Internal processes and wave properties of elementary particles.

S.S. Vilkovskii

E-mail:metglas@i.ua

26 August 2015

Existence of the zero rotations for point particles with nonzero rest mass in the field of their quantum size under the influence of vacuum fluctuations is supposed. The assumption about coordinated interaction of these zero rotations of the above particles leads to possibility of the description of their wave properties.
Keywords: wave function, mass, wavelength, frequency, spin.

If on the way of a particle there is a wall with a hole, it significantly changes a picture of the probabilistic movement of a particle [1,2]. Therefore, there is the interaction of substance of a wall with freely moving particle. According to de Broglie, observed wave-like behavior of results of this interaction can be caused by existence of internal periodic processes in the microparticles [3]. In this regard there is reason to believe that within some models reflecting these periodic processes, taking into account their interaction, features of wave behavior of particles can be described and on the basis of it additional information on their internal properties is received.

Now in the field of physics of elementary particles essential successes is reached [4-10]. At the same time, in comparison with research of the phenomena occuring in atom, internal properties of elementary particles are not enough studied [6-8]. The equations describing the processes occuring in elementary particles, were obtained on the basis of the gauge theory of Yang - Mills [4,8]. As the equations of quantum electrodynamics for the atom, continuation of which they are, the equations Yang - Mills theory involves obtaining sufficiently accurate and complete picture of the description of the phenomena. Due to the importance of the solution of the matter the main efforts of modern physics are concentrated on it. However, from the viewpoint of achieving a successful structure description of atom, in which case it seems desirable to have a relatively simple theory describing the structure of the elementary particle, which is, for example, the Bohr theory for the atom.

Therefore, since it is impossible at present to fully solve the equations of the Yang-Mills [4,8]for describing the internal behavior of elementary particles, parallel to modern researches there can be useful a development of rather simple and clear model of the description of properties of the elementary particles. For this purpose we will try to describe first of all the behavior of an electron within its quantum size simple model, like of Bohr model for atom.

During the creation of the Bohr model of atom there were no such concepts, as spin of particles, physical vacuum. Let's try to consider these phenomena.

In the theory of Bohr hydrogen atom in the description of the quantum linear oscillator which is not considering spin: $E = \hbar\omega n$ to the generalized coordinates and impulses transition is made [2]. In this case for angular momentum of an electron expression follows: $M = \hbar n$ [2]. Similarly, at the description of the linear oscillator considering zero fluctuations: $E = \hbar\omega(n+1/2)$, let's pass to the generalized coordinates and impulses and then we will pass to a special case of a rotary motion. In this case the equation for angular momentum of an electron in atom of hydrogen takes the form: $M = \hbar(n+1/2)$. Here the composed $\hbar/2$ corresponds a particle spin. If to believe that the picture of a rotational motion of a particle on zero and other levels is similar to a picture of fluctuations of the linear oscillator at appropriate levels, then, proceeding from the point size of an electron, is advisable the following model to consider.

Let's assume that for the point particle comprising all mass and a charge of an electron there are zero rotations on some own (internal) orbit similar to zero fluctuations of the oscillator. Fluctuations of physical vacuum, type of the fluctuations forcing to fluctuate, shiver according to Schrödinger an electron [11] which, besides, in the considered model nearby electrons can exchange in coordination among themselves can be the cause holding on average an electron in own orbit. Rotation on a circle of a point is equivalent to its simultaneous participation in two perpendicular fluctuations displaced on a phase [1,2]. Let's note, the fluctuations of vacuum acting on the charged electron, basically should represent photons, electromagnetic waves under the influence of which charged particle has to make the movements close to the rotary. This model is similar to the idea of de Broglie on the oscillators at each point in the universe tuned to the frequency of the electron under consideration [3]. There nearby particles together tunes to frequency each other by exchanging electromagnetic waves.

In order that in the considered model the spin corresponds to the experience necessary to perform the equality $mv_r r = \hbar/2$, where r - the radius of the orbit, v_r - the velocity of the particle. Limiting the scope of rotation of Compton wavelength leads in this case to the value of the particle velocity on the inner orbit comparable to the speed of light and, accordingly, to a significant magnitude of its kinetic energy of rotation, which is missing in the formula for the rest energy. This leads to the possibility of the assumption that, virtually, the rest mass of the particle, which is on its own orbit, at rest ($v_r = 0$), similar to the calibration theories in the absence of the Higgs field is zero [4,8].

A particle on its own orbit may be called subparticle of elementary particle, the parameters of which we are seeing. In this case, we can put that the subparticle mass increases with its speed and particularly rapidly when approaching the speed of light so, that when $v_r = c - \varepsilon$, $c \gg \varepsilon$ for an electron at rest, it becomes equal to the experimentally observed its rest mass m_0:

$$m_0 v_r r = m_0 (c - \varepsilon) r \approx m_0 c r \approx \hbar / 2. \tag{1}$$

The assumption that the mechanical and magnetic moment of the electron is related to its local motion was proposed independently by many authors [12-14]. Significant interest is the result obtained from the Schrödinger found, confirmed by experiment, the properties of the electron shake - Zitterbewegung [11,15]. However, theoretical investigations in this case is not always easy due to the complexity of calculations, limits of a class of the considered particles. Therefore, we proceed from a simple model, which uses a small number of assumptions. From the equation (1) for the frequency of rotation of a particle in an internal orbit of an electron we receive equality:

$$\tilde{\omega}_0 = 2 m_0 c^2 / \hbar , \tag{2}$$

which coincides with the equation of equality of energy of rest of an electron and positron with energy of the photon turning into these particles near a massive kernel: $\hbar \tilde{\omega}_0 = 2 m_0 c^2$, absorbing the momentum (but not energy) of the photon [1,2].

Equality (multiplicity) of wavelength of a subparticle $\tilde{\lambda}_0$ and length of its orbit l_r, which is typical for nuclear orbits, also from (2) follows:

$$\tilde{\lambda}_0 = cT = 2\pi c / \tilde{\omega}_0 = 2\pi \hbar / 2 m_0 c = 2\pi r = l_r . \tag{3}$$

If the subjects surrounding an electron are in rest, which have to make the main contribution to his behavior, the average speed of their electrons is equal to zero. Let's consider for simplicity that the centers of own orbits of these electrons are in a motionless state. If to assume that trembling (in our model - rotation) electrons, thanks to interaction, becomes coordinated, their movement has to create a standing wave of frequency $\tilde{\omega}_0$ which will hold a subparticle of the motionless electron considered by us in own orbit. In this case, the existence of (3) can be explained as follows. In order that interaction of an electron (at rest) with the electromagnetic wave having the frequency determined by a formula (2) had resonant character, this wave must to pass through a certain point of its internal orbit of distance equal to length of its wave over the period of one complete revolution of a particle on an orbit. It does not contradict that charged particles exchange photons many of which merges in a continuous electromagnetic wave.

Thanks to longitudinal and transverse Doppler effect the picture of interaction of electromagnetic waves and a moving electron significantly becomes complicated. There is a question: what frequency has to correspond to a moving electron? The observer, with respect to which the electron moves as a result of delay of time must accept its frequency equal $\tilde{\omega}_1 = \tilde{\omega}_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ [2]. But this is the frequency with which the moving electron impact on the still surroundings.

On the other hand, by virtue of the invariance of moving systems, according to the equation (2) the moving electron must comply with frequency:

$$\tilde{\omega} = 2mc^2/\hbar = (2m_0c^2/\sqrt{1-v^2/c^2})/\hbar = \tilde{\omega}_0/\sqrt{1-v^2/c^2}. \qquad (4)$$

The frequency determined by the equation (4) has to correspond also to the frequency of the photon which is given rise an electron - in positron couple each of which particles moves with a speed v. To maintain the momentum it is necessary that it occurred near the massive nucleus having the same speed. Thus, the wave of this frequency can really interact with an wave of environment of electron. Defined by the equation (4) the frequency of the wave $\tilde{\omega}$, we will assume the corresponding to a moving electron. Proceeding from it, we can present behavior of an electron in the form of superposition of two flat waves with frequencies $\tilde{\omega}_0$ and $\tilde{\omega}$ identical, because of equal interaction, amplitude. Note, at values $v << c$ the results obtained below for the wavelength of an electron does not depend on which of the frequencies $\tilde{\omega}$ or $\tilde{\omega}_1$ has been taken, since $|\tilde{\omega} - \tilde{\omega}_0| \approx |\tilde{\omega}_1 - \tilde{\omega}_0| \approx \tilde{\omega}_0 v^2/2c^2$.

In the case under consideration discrepancy of frequencies $\tilde{\omega}_0$ and $\tilde{\omega}$ has to influence behavior of a moving electron creating areas in a bigger and smaller measure favoring to location of an electron. Rotation point in a circular orbit is a superposition of two perpendicular linear waves. The linear combination of two harmonic oscillations will be the decision for the oscillator with the harmonious compelling force. As we already noted, under the influence of a flat electromagnetic wave charged particle makes the movements close to the rotary. Based on this we can represent the behavior of the electron by the superposition of two plane waves of frequencies $\tilde{\omega}_0$ and $\tilde{\omega}$ of the same, due to the equal interaction, amplitude. The exact value of the received sum of fluctuations of two waves, and their approximate value for the case $\tilde{\omega} \approx \tilde{\omega}_0$, ($v \ll c$) can be represented as [2]:

$$u = a\cdot\cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_o x) + a\cdot\cos(\tilde{\omega} t - \tilde{k}x) = \psi(t,x)\varphi(t,x) = 2a\cdot\cos(\Delta\tilde{\omega}\cdot t/2 - \\ -\Delta\tilde{k}\cdot x/2)\cos[(\tilde{\omega}_0+\tilde{\omega})t/2 - (\tilde{k}_0+\tilde{k})x/2] \approx 2a\cos(\omega t - kx)\cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_0 x), \quad (5)$$

where $\omega=(\tilde{\omega}-\tilde{\omega}_0)/2=\Delta\tilde{\omega}/2$, $k=(\tilde{k}-\tilde{k}_0)/2=\Delta\tilde{k}/2$. For the waves with close frequencies corresponding to the last equality, the first oscillating multiplier acts as amplitude to process of high frequency $\tilde{\omega}_0$.

In particular, for photons the square of amplitude defines intensity, and the last - the probability of finding a particle in space. Quite logically in this model to assume that amplitude of fluctuations of high frequency plays a similar role for an electron. Using (4), (5) write the approximate value for frequency ω at $v << c$. As a result we receive the equation de Broglie connecting the frequency and energy for this case [1]:

$$\omega = \Delta\tilde{\omega}/2 = (\tilde{\omega}-\tilde{\omega}_0)/2 \approx m_0 v^2/2\hbar = \mathrm{E_k}/\hbar\,. \quad (6)$$

For the module of a wave vector k of an electromagnetic wave of length λ_w it is had:

$$k = 2\pi/\lambda_w = \Delta\tilde{k}/2 = (\tilde{k}-\tilde{k}_0)/2 = \tilde{\omega}_0(1/\sqrt{1-v^2/c^2}-1)/2c \approx \tilde{\omega}_0 v^2/4c^3 = m_0 v^2/2c\hbar\,. \quad (7)$$

The module of the amplitude, which determines the probability of finding the electron in space, is undergoing similar changes at half-wave length: $\lambda_w/2$. Considering it and using (7), believing that the relation of speeds of an electromagnetic wave and an electron equally to c/v, we come to de Broil's equation for wavelength [1,3]:

$$\lambda = (\lambda_w/2)/(c/v) = [(2\pi/k)/2]/(c/v) \approx h/m_0 v\,. \quad (8)$$

In this case the resonance of the second order - the repeating sequence of not resonant interaction of a wave and an electron, in particular, will exist in atom orbits which length is multiple to electron wavelength.

As amplitude of high-frequency fluctuations as we see from the equation (5), represents a wave, the decision for it, as usual for waves, has to be from the differential equation connecting, eventually, values of frequency and wavelength. Knowing the relationship between the kinetic energy E_k and an impulse p, defining ω and λ values, we can receive this equation. Let's enter the operator $\hat{\mathbf{g}}$ the translating sine into a cosine, and vice versa, which role imaginary unit can play, mutually converts the real and imaginary (sine and cosine) of the complex value. Doing replacement $E_k \to E = E_k + U$ leading to an additive in the equation of $U\psi$ where $U(x,y,z)$ - potential energy, we come to Schrödinger's equation [11] allowing to find the solution in a complex look:

$$i\hbar(\partial\psi/\partial t) = -(\hbar^2/2m)\Delta\psi + U\psi\,.$$

When obtaining wavelength of an electron (8) we, in particular, for the above reasons, reduced length of the corresponding electromagnetic wave entering in (7), twice. Similarly, we had to increase the frequency (6) twice: $\omega = 2 \cdot E_k / \hbar$. In Schrödinger's equation at the operator for energy in this case that equality remained, there has to be then a multiplier 1/2 which is reduced with a similar multiplier at the operator of impulses. The phase speed determined by a formula $v = \omega / k$ in this case is equal to particle speed. However according to (5) it will be group speed [2]: $v = \omega / k = \Delta\tilde{\omega} / \Delta\tilde{k}$. The phase speed determined from (5) in the case under consideration is equal to velocity of light [2]: $v_{\text{ф}} = \tilde{\omega}_0 / \tilde{k}_0 = c$ that is the expected result since in this case the original image of the resulting waves are electromagnetic waves.

At the same time, as on the experience de Broil's frequency, in difference from wavelength, does not give in to measurement [1], practically this change of frequency in the considered model nothing will change. In this regard it is possible to believe that in the formula for frequency in this approach nothing is to be changed. Only in this case at substitution of energy and an impulse (mass and the speed of ~~a~~ the particle) in expression of $\omega = kv$ (according to the aforesaid equivalent $\Delta\tilde{\omega} = \Delta\tilde{k}v$) equality will not be carried out.

In this model the subparticle in an orbit moves with almost light speed and in lack of the movement possesses zero mass. In this regard, the issue of the gyromagnetic ratio of the electron in this case requires a special study. Let's note, the calculated anomalous magnetic moment of an electron in the assumption of its trembling in the field of the quantum size gives a good consent with value earlier received Schwinger [16].

The wave function, acting as a low-frequency multiplier of the equation (5), a good description of the area above the Compton wavelength, the external behavior of micro-particles in a large range of its properties, regardless of the second multiplier. It is possible to assume that high-frequency function has to describe behavior of an electron in scales of its Compton wavelength, namely, electron subparticles, and also in considerable area regardless of the first multiplier.

The differential equation for high-frequency function φ of equality (5) in the assumption that particle speed in own orbit is equal $v_r \approx c$, and the speed of the center of an orbit $v << c$, due to the fact that its solution is primarily a function must satisfy $\varphi(t, x) = \cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_0 x)$ it is as follows:

$$(1/c^2)[\partial^2\varphi(\vec{\mathbf{r}},t)/\partial(t)^2] - \Delta\varphi(\vec{\mathbf{r}},t) = 0 .$$

The muon is a particle similar to an electron, with the different size of mass [4,7]. Therefore for it the conclusions similar the aforesaid are apparently fair. In this model, the wave properties of neutral particles can be explained by the fact that they are composed of charged particles.

All elementary particles possess wave properties. It can be assumed that the particles that make up the elementary particle with a rest mass different from zero, perform on their inner orbits local movement similar to the movement of an electron in the quantum of its size. The existence of these periodic processes in elementary particles does not contradicts Standard model, experiment in which the elementary particle consists of point particles [4,7].

References

1. V. G. Levich, Yu. A. Vdovin, V. A. Myamlin, Kurs teoreticheskoy fiziki, T.2, Nauka, Moskva (1971), s.936.
2. E.V. Shpol'skiy, Atomnaya fizika, T. 1, Nauka, Moskva (1974), s. 576.
3. M. Dzhemmer, Evolyutsiya ponyatiy kvantovoy mekhaniki, Nauka, Moskva (1985), s. 380.
4. G. Keyn, Sovremennaya fizika elementarnykh chastits, Mir, Moskva (1990), s.360.
5. I.M. Kapitonov, Vvedeniye v fiziku yadra i chastits, URSS, Moskva (2006), s.328.
6. S. V. Troitskiy, Uspekhi fizicheskikh nauk 182, 77 (2012).
7. B. S. Ishkhanov , I.M. Kapitonov , N.P. Yudin , Chastitsy i atomnyye yadra , Izd.LKI , Moskva (2007) , s. 584.
8. A. I. Akhiyezer, Teoriya fundamental'nykh vzaimodeystviy, Naukova Dumka, Kiyev (1993), s.570.
9. A. V. Kotikov, arXiv; 1502.07108 v1 [hep-ph] (2015).
10. Teoriya izlucheniya relyativistskikh chastits , Pod red . V.A. Bordovitsyna , Fizmatlit, Moskva (2002) , s. 576 .
11. E. Shredinger, Izbrannyye trudy po kvantovoy mekhanike, Nauka, Moskva (1976), s. 418.
12. A. Huang, American Journal of Physics 47, 797 (1949).
13. A. O. Barut, A. J. Bracken, Physical Review D. 23, 2454 (1981).
14. D. Hestenes, Found Physics 20, 1213 (1990).
15. R. Gerritsma, Nature 463, 68 (2010).
16. A.V. Kozlov, E.A. Nemchenko, Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta 128, 89 (2012) .

Russian translation

Внутренние процессы и волновые свойства элементарных частиц.

С.С. Вильковский

Предполагается существование нулевых вращений для точечных частиц отличной от нуля массы покоя в области их квантового размера под действием флуктуаций вакуума. Допущение о согласованном взаимодействии данных нулевых вращений указанных выше частиц приводит к возможности описания их волновых свойств.

Ключевые слова: волновая функция, масса, длина волны, частота, спин.

Существование на пути частицы стенки с отверстием в значительной степени изменяет картину вероятностного движения частицы [1,2]. Следовательно, в этом случае происходит взаимодействие вещества стенки со свободно движущейся частицей. Наблюдаемый волновой характер результатов данного взаимодействия может быть обусловлен, согласно де Бройлю, существованием внутренних периодических процессов в микрочастицах [3]. В связи с этим есть основания полагать, что в рамках некоторых моделей, отражающих данные периодические процессы с учетом их взаимодействия, могут быть описаны особенности волнового поведения частиц и на основании этого получена дополнительная информация об их внутренних свойствах.

В настоящее время в области физики элементарных частиц были достигнуты существенные успехи [4-10]. Вместе с тем, в сравнении с исследованием явлений, происходящих в атоме, внутренние свойства элементарных частиц не являются достаточно изученными [6-8]. Уравнения, описывающие процессы, происходящие в элементарных частицах, были получены на основании калибровочной теории Янга – Миллса [4,8]. Как и уравнения квантовой электродинамики для атома, продолжением развития которой они являются, уравнения теории Янга – Миллса предполагают получение достаточно точной и полной картины описания явлений. В связи с важностью решения данного вопроса на этом сосредоточены основные усилия современной физики. Вместе с тем, с точки зрения опыта успешного достижения описания строения атома, в этом случае представляется желательным иметь относительно несложную теорию описания строения простейших элементарных частиц, какой является, например, теория Бора для атома.

В связи с этим, в силу невозможности в настоящее время решения в полной мере уравнений типа Янга-Милса [4,8] для описания внутреннего поведения элементарных частиц, параллельно современным исследованиям, может быть полезным разработка относительно несложной и понятной модели описания свойств простейших элементарных частиц. С этой целью попытаемся описать прежде всего поведение электрона в пределах его квантового размера простой моделью, типа модели Бора для атома.

В период создания боровской модели атома отсутствовали такие понятия, как спин частиц, физический вакуум. Попробуем учесть данные явления.

В теории атома водорода Бора производится переход в описании квантового линейного осциллятора, не учитывающего спин: $E = \hbar\omega n$, к обобщенным координатам и импульсам [2]. В этом случае для момента количества движения электрона следует выражение: $M = \hbar n$ [2]. Аналогично, при описании линейного осциллятора, учитывающего нулевые колебания: $E = \hbar\omega(n + 1/2)$, перейдем к обобщенным координатам и импульсам и затем перейдем к частному случаю вращательного движения. В этом случае уравнение для момента количества движения электрона в атоме водорода принимает вид: $M = \hbar(n + 1/2)$. Здесь слагаемое $\hbar/2$ соответствует спину частицы. Если полагать, что картина вращательного движения частицы на нулевом и иных уровнях, как и для линейного осциллятора, аналогична, то исходя из точечного размера электрона, представляется целесообразным рассмотреть следующую модель.

Предположим, что для точечной частицы, содержащей в себе всю массу и заряд электрона, существуют нулевые вращения по некоторой собственной (внутренней) орбите аналогичные нулевым колебаниям осциллятора. Причиной удерживающей в среднем электрон на собственной орбите могут быть флуктуации физического вакуума, типа флуктуаций заставляющих колебаться, дрожать, согласно Шредингеру, электрон [11], которыми, кроме того, в рассматриваемой модели близлежащие электроны могут согласованно обмениваться между собой. Вращение по окружности точки эквивалентно одновременному участию ее в двух перпендикулярных смещенных по фазе колебаниях [1,2]. Отметим, флуктуации вакуума, действующие на заряженный электрон, в основном должны представлять собой фотоны, электромагнитные волны, под действием которых заряженная частица должна совершать движения близкие к вращательн*ому*. Данная модель близка к идее де Бройля об осцилляторах в каждой точке Вселенной, настроенных на частоту рассматриваемого электрона [3]. Здесь близлежащие частицы вместе настраиваются на частоту друг друга посредством обмена электромагнитными волнами.

Чтобы в рассматриваемой модели величина спина соответствовала опыту необходимо выполнение равенства $mv_r r = \hbar / 2$, где r - радиус орбиты, v_r - скорость частицы. Ограничение области вращения комптоновской длиной волны приводит в данном случае к значению скорости частицы на внутренней орбите сравнимой со световой и, соответственно, к заметной величине ее кинетической энергии вращения, которая отсутствует в формуле для энергии покоя. Это приводит к возможности предположения, что, практически, масса покоя частицы, которая находится на собственной орбите, в покое ($v_r = 0$), аналогично калибровочным теориям в отсутствии хиггсового поля, равна нулю [4,8].

Частицу на собственной орбите можно назвать субчастицей элементарной частицы, параметры которой мы наблюдаем. В данном случае можно положить, что масса субчастицы увеличивается со скоростью и особенно быстро при приближении к скорости света так, что при $v_r = c - \varepsilon$, $c \gg \varepsilon$ для покоящегося электрона она становится равной наблюдаемой на опыте его массе покоя m_0:

$$m_0 v_r r = m_0 (c - \varepsilon) r \approx m_0 c r \approx \hbar / 2. \quad (1)$$

Предположение о связи механического и магнитного момента с локальным движеним электрона было предложено независимо многими авторами [12-14]. Существенный интерес вызывает данный результат получаемый из найденного Шредингером, подтвержденного экспериментом, свойства дрожания электрона - Zitterbewegung [11,15]. Однако теоретические исследования в данном случае не всегда удобны в силу сложности расчетов, ограничения класса рассматриваемых частиц. В связи с этим мы исходим из более простой модели, в которой используется небольшое количество исходных предположений. Из уравнения (1) получаем для частоты вращения частицы на внутренней орбите электрона равенство:

$$\tilde{\omega}_0 = 2 m_0 c^2 / \hbar , \quad (2)$$

которое совпадает с уравнением, связывающим энергию покоя электрона и позитрона с энергией фотона превращающегося в данные частицы вблизи массивного ядра: $\hbar \tilde{\omega}_0 = 2 m_0 c^2$, поглощающего импульс (но не энергию) фотона [1,2].

Из (2) также следует характерное для атомных орбит равенство (кратность) длины волны субчастицы $\tilde{\lambda}_0$ длине орбиты l_r :

$$\tilde{\lambda}_0 = cT = 2\pi c / \tilde{\omega}_0 = 2\pi \hbar / 2 m_0 c = 2\pi r = l_r . \quad (3)$$

Если окружающие электрон предметы неподвижны, которые должны вносить основной вклад в рассматриваемой модели в его поведение, то средняя скорость их электронов равна нулю. Будем считать для простоты, что центры собственных орбит данных электронов неподвижны. Если предположить, что дрожание (в нашей модели - внутреннее вращение) электронов, благодаря взаимодействию, становится согласованным, то их движение должно создавать стоячую волну частоты $\tilde{\omega}_0$, которая будет удерживать субчастицу рассматриваемого нами неподвижного электрона на собственной орбите. В этом случае существование равенства (3) можно объяснить следующим образом. Для того, чтобы взаимодействие (покоящегося) электрона с электромагнитной волной, имеющей частоту, определяемую формулой (2), имело резонансный характер, данная волна должна проходить через определенную точку его внутренней орбиты расстояние равное длине ее волны за период одного полного оборота частицы по орбите. Это не противоречит тому, что заряженные частицы обмениваются фотонами, значительное количество которых сливается в непрерывную электромагнитную волну.

Благодаря продольному и поперечному эффекту Доплера картина взаимодействия электромагнитных волн и движущегося электрона существенно усложняется. Возникает вопрос, какая частота должна соответствовать движущемуся электрону? Наблюдатель, мимо которого движется электрон, в результате замедления времени должен воспринимать его частоту равную $\tilde{\omega}_1 = \tilde{\omega}_0\sqrt{1-v^2/c^2}$ [2]. Но это частота, с которой движущийся, электрон воздействует на неподвижное окружение.

С другой стороны, в силу инвариантности движущихся систем согласно равенству (2) движущемуся электрону должна соответствовать частота:

$$\tilde{\omega} = 2mc^2/\hbar = (2m_0c^2/\sqrt{1-v^2/c^2})/\hbar = \tilde{\omega}_0/\sqrt{1-v^2/c^2}. \quad (4)$$

Частота, определяемая уравнением (4), должна соответствовать также частоте фотона рожденного электрон – позитронной парой каждая из частиц которой движется со скоростью v. Для сохранения импульса необходимо, чтобы это происходило вблизи массивного ядра, имеющего такую же скорость. Таким образом, волна данной частоты реально может взаимодействовать с волной окружения электрона. Определяемую уравнением (4) частоту волны $\tilde{\omega}$ мы будем предполагать соответствующую движущемуся электрону. Исходя из этого, мы можем представить поведение электрона в виде суперпозиции двух плоских волн с частотами $\tilde{\omega}_0$ и $\tilde{\omega}$ одинаковой, из-за равного взаимодействия, амплитуды. Отметим, при значениях $v << c$ полученные ниже результаты для длины волны электрона не зависят от того, какая из частот $\tilde{\omega}$ или $\tilde{\omega}_1$ была взята, поскольку $|\tilde{\omega}-\tilde{\omega}_0| \approx |\tilde{\omega}_1-\tilde{\omega}_0| \approx \tilde{\omega}_0 v^2 / 2c^2$.

Несовпадение частот $\tilde{\omega}_0$ и $\tilde{\omega}$ в рассматриваемом случае должно влиять на поведение движущегося электрона создавая области в большей и меньшей мере благоприятствующие местонахождению электрона. Вращение точки по круговой орбите является наложением двух перпендикулярных линейных колебаний. Решением для осциллятора с гармонической вынуждающей силой будет линейная комбинация двух гармонических колебаний. Как мы уже отмечали, под действием плоской электромагнитной волны заряженная частица совершает движения близкие к вращательным. Основываясь на этом мы можем представить поведение электрона наложением двух плоских волн частот $\tilde{\omega}_0$ и $\tilde{\omega}$ с одинаковой, в силу равного взаимодействия, амплитудой. Точная величина получаемой суммы колебаний двух волн, а также их приближенное значение для случая $\tilde{\omega} \approx \tilde{\omega}_0$ $(v \ll c)$ могут быть представлены в виде [2]:

$$\begin{aligned} u = a\cdot\cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_o x) + a\cdot\cos(\tilde{\omega} t - \tilde{k}x) = \psi(t,x)\varphi(t,x) = 2a\cdot\cos(\Delta\tilde{\omega}\cdot t/2 - \\ -\Delta\tilde{k}\cdot x/2)\cos[(\tilde{\omega}_0+\tilde{\omega})t/2 - (\tilde{k}_0+\tilde{k})x/2] \approx 2a\cos(\omega t - kx)\cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_0 x) \end{aligned}, \quad (5)$$

где $\omega=(\tilde{\omega}-\tilde{\omega}_0)/2=\Delta\tilde{\omega}/2$, $k=(\tilde{k}-\tilde{k}_0)/2=\Delta\tilde{k}/2$. Для волн с близкими частотами, соответствующих последнему равенству, первый осциллирующий множитель выступает в роли амплитуды процессу высокой частоты $\tilde{\omega}_0$.

В частности, для фотонов квадрат амплитуды определяет интенсивность, а последняя - вероятность нахождения в пространстве частицы. Вполне логично в данной модели предположить, что амплитуда колебаний высокой частоты играет аналогичную роль для электрона. Используя (4), (5) запишем приближенное значение для частоты ω при $v \ll c$. В результате получаем для данного случая уравнение де-Бройля, связывающее частоту и энергию [1]:

$$\omega = \Delta\tilde{\omega}/2 = (\tilde{\omega}-\tilde{\omega}_0)/2 \approx m_0 v^2/2\hbar = \mathrm{E}_k/\hbar . \quad (6)$$

Для модуля волнового вектора k электромагнитной волны длины λ_w имеем:

$$k = 2\pi/\lambda_w = \Delta\tilde{k}/2 = (\tilde{k}-\tilde{k}_0)/2 = \tilde{\omega}_0(1/\sqrt{1-v^2/c^2}-1)/2c \approx \tilde{\omega}_0 v^2/4c^3 = m_0 v^2/2c\hbar . \quad (7)$$

Модуль амплитуды, определяющей вероятность нахождения в пространстве электронов, претерпевает одинаковые изменения на длине полуволны $\lambda_w/2$. Учитывая это и используя (7), полагая, что отношение скоростей электромагнитной волны и электрона равно c/v, мы приходим к уравнению де Бройля для длины волны [1,3]:

$$\lambda = (\lambda_w / 2) / (c / v) = [(2\pi / k) / 2] / (c / v) \approx h / m_0 v \,. \qquad (8)$$

В данном случае резонанс второго порядка - повторяющейся последовательности нерезонансного взаимодействия волны и электрона будет, в частности, существовать на орбитах атома, длина которых кратна длине волны электрона.

Поскольку амплитуда высокочастотных колебаний, как мы видим из уравнения (5), представляет собой волну, то решение для нее, как обычно для волн, должно находиться из дифференциального уравнения, связывающего, в конечном счете, значения частоты и длины волны. Зная связь между кинетической энергией E_k и импульсом p, определяющих значения ω и λ, мы можем получить данное уравнение. Введем оператор $\widehat{\mathbf{g}}$ переводящий синус в косинус и наоборот, роль которого может играть мнимая единица, взаимно преобразующая реальную и мнимую ($\sin$ и $\cos$) часть комплексной величины. Делая замену $E_k \to E = E_k + U$, приводящую к добавке в уравнение $U\psi$, где $U(x,y,z)$ - потенциальная энергия, мы приходим к уравнению Шредингера [11], позволяющему находить решение в комплексном виде:

$$i\hbar(\partial\psi / \partial t) = -(\hbar^2 / 2m)\Delta\psi + U\psi \,.$$

При получении длины волны электрона (8) мы, в частности, по вышеуказанным причинам, уменьшили длину соответствующей электромагнитной волне, входящей в (7), вдвое. Аналогично мы должны были вдвое увеличить частоту (6): $\omega = 2 \cdot E_k / \hbar$. В уравнении Шредингера при операторе для энергии в этом случае, чтобы сохранилось равенство, должен тогда появиться множитель 1/2, который сокращается с аналогичным множителем при операторе импульсов. Фазовая скорость, определяемая формулой $v=\omega/k$, в этом случае равна скорости частицы. Однако в соответствии с (5) она будет являться групповой скоростью [2]: $v=\omega/k=\Delta\tilde{\omega}/\Delta\tilde{k}$. Фазовая скорость, определяемая из (5), в рассматриваемом случае равна скорости света [2]: $v_ф = \tilde{\omega}_0 / \tilde{k}_0 = c$, что является ожидаемым результатом, поскольку в этом случае первоначальными образующими результирующей волны являются электромагнитные волны.

Вместе с тем, поскольку на опыте частота де Бройля, в отличи~~и~~е от длины волны, не поддается измерению [1], данное изменение частоты в рассматриваемой модели практически ни что не изменит. В связи с этим можно полагать, что в формуле для частоты в данном подходе ни что не нужно менять. Только в этом случае при подстановке энергии и импульса (массы и скорости частицы) в выражение $\omega = kv$ (согласно вышесказанному эквивалентное $\Delta\tilde{\omega} = \Delta\tilde{k}v$) равенство не будет выполняться.

В данной модели субчастица на орбите движется с околосветовой скоростью и в отсутствии движения обладает нулевой массой. В связи с этим вопрос гиромагнитного отношения для электрона в этом случае требует специального исследования. Отметим, вычисленный аномальный магнитный момент электрона в предположении его дрожания в области квантового размера дает хорошее согласие со значением ранее полученным для него Швингером [16].

Волновая функция, выступая в качестве низкочастотного множителя уравнения (5), хорошо описывает область выше комптоновской длины волны, внешнее поведение микрочастицы в значительном диапазоне ее свойств независимо от второго множителя. Можно предположить, что высокочастотная функция должна описывать поведение электрона в масштабах комптоновской его длины волны, а именно, субчастицы электрона, и также в значительной области независимо от первого множителя.

Дифференциальное уравнение для высокочастотной функции φ равенства (5) в предположении, что скорость частицы на собственной орбите $v_r \approx c$, а скорость центра орбиты $v << c$, в силу того, что ее решению, прежде всего, должна удовлетворять функция $\varphi(t,x) = \cos(\tilde{\omega}_0 t - \tilde{k}_0 x)$, имеет вид:

$$(1/c^2)[\partial^2\varphi(\vec{\mathbf{r}},t)/\partial(t)^2] - \Delta\varphi(\vec{\mathbf{r}},t) = 0\,.$$

Мюон является частицей, аналогичной электрону, отличающейся от него величиной массы [4,7]. Следовательно, для него, по-видимому, справедливы выводы, аналогичные вышеприведенным. В данной модели волновые свойства нейтральных частиц могут быть объяснены тем, что они состоят из заряженных частиц.

Волновыми свойствами обладают все элементарные частицы. Можно предположить, что частицы, входящие в состав элементарных частиц, обладающих массой покоя не равной нулю, совершают по своим внутренним орбитам локальные движения аналогичные движению электрона в области своего квантового размера. Существование данных периодических процессов в элементарных частицах не противоречит Стандартной модели, эксперименту, в соответствии с которыми структуру элементарных частиц составляют точечные частицы [4,7].

Список литературы

1. В. Г. Левич, Ю. А. Вдовин, В. А. Мямлин, Курс теоретической физики, Т.2, Наука, Москва (1971), с.936.
2. Э.В. Шпольский, Атомная физика, Т. 1, Наука, Москва (1974), с. 576.
3. М. Джеммер, Эволюция понятий квантовой механики, Наука, Москва (1985), с. 380.
4. Г. Кейн, Современная физика элементарных частиц, Мир, Москва (1990), с.360.
5. И.М. Капитонов, Введение в физику ядра и частиц, УРСС, Москва (2006), с.328.
6. С. В. Троицкий, Успехи физических наук 182, 77 (2012).
7. Б. С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин, Частицы и атомные ядра, Изд.ЛКИ, Москва (2007) , с. 584.
8. А. И. Ахиезер, Теория фундаментальных взаимодействий, Наукова Думка, Киев (1993), с.5705.
9. A. V. Kotikov, arXiv; 1502.07108 v1 [hep-ph] (2015).
10. Теория излучения релятивистских частиц, Под ред. В.А. Бордовицына, Физматлит, Москва (2002), с. 576.
11. Э. Шредингер, Избранные труды по квантовой механике, Наука, Москва (1976), с. 418.
12. A. Huang, American Journal of Physics 47, 797 (1949).
13. A. O. Barut, A. J. Bracken, Physical Review D. 23, 2454 (1981).
14. D. Hestenes, Found Physics 20, 1213 (1990).
15. R. Gerritsma, Nature 463, 68 (2010).
16. А.В. Козлов, Е.А.. Немченко, Вестник Томского государственного педагогического университета 128, 89 (2012).