришлось отказаться. К тому же совсем не было ясно, откуда должен взяться целый набор близких по частоте монохроматических волн, чтобы образовать ту, или иную частицу.

Тем не менее, идея де Бройля, что с движущейся частицей связана некоторая волна, после её опытного подтверждения ещё в 1927г. и сегодня считается основанием для признания справедливости его корпускулярно-волновых идей в целом. При этом волной де Бройля для частицы называется уже волна $\lambda_{Бр} = h / mV$, где h – постоянная Планка, m – масса частицы, а V - её скорость [2].

Представления Луи де Бройля о корпускулярно-волновом дуализме природных явлений были заложены и в создание *квантовой волновой механики*. Но поскольку де Бройль обе свои волны получил чисто абстрактно-математическим путём, без каких-либо наглядных физических моделей, то при этом в его теоретических построениях были допущены серьёзные принципиальные ошибки. Здесь они будут показаны самым наглядным образом на примере рассмотрения движения электрона.

Исходим из того, что электрон в состоянии относительного покоя в эфире реального мирового пространства, а если быть точнее, то в связанной с ним *абсолютной системе отсчёта* (АСО), представляет собой движущийся по кольцу со скоростью c (скорость света) элементарный (единичный) электрический заряд [3]. Заряд электрона является тороидальным эфирным вихрем с массой $m_e/2$ ($m_e = 9{,}109534 \cdot 10^{-28} г$ - масса покоя электрона). Он также имеет внешнюю расходящуюся от него в пространстве оболочку его магнитного поля, содержащую вторую половину его массы $m_e/2$, что вместе с массой самого заряда и образует массу электрона m_e.

Длину кольца, по которому и движется заряд, равную $\lambda_e = 2\pi r_e$, где $r_e \approx 3{,}86 \cdot 10^{-11} см$ - радиус волны Комптона для электрона, назовём кольцевой волной электрона. Кольцевое движение массы *заряда* $m_e/2$ и создаёт спин электрона $J_e = \frac{m_e}{2} \cdot r_e \cdot c = \frac{\hbar}{2}$, где $\hbar = m_e r_e c$ - одна из форм записи постоянной Планка. Отсюда частоту вращения кольцевой волны электронного заряда в состоянии относительного покоя электрона в целом можно записать как $\nu_e = \frac{c}{2\pi r_e}$. (6)

Это отвечает и известному уравнению для корпускулярно-волнового объекта в виде $m_e c^2 = h\nu_e = 2\pi r_e m_e c \frac{c}{2\pi r_e}$, или $\lambda_e = \frac{h}{m_e c}$, (7)

где $h = 2\pi r_e m_e c = 2\pi\hbar$ - другая форма записи постоянной Планка.

Экспериментально установлено, что при линейном движении электрона его спин, условно считающийся вектором (псевдовектор), может быть направлен либо по направлению скорости *V*, либо против неё. Поэтому в состоянии его условного покоя в эфире, электрон можно считать «волновым телом», как бы состоящим из одной ***поперечной*** *циклической волны*. А в целом это будет корпускулярно-волновой объект [4], «корпускулой» которого и будет вихревое эфирное возбуждение - электрический заряд [3].

Когда электрон как нечто целое, т.е. вместе со своим магнитным полем и массой m_e, получает внешний импульс, например в эффекте Комптона, и начинает двигаться с продольной скоростью $V \ll c$, то его электрический заряд будет двигаться уже *по спирали*. То есть ***поперечная*** волна получит свой продольный импульс $p_{пр} = mV$, дополнительную энергию $mV^2/2$ и соответствующую ей дополнительную массу $\Delta m = mV^2/2c^2$. В целом же её масса с большой точностью станет равной $m = \frac{m_e}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$. (8)

Спиральное движение поперечной волны можно разложить на её кольцевое и продольное волновые движения. Но так как эфирное волновое «тело» именно *электрона в целом* реально состоит из ***поперечной*** циклической волны, то её продольная составляющая есть лишь *её отклонение* в направлении скорости *V*.

Поперечная волна отклоняется, но её скорость движения по спирали сохраняется равной ***c***. И её импульс спирального движения становится равным $p_{cn} = mc$. В чисто поперечном (кольцевом) движении скорость волны при этом становится равной $\sqrt{c^2 - V^2}$, а её кольцевой импульс $p_k = m\sqrt{c^2 - V^2} = \dfrac{m_e\sqrt{c^2 - V^2}}{\sqrt{1 - V^2/c^2}} = m_e c$. А так как спин электрона (момент импульса заряда) сохраняется, то сохраняется и радиус кольца r_e, и длина кольцевой волны $\lambda_e = 2\pi r_e$. Импульсная диаграмма движения полной *массы поперечной волны* электрона по спирали становится следующей, рис. 1.

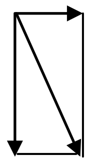

Рис. 1. Импульсная диаграмма движения массы поперечной волны электрона по спирали.

Соотношение $(mV)^2 + (m_0 c)^2 = (mc)^2$, очевидно, является общим для всех частиц и других физических объектов с массой *покоя* m_0 при их разгоне до скорости *V*. Если в последнем уравнении все члены умножить на c^2, то мы сразу же получим одно из основных уравнений релятивистской квантовой теории поля (4):

$$m^2c^4 = c^2m^2V^2 + m_0{}^2c^4, \quad \text{или} \quad E^2 = c^2p^2 + m_0{}^2c^4.$$

Если частоту кольцевого движения массы электрона принять за эталон его собственного времени, то в состоянии условного покоя частота его будет $\nu_e = \dfrac{c}{2\pi r_e}$. При движении электрона она будет изменяться как $\nu' = \dfrac{\sqrt{c^2 - V^2}}{2\pi r_e}$, или в отношении $\nu' = \nu_e\sqrt{1 - V^2/c^2}$. Это можно *условно* назвать *замедлением хода* собственных ***«часов»*** электрона при движении.

Длительность цикла вращения кольцевой волны электрона будет равна $\Delta t_k = \dfrac{\lambda_e}{\sqrt{c^2 - V^2}}$. Но это же будет длительностью цикла и спиральной, и продольной волн. Тогда длина продольной волны будет $\lambda_{пр} = V\Delta t_k$, или $\lambda_{пр} = \frac{\lambda_e V}{\sqrt{c^2 - V^2}} = \frac{2\pi r_e V}{\sqrt{c^2 - V^2}}$. А так как $2\pi r_e m_e c = h$, то $\lambda_{пр} = \frac{hV}{m_e c^2 \sqrt{1 - V^2 / c^2}}$. И если $V << c$, то с большой точностью можно

считать $\lambda_{пр} = \frac{h}{m_e c^2 / V}$, (9)

что и называется волной де Бройля для *волновой функции* электрона. При этом величину c^2 / V назвали ***скоростью*** какой-то ***мифической*** постоянной фазы (фазовой скоростью) этой тоже ***мифической*** волны.

Таким образом, длина волны для волновой функции, названная Луи де Бройлем вначале *стационарной* [2], а несколько позже *волной-пилотом*, является ***реальной продольной составляющей волны*** спирального движения массы электрона. И скорость этой продольной составляющей волны ***реально*** равна не *мифической* скорости c^2 / V, а скорости продольного движения самого электрона *V*, что *наглядно* и видно из вывода формулы (9).

Что же касается вывода скорости волны де Бройля как (5), то здесь и была допущена ошибка, которую мы сейчас и рассмотрим. Для этого вернёмся к формуле (1) и запишем её для $x = 0$ как $\phi(x,t) = Ae^{-i\varphi}$, где $\varphi = 2\pi\nu t$. При $x = 0$ эта формула может описывать вращение некоторой точки с комплексной амплитудой $\phi(t) = re^{-i\varphi}$ на радиусе *r* с частотой *ν* в комплексной плоскости *zoy* от некоторой условной нулевой точки А, рис. 3.

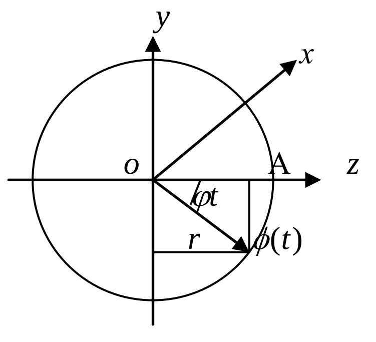

Рис. 2. Точка $\phi(t)$ вращается на радиусе *r* по часовой стрелке в комплексной плоскости *zoy* от условной нулевой точки А.

Т.е. можно записать, что $\phi(t) = r(Cos\varphi(t) - iSin\varphi(t))$.

Здесь также условно можно принять, что если точка вращается против часовой стрелки, то её фаза $\varphi = -2\pi\nu t$, а если вращается по часовой стрелке, то $\varphi = 2\pi\nu t$, т.е. отличается знаком.

Если комплексную плоскость *zoy* с вращающейся в ней точкой смещать вдоль оси *x*-ов с постоянной скоростью *V*, то точка будет двигаться уже по спирали. Её движение можно описать формулой, в которой её перемещение *x* вдоль оси *x*-ов и войдёт в значение *условной нулевой* фазы. Для этого в формулу $\varphi = 2\pi\nu t$ для фазы волны внесём информацию о смещении точки вдоль спиральной волны, что и даст нам полное описание поведения волны. А сделаем мы это, записав формулу для *условной* ***нулевой*** фазы волны в виде

$$\varphi_0 = 2\pi\nu t - 2\pi \frac{l_{cn}}{\lambda_{cn}} = 0, \qquad (10)$$

где l_{cn} – путь, пройденный точкой *вдоль* спиральной волны, прямо связанный с координатой *x*, а λ_{cn} - длина волны на этом пути.

Добавка справа в (10), равная $-2\pi \frac{l_{cn}}{\lambda_{cn}}$ и учитывающая спиральное продвижение точки, как бы возвращает значение фазы, достигшей своего значения $2\pi\nu t$, при l_{cn} по спирали и координате $x = Vt$, к её начальному нулевому значению. Теперь запись фазы в виде (10) даёт нам полную информацию о поведении волны.

Спиральное волновое движение точки можно условно разложить, как мы и сделали выше, на *кольцевое волновое движение* в плоскости *zoy* и *продольное волновое движение* вдоль оси *x*-ов. И в любой плоскости *вдоль движения*, например в плоскости *xoy*, поперечная амплитуда продольной составляющей волны (проекция спиральной волны на ось *y*-ов) будет изменяться по синусоиде $\phi_y(t) = rSin\varphi(t)$.

Частоту вращения массы электрона вокруг спиральной оси (оси *x*-ов) в соответствии с формулой $\Delta t_k = \frac{\lambda_e}{\sqrt{c^2 - V^2}}$, где $\lambda_e = 2\pi r_e$, можно записать как $\nu_k = \frac{\sqrt{c^2 - V^2}}{2\pi r_e} = \frac{m_e c^2 \sqrt{1 - V^2/c^2}}{h}$. Но если $V << c$, то с большой точностью эта частота запишется как $\nu_k = \frac{m_e c^2}{h}$. Это и есть *частота всех трёх волн* движения электронного <u>заряда</u>: спиральной, кольцевой и продольной, если их *условно* рассматривать порознь.

Но вернёмся ещё раз к формуле (10) $2\pi\nu t-2\pi\frac{l_{сп}}{\lambda_{сп}}=0$ и запишем её по-другому. Так как при $V<<c$ частота волны $\nu_k=\frac{m_e c^2}{h}$, то отсюда $2\pi\nu t=\frac{2\pi m_e c^2 t}{h}=\frac{1}{\hbar}\cdot E_e t$, где $E_e=m_e c^2$. А так как $\lambda_{сп}=\frac{c}{\nu_k}=\frac{h}{m_e c}$, то $2\pi\frac{l_{сп}}{\lambda_{сп}}=\frac{2\pi m_e c l_{сп}}{h}=\frac{1}{\hbar}\cdot p_{сп}l_{сп}$, где $p_{сп}=m_e c$. И тогда (10) запишется как $\frac{1}{\hbar}(E_e t-p_{сп}l_{сп})=0$. Отсюда скорость движения волны заряда и её фазы ***по спирали*** $u_{сп}=\frac{l_{сп}}{t}=\frac{E_e}{p_{сп}}=c$.

Если же по (10) *чисто формально* определять скорость движения фазовой волны с учётом формулы (4) как $u=\frac{E_e}{p_e}=\frac{mc^2}{mV}=\frac{c^2}{V}$, то и получим ***совершенно неверную*** её скорость. В её расчёте взята полная энергия движения электрона *по спирали* со скоростью ***с***, а импульс взят для *продольного* его смещения со скоростью *V*. Не имея никакой *наглядной физической модели* электрона и своей волны, такую ***якобы скорость*** перемещения её фазы и получил де Бройль.

Формула (10) остаётся справедливой и для кольцевой, и для продольной волн. Но при этом для кольцевой волны вместо $l_{сп}$ нужно взять l_k - путь, пройденный зарядом по кольцу за время t, а вместо $\lambda_{сп}$ взять $\lambda_e=2\pi r_e$. А для продольной волны вместо $l_{сп}$ взять *x*- текущую координату волны по оси *x*-ов, а вместо $\lambda_{сп}$ нужно взять $\lambda_{пр}$- длину продольной волны. Но опять же формулу (10) нужно записать иначе.

Полную энергию электрона можно записать как $E_e=2\frac{m_e c^2}{2}=2E_{кин}$, т.е. выразив её через кинетическую энергию спирального движения. И тогда формула для спирального движения примет вид $\frac{1}{\hbar}(2E_{кин}t-p_{сп}l_{сп})=0$, для кольцевого $\frac{1}{\hbar}(2E_{kk}t-p_k l_k)=0$ и для продольного $\frac{1}{\hbar}(2E_{кпр}t-p_{пр}x)=0$. То есть здесь уже взяты энергии и импульсы для одного и того же движения. Отсюда для ***кольцевого*** движения и его фазы от условного нуля скорость будет $u_k = \frac{2E_{kk}}{p_k} = \frac{m_e(c^2 - V^2)}{m_e\sqrt{c^2 - V^2}} = \sqrt{c^2 - V^2}$.

А для ***продольного*** движения $u_{пр} = \frac{2E_{кпр}}{p_{пр}} = \frac{m_e V^2}{m_e V} = V$.

Скорость *V* свободный электрон всё же чаще получает при разгоне в электрическом поле. В любом случае на заряде электрона образуется ещё и дополнительная ***продольная*** волна-корпускула, и изменяющая описанное выше движение его поперечной волны. Она сопровождает электрон в целом в его продольном движении со скоростью *V*.

Присоединённая ***продольная*** корпускула-волна и добавляет «волновому телу» электрона свою массу. притормаживая тем самым кольцевое движение заряда до скорости $\sqrt{c^2 - V^2}$. «Корпускулой» (или квантом) этой волны является тороидальное вихревое возбуждение с массой m_k (рис. 2), волна которого действительно является для электрона «волной-пилотом».

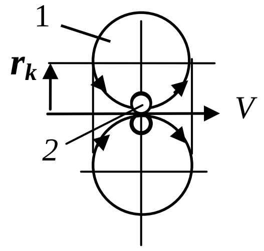

Рис. 2. Присоединённый продольный тороидальный вихрь 1 (возбуждение эфира), сопровождающий электрон 2.

Присоединённый вихрь вместе со своей уже *стоячей волной*, воздействуя на *заряд* электрона, будет перемещаться вместе с электроном со скоростью *V*. Тогда, если рассматривать движение электрона через кинетический потенциал вихря $m_k c^2/2$ [3], который передаётся непосредственно самому заряду уже с массой $m/2$, можем записать равенство $\frac{m_k c^2}{2} = \frac{m}{2} \cdot \frac{V^2}{2}$, где $m = m_e + m_k$- новая полная масса электрона. Откуда $m_k c^2 = \frac{mV^2}{2}$. (11)

Но так как вместе с электроном перемещается и продольная *стоячая* эфирная волна заряда, то для её циклического движения (туда по направлению *V* и обратно против этого направления) можем записать сразу для изменяющейся массы волны [4]: туда $\frac{m_e\sqrt{1 - V^2/c^2}}{2(1 - V/c)}$, а обратно $\frac{m_e\sqrt{1-V^2/c^2}}{2(1+V/c)}$. Откуда видно, что волна на заряде переносит по ходу движения массу $\frac{m_e\sqrt{1-V^2/c^2}(1+V/c-1+V/c)}{2(1-V/c)(1+V/c)}=\frac{m_eV/c}{\sqrt{1-V^2/c^2}}$. А так как она циркулирует туда и обратно со скоростью *c*, то и переносит импульс mV, где $m=m_e/\sqrt{1-V^2/c^2}$ и есть новой полной массой электрона при движении со скоростью *V*. И если $V<<c$, то с большой точностью можем записать равенство $m_e+m_k=\frac{m_e}{1-V^2/2c^2}$. Отсюда доля массы присоединённого кванта с его собственной волной будет $m_k=\frac{mV^2}{2c^2}$, что и отвечает равенству (11).

Итак, в результате разгона электрон при движении в целом увеличивает свою массу и приобретает кинетическую энергию линейного движения $mV^2/2$, где m - новая полная масса электрона. А так как присоединённый квант является корпускулярно-волновым объектом, то для него можно записать уравнение $m_kc^2=h\nu_k$. (12)

Отсюда частота продольной волны будет $\nu_k=\frac{m_kc^2}{h}$, или с учётом (11) $\nu_k=\frac{mV^2}{2h}$. А так как стоячая волна вместе с электроном смещается и со скоростью *V*, то на электроне образуется и дополнительная циклическая волна с длиной $\lambda=\frac{V}{\nu_k}=\frac{2h}{mV}$. Тогда уже как *стоячая волна* она будет иметь длину вдвое меньшую, т.е. будет волной де Бройля $\lambda_{Бр}=\frac{h}{mV}$. Но, как мы видим, это не волна самого электрона, а сопровождающая его ***стоячая продольная*** волна.

Таким образом, мы видим, что все полученные результаты находятся в полном согласии, как с общепризнанными идеями де Бройля [1, 2], так и с исправленной ***трактовкой*** *специальной теории относительности* (СТО) [5]. То есть в согласии с той её трактовкой, которую ей пытался придать в своё время ещё Г.А. Лоренц.

Ссылки:

1. Соколов А.А., Лоскутов Ю.М., Тернов И.М. Квантовая механика. М.: ГУПИ МП РСФСР, 1962, 592с.

2. Невесский Н.Е. О законе фазовой гармонии Луи де Бройля. Интернет.

3. Эфирная природа электрического заряда и электрона.
http://sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13671.html

4. Корпускулярно-волновой дуализм природных явлений.
http://new-idea.kulichki.net/index.php?mode=physics

5. Подлинный смысл специальной теории относительности.
http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/13193.html