УДК 539:124

ЗАГАДКА КОМПТОНОВСКОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЭЛЕКТРОНА

Попенко В.Й.
Научно-производственная корпорация «Киевский институт автоматики»

В результате детального анализа Комптоновской длины волны электрона, обнаружена логически связанная с ней частота электрона Ωо. Приведены факты проявления частоты Ωо во взаимодействиях электрона, и связь частоты излучений электрона с частотой Ωо. Указана возможность обнаружить новые неизвестные свойства электрона, связанные с частотой электрона Ωо.

Ключевые слова: электрон, Комптоновская длина волны электрона, аннигиляция, излучение, волновая функция.

Электрону, свойственны следующие, экспериментально установленные, основные характеристики: электрический заряд e, масса m, энергия W, эффективное сечение рассеяния электроном энергии электромагнитной волны σ_e, магнитный момент μ_e, момент количества движения, или спин p_s, волновая функция $\varphi(t,x)$, длина волны де-Бройля λ и Комптоновская длина волны электрона Λ.

Каждая из перечисленных характеристик электрона имеет определённый физический смысл [1].

Заряд электрона e – мера взаимодействия электрона с внешним электрическим полем. Сила, действующая на электрон в электрическом поле равна произведению заряда на вектор поля E,

$$F = e \cdot E.$$

Масса электрона m – мера противодействия изменению состояния электрона. Сила, противодействия изменению скорости электрона, равна произведению его массы m на ускорение $\dot{v}$,

$$F = m \cdot \dot{v}.$$

Энергия электрона W определяет количество энергии заключенной в электроне, которая согласно специальной теории относительности, равна произведению массы электрона на скорость света $W = mc^2$, и может быть испущена в виде квантов электромагнитного излучения, в процессе аннигиляции электрона с позитроном

$$W = h \cdot \nu.$$

Эффективное сечение рассеяния электроном энергии электромагнитной волны характеризует рассеивающие свойства электрона, и равно 2/3 площади сферы, с, так называемым, классическим радиусом электрона r_0, [1],

$$\sigma_e = \frac{2}{3} 4\pi r_0^2, \text{ где } r_0 = \frac{e^2}{m_0 c^2}.$$

Магнитный момент электрона μ – мера взаимодействия электрона с внешним магнитным полем. В магнитном поле на электрон действует момент сил равный векторному произведению магнитного момента электрона на вектор напряженности магнитного поля $M = \mu \times H$. Численное значение магнитного момента равно магнетону Бора [1]

$$\mu_B = \frac{eh}{4\pi mc}.$$

Собственный момент количества движения электрона, или спин p_s – мера противодействия электрона изменению ориентации в пространстве. Момент сил, направленны на изменение ориентации спина электрона в пространстве вызывает его прецессию. Численное значение спина равно константе постоянная Планка, делёной на 4π [1],

$$p_s = \frac{h}{4\pi}.$$

Волновая функция специфическая характеристика микрочастиц в квантовой физике описывает состояние их движения. Согласно гипотезе о волнах материи Де-Бройля, волновая функция представляет собой амплитуду вероятности пребывания частицы в рассматриваемой области пространства [2]

$$\psi(t,x) = A\, exp\, i\left(\frac{W}{\hbar} t - \frac{p}{\hbar} x\right).$$

Квадрат модуля волновой функции равен плотности вероятности обнаружения частицы в заданной точке.

Длина волны волновой функции электрона $\lambda = \frac{h}{mv}$, длина волны де-Бройля является параметром, определяющим картину дифракции электронов рассеиваемых на кристаллах [2].

Характеристика Комптоновская длина волны электрона, являющаяся предметом исследования в статье, получена, как параметр изменения длины волны рентгеновского излучения, рассеиваемого электронами атомов, в теоретическом обосновании опыта Комптона [3],

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\sin^2\frac{\theta}{2} \cdot \frac{h}{m_0 c} = f(\theta) \cdot \Lambda.$$

Это изменение равно произведению функции угла рассеяния $f(\theta)$ на некоторую константу Λ, названную Комптоновской длиной волны электрона, составленную из мировых констант постоянной Планка h, массы электрона m_o и скорости света c,

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c} = 2{,}42621 \cdot 10^{-10} \text{ см.} \quad (1)$$

Задачей статьи является попытка установить физический смысл характеристики электрона Комптоновская длина волны, объяснение, которому в физической литературе автором не обнаружены.

Волновые свойства присущие электрону при рассеянии рентгеновского излучения в опыте Комптона никак не проявляются, и в теоретическом обосновании эксперимента не фигурируют, и потому не могут способствовать установлению физического смысла Комптоновской длины волны электрона [3].

К тому же длина волн де – Бройля, $\lambda = \frac{h}{mv}$, электронов отдачи, которые действительно имеют место в опыте Комптона, при $v < c$, на несколько порядков превышают Комптоновскую длину волны $\lambda > \Lambda$ [2].

Между тем, следует отметить, что Комптоновская длина волны электрона заметно проявляется, как мера длины в определённых зависимостях атомной физики.

Магнитный момент электрона, с обозначением Комптоновской длиной волны вместо комбинации констант h, m, c, приобретает характерную для момента диполя зависимость, как произведение зарядов e, образующих диполь, на расстояние Λ между ними, с коэффициентом $\frac{1}{4\pi}$,

$$\mu = \frac{eh}{4\pi mc} = \frac{e \cdot \Lambda}{4\pi}.$$

Спин, электрона с обозначением Комптоновской длины волны электрона, также приобретает харак-

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

терную для момента количества движения зависимость, как произведение массы m, на скорость c и на длину плеча Λ, с коэффициентом $\frac{1}{4\pi}$

$$p_s = \frac{h}{4\pi} = \frac{mc\Lambda}{4\pi}.$$

Длина волны излучений электронов в его взаимодействиях также проявляет очевидную зависимость от Комптоновской длины волны.

Коротковолновая граница тормозного рентгеновского излучения электрона равна Комптоновской длине волны с коэффициентом в виде отношения энергии покоя электрона к максимальной кинетической энергии электронов, приобретаемой в ускоряющем потенциале U [4]

$$\lambda_{\Gamma} = \frac{ch}{eU} = \frac{ch}{0.5mv^2} = \frac{h}{m_o c}\frac{m_o c^2}{0.5mv^2} = \Lambda \cdot \frac{W_0}{W_k} \quad (2)$$

Длина волны λ_{mn} спектральной составляющей излучения атома водорода, вычисляемая из формулы Бальмера – Ридберга равна Комптоновской длине волны электрона, умноженной на квадрат постоянной тонкой структуры и безразмерную спектральную функцию в виде разности квадратов обратных значений натуральных чисел m, n [4]

$$\lambda_{mn} = \Lambda \cdot 2\alpha^2 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right)^{-1}. \quad (3)$$

Особый интерес, для задачи, поставленной в статье, представляет факт равенства длины волны γ – квантов, испускаемых при аннигиляции электрон – позитронной пары Комптоновской длине волны электрона, который был проверен экспериментально и подтвержден с большой точностью [5]

$$\lambda_\gamma = \frac{h}{m_o c} = \Lambda \quad (4)$$

В физике микромира расстояние иногда задаётся, как путь проходимый светом за определённый интервал времени, который называется временем пролёта. Если рассматривать характеристику электрона Комптоновская длина волны с этой позиции, очевидно, для электрона существует характерный интервал времени, или период T, такой что произведение его на скорость света равно Комптоновской длине волны электрона

$$c \cdot T = \Lambda.$$

Длина волны λ, как физическая категория, обычно связана с другой физической категорией волны – частотой ν. В классической электродинамике длина волны связана с частотой простым соотношением

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

где частота ν – величина обратная периоду T,

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Поэтому нет никаких причин, не позволяющих записать Комптоновскую длину волны электрона Λ, как зависимость классической электродинамики в виде отношения скорости света c и частоты Ω, соответствующей интервалу времени или периоду T,

$$\Lambda = \frac{h}{m_o c} = c \cdot T = 2\pi \frac{c}{\Omega}. \quad (5)$$

Таким образом, в результате детального анализа характеристики электрона Комптоновская длина волны, получена новая его характеристика частота электрона Ω, формально связанная с Комптоновской длиной волны электрона отношением скорости света и Комптоновской длины волны электрона

$$\Omega = 2\pi \frac{c}{\Lambda}$$

Характеристику электрона, частота электрона Ω, можно поименовать Комптоновской частотой электрона, по аналоги с Комптоновской длиной волны электрона, но, поскольку Комптон не использовал эту возможность, будем называть её просто частотой электрона.

На шкале электромагнитных волн частота электрона расположена у границы рентгеновских лучей, испускаемых при взаимодействии электронов высоких энергий, и гамма лучей, испускаемых в ядерных реакциях

$$\Omega o = 7{,}7637619 \cdot 10^{20} \text{ рад/сек.}$$

Из равенства Комптоновской длины волны электрона Λ длине волны гамма – фотонов λ_γ, испускаемых при аннигиляции электрон – позитронной пары, следует, что частота электрона Ω в точности равна частоте гамма – фотонов ω_γ

$$\Lambda = 2\pi \frac{c}{\Omega} = \lambda_\gamma = 2\pi \frac{c}{\omega_\gamma}, \text{ откуда } \Omega = \omega_\gamma. \quad (6)$$

В формуле Комптоновской длины волны электрона (1) стоит масса покоя электрона m_o, частоту покоящегося электрона следует также писать с нулевым индексом Ωo.

Масса движущегося электрона, согласно специальной теории относительности, зависит от скорости его движения [6]

$$m = m_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}.$$

Следует полагать, что частота электрона, в формулу которой входит его масса, также зависит от скорости движения электрона

$$\Omega = 2\pi \frac{mc^2}{h} = 2\pi \frac{m_o c^2}{h}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5} = \Omega_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}. \quad (7)$$

Для нерелятивистских скоростей $v < c$ частоту электрона, в некотором приближении можно записать как сумму частоты покоя электрона Ωo и слагаемого ω_v, зависящего от состояния электрона

$$\Omega = \Omega_o \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5} \approx \Omega_o + 0{,}5\frac{v^2}{c^2}\Omega_o = \Omega_o + \omega_v. \quad (8)$$

Умножая числитель и знаменатель $0{,}5\frac{v^2}{c^2}\Omega_o$ на массу электрона, слагаемое частоты, зависящее от состояния электрона ω_v, получим, как произведение частоты покоя электрона на отношение кинетической энергии электрона и его энергии покоя,

$$\omega_v = 0{,}5\frac{v^2}{c^2}\Omega_o = \Omega_o \frac{0.5mv^2}{mc^2} = \Omega_o \frac{W_k}{W_0} \quad (9)$$

Зависимость частоты излучения электронов от их кинетической энергии характерна для большинства взаимодействий электронов, примеры, подтверждающие это утверждение, приведены ниже.

Граничная, или максимальная частота тормозного рентгеновского излучения электрона, приобретшего в ускоряющем потенциале U кинетическую энергию $0.5m_o \vartheta^2 = eU$, равна отношению его кинетической энергии и постоянной Планка $\hbar$, [4]

$$\omega_{\text{гр}} = 2\pi \nu_{\text{гр}} = \frac{0.5m_o\vartheta^2}{\hbar}.$$

При подстановке констант $\hbar = 2\pi m_o c \Lambda$ из (1) и $\Lambda = 2\pi \frac{c}{\Omega}$ из (5), граничная частота приобретает иной смысловой оттенок, становится равной частоте электрона, с нормирующим коэффициентом, в виде отношения кинетической энергии излучающего электрона к его энергии покоя

$$\omega_{\text{гр}} = \frac{0.5m_o\vartheta^2}{\hbar} = \frac{0.5m_o\vartheta^2}{m_o c\,\Lambda} = \Omega_o \frac{0.5m_o\vartheta^2}{m_o c^2} = \Omega_o \frac{W_k}{W_0}. \quad (10)$$

Энергия фотонов, излучаемых электронами возбужденных атомов, равная произведению частоты фотонов ω и константы постоянная Планка

$$W = \hbar\omega.$$

При подстановке $\hbar = 2\pi m_o c \Lambda$ из (1) энергия фотонов становится равной энергии покоя электрона, умноженной на отношение частоты фотона ω к частоте электрона Ωо

$$W = \hbar\omega = 2\pi m_o c\,\Lambda\omega = 2\pi m_o c^2\,\frac{\omega}{\Omega_o} = W_0\,\frac{\omega}{\Omega_o} \qquad (11)$$

Спектр излучения атома водорода в волновых числах $\frac{1}{\lambda}$, отвечает сериальной формуле Бальмера – Ридберга [4],

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

где: константа постоянная Ридберга R равна $R = 0{,}5\alpha^2\Lambda$.

После умножения на $2\pi c$, подстановки R, и, учитывая, что, согласно равенству $2\pi\frac{c}{\Lambda} = \Omega_o$, получим формулу спектра частот атома водорода в зависимости от частоты электрона Ωо,

$$\omega = \frac{2\pi c}{\lambda} = 2\pi cR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = 0{,}5\frac{2\pi c}{\Lambda}\alpha^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = 0{,}5\Omega_o\alpha^2\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (12)$$

Не трудно заметить, что преобразованная формула спектра атома водорода проявляет явную зависимость от частоты электрона Ωо.

Ионизационный потенциал атома водорода равен половине произведения квадрата константы постоянной тонкой структуры на энергию покоя электрона

$$W_u = 0.5\ \alpha^2 m_o c^2,$$

и, соответственно, максимальной кинетической энергии электрона в атоме водорода $W_u = W_k$, откуда находим, что константа постоянная тонкой структуры равна отношению максимальной кинетической энергии к энергии покоя электрона $\alpha^2 = \frac{W_k}{W_0}$.

В результате, наблюдаемую частоту атома водорода (12) можно записать в следующем виде

$$\omega = \Omega_o\frac{W_k}{W_0}\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ или } \omega = \frac{\Omega_o}{W_0}W_k\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right). \quad (13)$$

Ωо и W_0 константы, поэтому спектр атома водорода равен частоте электрона Ωо и разложению в спектр кинетической энергии колебаний электрона в атоме, отнесённой к энергии покоя электрона.

Спектры излучения других атомов, также отвечающие сериальной формуле Бальмера – Ридберга с определенными дополнениями и поправками, и, поэтому, как и спектр атома водорода, также функционально зависят от частоты электрона Ωо.

Рассмотренные примеры свидетельствуют о том, что частоты излучений электронов ω пропорциональные частоте электрона Ωо и отношению кинетической энергии электрона к энергии покоя $\frac{W_k}{W_0}$ экспериментально наблюдаемы.

Частоты электрона Ω и Ωо во взаимодействиях электронов не наблюдаемы, т.е. виртуальны.

Следует также отметить, что характеристики электрона Комптоновская длина волны и частота электрона, связанны с волновыми свойствами электрона, которые определяются волновой функцией электрона квантовой механики

$$\psi(t,x) = A\,expi(\omega t - kx) = A\,expi\left(\frac{mc^2}{\hbar}t - \frac{mv}{\hbar}x\right). \quad (15)$$

В представлении Клейна – Гордона [7], частота ω волновой функции равна отношению полной энергии электрона к постоянной Планка

$$\omega = \frac{mc^2}{\hbar} = \frac{m_0c^2}{\hbar}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0,5}.$$

Для скорости движения электрона меньшей релятивистской $\vartheta < c$ справедливо приближенное равенство

$$\omega = \frac{m_0c^2}{\hbar}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-0.5} \approx \frac{m_0c^2}{\hbar} + \frac{0.5m_0v^2}{\hbar}.$$

При подстановке $\hbar = 2\pi m_o\ c\ \Lambda$ из (1) в первое слагаемое, частота волновой функции становится равной сумме частоты электрона Ωо и кинетической энергии электрона, делёной на константу постоянная Планка

$$\omega = \Omega_o + \Omega_o\frac{W_k}{\hbar} \qquad (16)$$

Волновую функцию с частотой (16) можно представить произведением функции, не зависящей от состояния электрона с частотой Ωо и волновой функции в представлении Шредингера, в которой частота является отношением кинетической энергии электрона к постоянной Планка

$$\psi(t,x) = A\,expi\left(\Omega_o t + \frac{W_k}{\hbar}t - \frac{mv}{\hbar}x\right) = A\,expi\Omega_o t\cdot expi\left(\frac{W_k}{\hbar}t - \frac{p}{\hbar}x\right) \quad (17)$$

Для покоящегося электрона энергия электрона и его импульс равны нулю, $W_k = 0,\ p = 0$. Второй волновой множитель волновой функции (17), представляющий волновую функцию электрона в представлении Шредингера, обращается в единицу

$$expi\left(\frac{W_k}{\hbar}t - \frac{p}{\hbar}x\right) = 1$$

Но волновая функция Клейна – Гордона, благодаря сомножителю, не зависящему от состояния электрона $expi\Omega o\ t$, остаётся гармонически зависимой от времени с частотой Ωо. Объяснение этому факту не встречается в квантовой механике, и возможно в нем кроется какое-то новое, еще неизвестное свойство электрона.

Судя по рассмотренным фактам, частота электрона Ω является не просто формальной производной от Комптоновской длины волны электрона $\Omega = 2\pi\ \frac{c}{\Lambda}$. Следует полагать, что эта характеристика электрона имеет определенный физический смысл, раскрытие которого может дать новые представления о сущности электрона и его электрического поля.

О физическом смысле характеристики частота электрона, в следующей публикации.

Список литературы:

1. Тейлор Б., Лангенберг Д., Паркер У. Фундаментальные физические постоянные, УФН 105, вып. 3, 756 (1972).
2. Де Бройль Л. Волны и кванты, УФН 86, 371 (1965).
3. Compton A. H. The Spectrum of Scattered X-Rays, Phys. Rev. 22, 409 (1923).
4. Шпольский Э. В., Атомная физика, т. 1, Введение в атомную физику, изд. «Наука» 575 (1974).
5. Klemperer O., On the Annihilation Radiation of the Positron, Proc. Camber. Phil. Soc. 30, 347 (1934).
6. А. Эйнштейн, Собрание научных трудов, т. 1, Работы по теории относительности, изд. «Наука» 699 (1965).
7. Крауфорд Ф., Волны, изд. «Наука» 528 (1974).

Попенко В.Й.
Науково-виробнича корпорація «Київський інститут автоматики»

ЗАГАДКА КОМПТОНІВСЬКОЇ ДОВЖИНИ ХВИЛІ ЕЛЕКТРОНА

Анотація
В результаті детального аналізу Комптонівської довжини хвилі електрона, виявлена логічно пов'язана з нею частота електрона Ωо. Приведені факти прояву частоти Ωо у взаємодіях електрона, і зв'язок частоти випромінювань електрона з частотою Ωо Вказана можливість виявити нові невідомі властивості електрона, пов'язані з частотою електрона Ωо.
Ключові слова: електрон, Комптонівська довжина хвилі електрона, анігіляція, випромінювання, хвилева функція.

Popenko V.I.
Scientifically Productive Corporation «Kyiv Institute of Automation»

MYSTERY OF COMPTON WAVELENGTH OF THE ELECTRON

Summary
As a result of the detailed analysis of the Compton wavelength of the electron, the frequency of electron Ωo was found out. Facts of display of frequency Ωo in co-operations of electron, and connection of frequency of radiations of electron with frequency Ωo are provided. Possibility to find out the new unknown properties of electron, related to frequency of Ωo is noted.
Keywords: electron, Compton wavelength of the electron, annihilation, radiation, wave function.

УДК 539:124

ПОЛЕ ЭЛЕКТРОНА В ДИНАМИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Попенко В.И.
Научно-производственная корпорация «Киевский институт автоматики»

Для объяснения характеристики электрона частота электрона предложена идея динамического поля электрона. Указаны причины, затрудняющие экспериментальное наблюдение динамичности поля электрона. Приведены факты, доказывающие динамическую сущность поля электрона. Рассмотрены возможные перспективы развития идеи динамического поля электрона и заряженных частиц в современном естествознании.
Ключевые слова: поле электрона, комптоновская длина волны электрона, аннигиляция, электродинамика, излучение, электромагнитные волны.

В статье «Загадка Комптоновской длины волны электрона» в результате анализа Комптоновской длины волны электрона и её свойств, установлена новая характеристика частота электрона, как классическое отношение скорости света к Комптоновской длине волны $\Omega_0 = 2\pi\frac{c}{\Lambda}$ и поставлен вопрос какова физическая сущность этой новой характеристики электрона [1].

Ответ на поставленный вопрос может быть найден из анализа следующих фактов.

По мнению некоторых известных физиков прошлого столетия, в частности, Макса Борна, энергия и масса электрона имеют электромагнитную природу [2].

Предположение об электромагнитной природе энергии электрона, подтверждает явление аннигиляции электрона с позитроном с испусканием γ-фотонов частоты Ω_0, [3].

Фото рождение электрон – позитронной пары в результате взаимодействия γ-фотонов частоты Ω_0, также может служить подтверждением электромагнитной природы энергии электрона.

Факты, подтверждающие электромагнитную природу энергии электрона, странным образом связаны с характеристикой частота электрона Ω_0, [4].

Частота электрона Ω_0, как отмечалось [1] фигурирует как параметр всех наблюдаемых частот излучения электронов.

Перечисленные факты и их связь с частотой электрона, позволяют предположить, что заряд электрона, и его электрическое поле, а также магнитный момент и магнитное поле соответствующее ему не статические, а динамические и гармонически изменяются во времени с частотой электрона Ωо, [5].

Таким образом, физический смысл частоты электрона Ωо состоит в том, что заряд электрона и его поле не статические, а динамические, гармонически изменяются во времени с частотой Ωо

$$q_e = -e\psi(t) = -e\exp i(\Omega_o t + \varphi_0)\,; \quad \boldsymbol{E} = \boldsymbol{E}_r\,\psi(t) = \boldsymbol{r}\frac{-e}{r^3}\,\mathrm{exp}\,\mathrm{i}(\Omega_o\, t + \varphi_0). \quad (1)$$

Знак заряда определяет начальная фаза колебаний динамического поля φ_0. Для положительного заряда её значение равно нулю, $\varphi_0 = 0$. Для отрицательного заряда равно π,

$$+q = q\ \exp(i\Omega o t),\ \varphi_0 = 0;\ -q = q\ \exp(i\Omega o t \pm \pi),\ \varphi_0 = \pi. \quad (2)$$

Колебания динамического поля зарядов одного знака синфазные. Зарядов противоположного знака – противофазные.

Идея динамического поля электрона может быть принята только в том случае, если существует объяснение причинам, по которым, динамическая за-

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ