

УДК 530.145.3

DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28

МАГНИТНЫЙ ПОТОК И ЕГО КВАНТОВАНИЕ

© В.Д. Павлов

Отмечено, что из того обстоятельства, что элементарный электрический заряд равен e , очевидным образом следует общеизвестный принцип квантования электрического заряда, а именно, электрический заряд квантуется, квантом является заряд электрона e (или позитрона). Или – любое изменение заряда равно целому числу электронов (или позитронов). Формально-тождественное преобразование принципа квантования электрического заряда позволяет сформулировать принцип квантования магнитного потока, а именно, квантуется величина, обратная магнитному потоку, квантом является величина, обратная кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Или – любое изменение величины, обратной магнитному потоку, равно целому числу величин, обратных кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Величина, обратная кванту магнитного потока Φ_0 , равна сумме двух величин, обратных кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Иллюстрацией справедливости принципа квантования магнитного потока по отношению к атому водорода является теорема 1: квантование энергии атома водорода является следствием принципа квантования магнитного потока. Доказана теорема 2: магнитный поток атома водорода в основном состоянии равен кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Доказана теорема 3: величина кванта магнитного потока Φ_0 не является минимально возможной для ненулевого магнитного потока. Установлено, что квант магнитного потока Φ_0 не является квантом в смысле порции (как и квант Φ . Лондона Φ_L). Квантом является величина, обратная кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Установлено, что величина кванта магнитного потока Φ_0 не является минимально возможной для ненулевого магнитного потока. Установлено, что магнитный поток атома водорода в основном состоянии равен кванту магнитного потока Φ . Лондона Φ_L . Отмечено, что дискретный набор энергий атома водорода является следствием решения уравнения Шредингера, которое, в свою очередь, является феноменологическим. Ходом рассуждений, обратным использованному при доказательстве теоремы 1, можно показать, что уравнение Шредингера является следствием принципа квантования магнитного потока.

Ключевые слова: заряд, электрон, магнитный поток, квант Φ . Лондона, атом водорода.

Введение. Элементарный электрический заряд равен e .

Из этого обстоятельства очевидным образом следует общеизвестный *Принцип квантования электрического заряда*. Электрический заряд квантуется [1–3]. Квантом является заряд электрона.

Или – любое изменение заряда равно целому числу электронов.

$$q = q_0 + \Delta q =$$

$$\text{Или } - = ne + me = \sum_n e + \sum_m e. \quad (1)$$

Формально-тождественное преобразование принципа квантования электрического заряда

Из формулы (1) следует

$$\frac{q}{h} = \frac{ne}{h} + \frac{me}{h} = \frac{n}{\Phi_L} + \frac{m}{\Phi_L} = \sum_n \frac{1}{\Phi_L} + \sum_m \frac{1}{\Phi_L}, \quad (2)$$

где Φ_L – квант магнитного потока Φ . Лондона.

Пусть в формуле (1) $q_0 = \Delta q = e$. Тогда

$$\frac{e}{h} + \frac{e}{h} = \frac{2e}{h} = \frac{1}{\Phi_L} + \frac{1}{\Phi_L} = \frac{1}{\Phi_0}, \quad (3)$$

где Φ_0 – квант магнитного потока [4–10].

Величина, обратная кванту магнитного потока, равна сумме двух величин, обратных кванту магнитного потока Φ . Лондона.

Соотношения (2) и (3) позволяют сформулировать

Принцип квантования магнитного потока.

Квантуется величина, обратная магнитному потоку. Квантом является величина $1/\Phi_L$, обратная кванту магнитного потока Φ . Лондона.

Или – любое изменение величины, обратной магнитному потоку, равно целому числу величин, обратных кванту магнитного потока Φ . Лондона.

$$\begin{aligned} \text{Или } - \frac{1}{\Phi} &= \frac{1}{\Phi_1} + \Delta \frac{1}{\Phi} = \\ &= \frac{n}{\Phi_L} + \frac{m}{\Phi_L} = \sum_n \frac{1}{\Phi_L} + \sum_m \frac{1}{\Phi_L}. \end{aligned} \quad (4)$$

Формула (3) является иллюстрацией справедливости принципа по отношению к кванту магнитного потока Φ_0 .

Иллюстрация справедливости принципа квантования магнитного потока по отношению к атому водорода

Теорема 1. Квантование энергии атома водорода

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \quad (5)$$

является следствием принципа квантования магнитного потока (4).

Доказательство. Постоянная тонкой структуры

$$\alpha = \frac{\mu_0 c e^2}{2h}$$

Отсюда $h = \frac{\mu_0 c e^2}{2\alpha}$

Квант магнитного потока Φ Лондона

$$\Phi_L = \frac{h}{e} = \frac{\mu_0 c e}{2\alpha}$$

Отсюда $e = \frac{2\alpha \Phi_L}{\mu_0 c}$

Боровский радиус $a_0 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$.

Отсюда $m_e = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi a_0 e^2}$.

Основной энергетический уровень атома водорода

$$\begin{aligned} E_1 &= -\frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} = -\frac{e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2} \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi a_0 e^2} = \\ &= -\frac{e^2}{8\pi a_0 \varepsilon_0} = -\frac{4\alpha^2 \Phi_L^2}{8\pi a_0 \varepsilon_0 \mu_0^2 c^2} = \\ &= -\frac{\alpha^2 \Phi_L^2}{2\pi a_0 \mu_0} = k \Phi_L^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь k – константа (является композицией констант). Таким образом, энергия электрона является функцией магнитного потока. В общем виде

$$E = k \Phi^2 \quad (7)$$

Другими словами, энергия изменяется при изменении магнитного потока.

Но магнитный поток изменяется в соответствии с принципом квантования магнитного потока (4). Для возбужденного состояния $n \neq 1$

$$\frac{1}{\Phi_n} = \sum_n \frac{1}{\Phi_L} = \frac{n}{\Phi_L}, \quad \Phi_n = \frac{\Phi_L}{n}. \quad (8)$$

В соответствии с (7)

$$E_n = k \Phi_n^2 = k \frac{\Phi_L^2}{n^2} = \frac{1}{n^2} E_1 = -\frac{1}{n^2} \frac{m_e e^4}{8h^2 \varepsilon_0^2}, \quad (9)$$

что идентично (5). Теорема доказана.

Магнитный поток атома водорода в основном состоянии

Теорема 2. Магнитный поток атома водорода в основном состоянии равен кванту магнитного потока Φ Лондона Φ_L .

Доказательство.

Пусть в основном состоянии атома водорода в соответствии с принципом квантования магнитного потока (4) величина, обратная магнитному потоку, равна

$$\frac{1}{\Phi_1} = \sum_m \frac{1}{\Phi_L} = \frac{m}{\Phi_L}, \quad \Phi_1 = \frac{\Phi_L}{m}$$

В соответствии с (6) основной энергетический уровень атома водорода равен

$$E_1 = -\frac{\alpha^2 \Phi_L^2}{2\pi a_0 \mu_0} = -\frac{\alpha^2 m^2}{2\pi a_0 \mu_0} \left(\frac{\Phi_L}{m}\right)^2 = k_1 \left(\frac{\Phi_L}{m}\right)^2 \quad (10)$$

В общем виде

$$E = k_1 \Phi^2 \quad (11)$$

Пусть в соответствии с принципом квантования магнитного потока (4) величина, обратная магнитному потоку, изменилась на один квант $1/\Phi_L$ и стала равна

$$\frac{1}{\Phi_2} = \frac{1}{\Phi_1} + \frac{1}{\Phi_L} = \frac{m}{\Phi_L} + \frac{1}{\Phi_L} = \frac{m+1}{\Phi_L}, \quad \Phi_2 = \frac{\Phi_L}{m+1}$$

В соответствии с (9)

$$E_2 = k_1 \Phi_2^2 = -\frac{\alpha^2 m^2}{2\pi a_0 \mu_0} \left(\frac{\Phi_L}{m+1}\right)^2 \quad (12)$$

В соответствии с (5) $\frac{E_1}{E_2} = 4$

В соответствии с (10) и (12) $\frac{E_1}{E_2} = \frac{(m+1)^2}{m^2}$.

Это отношение равно четырем лишь при $m = 1$. Теорема доказана.

О кванте магнитного потока Φ_0

Теорема 3. Величина кванта магнитного потока Φ_0 не является минимально возможной для ненулевого магнитного потока.

Доказательство.

В соответствии с (9) и (8) для возбужденных состояний атома водорода, при которых $n > 2$,

$$\Phi_n = \frac{\Phi_L}{n} < \frac{\Phi_L}{2} = \Phi_0.$$

Теорема доказана.

Заключение. Квант магнитного потока Φ_0 не является квантом в смысле порции (как и квант Φ Лондона Φ_L). Квантом является величина $1/\Phi_L$, обратная кванту магнитного потока Φ Лондона. При этом любое изменение величины, обратной магнитному потоку, равно целому числу величин, обратных кванту магнитного потока Φ Лондона.

Принцип квантования магнитного потока является следствием формально-тождественного преобразования принципа квантования электрического заряда.

Принцип квантования магнитного потока справедлив по отношению к атому водорода.

Величина кванта магнитного потока Φ_0 не является минимально возможной для ненулевого магнитного потока.

Магнитный поток атома водорода в основном состоянии равен кванту магнитного потока Φ Лондона Φ_L .

Литература

1. Муфтахов М.В., Хатымова Л.З., Хатымов Р.В., Мазунов В.А. Инструментальный метод масс-спектрометрии резонансного захвата электронов для фундаментальных и прикладных исследований органических соединений // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2014. № 4. С. 38–49.

2. Хвостенко О.Г., Лукин В.Г., Цеплин Е.Е., Хатымова Л.З., Шиховцева Е.С. Отрицательные ионы квартетной мультиплетности в газовой фазе и в электронном устройстве на основе одиночной молекулы // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. 2013. № 2. С. 11–17.

3. Ласуков В.В., Абдрашитова М.О. Квантовые решения в классической электродинамике и ее связь с геометродинамикой // Известия высших учебных заведений. Физика. 2020. Т. 63. № 4 (748). С. 89–103. DOI: 10.17223/00213411/63/4/89 DOI: 10.17223/00213411/63/4/89

4. Зеликман М.А. Вихри в длинном периодически модулированном джозефсоновском контакте, содержащие несколько квантов магнитного потока // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 1. С. 80–86.

5. Сидоренков В.В. Физико-математическое моделирование и анализ эффекта квантования магнитного потока // Необратимые процессы в природе и технике: Сборник научных трудов шестой Всероссийской конференции. Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана; Физический институт им. П.Н. Лебедева; Центр прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. С. 170–178.

6. Жерновой А.И. Квантование магнитного потока, создаваемого наночастицей магнетита // Научное приборостроение. 2018. Т. 28. № 2. С. 45–48.

7. Белодедов М.В., Черный В.В. Квантование магнитного потока в сложных джозефсоновских структурах // Инженерная физика. 2007. № 1. С. 35–38.

8. Подоляк Е.Р. О захвате магнитного потока поверхностной сверхпроводимостью // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2018. Т. 153. № 3. С. 466–474. DOI: 10.7868/S0544126916030091

9. Шульман Г.А. К теории самопроизвольного излучения электрона при его движении вдоль квантующего магнитного поля звезды // Астрономический журнал. 2011. Т. 88. № 8. С. 781–786.

10. Жерновой А.И., Улашкевич Ю.В., Дьяченко С.В. Дискретность магнитных моментов однодоменных ферромагнитных наночастиц // Научное приборостроение. 2017. Т. 27. № 1. С. 72–76.

References

1. Muftakhov M.V., Khatymova L.Z., Khatymov R.V., Mazunov V.A. The instrumental method of mass spectrometry of resonant electron capture for fundamental and applied research of organic compounds. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2014, no. 4, pp. 38–49.

2. Khvostenko O.G., Lukin V.G., Tseplin E.E., Khatymova L.Z., Shikhovtseva E.S. Negative quartet multiplicity ions in the gas phase and in an electronic device based on a single molecule. Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN, 2013, no. 2, pp. 11–17.

3. Lasukov V.V., Abdrashitova M.O. Quantum solutions in classical electrodynamics and its connection with geometrodynamics. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika, 2020, vol. 63, no. 4 (748), pp. 89–103. DOI: 10.17223/00213411/63/4/89

4. Zelikman M.A. Vortices in a long periodically modulated Josephson junction containing several magnetic flux quanta. Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 2015, vol. 85, no. 1, pp. 80–86.

5. Sidorenkov V.V. Physical and mathematical modeling and analysis of the effect of quantization of magnetic flux. Neobratimyye protsessy v prirode i tekhnike. Sbornik nauchnykh trudov VI Vserossiyskoy konferentsii. Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. N.E. Baumana; Fizicheskii institut im. P.N. Lebedeva; Tsentr

prikladnoy fiziki MGTU im. N.E. Bauman, 2012, pp. 170–178.

6. Zhernovoy A.I. Quantization of the magnetic flux created by a magnetite nanoparticle. *Nauchnoe priborostroyeniye*, 2018, vol. 28, no. 2, pp. 4–48.

7. Belodedov M.V., Cherny V.V. Quantization of magnetic flux in complex Josephson structures. *Inzhenernaya fizika*, 2007, no. 1, pp. 35–38.

8. Podolyak E.R. On magnetic flux capture by surface superconductivity. *Zhurnal eksperimentalnoy i*

teoreticheskoy fiziki, 2018, vol. 153, no. 3, pp. 466–474. DOI: 10.7868/S0544126916030091

9. Shulman G.A. On the theory of spontaneous emission of an electron as it moves along a quantizing magnetic field of a star. *Astronomicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 88, no. 8, pp. 781–786.

10. Zhernovoy A.I., Ulashkevich Yu.V., Dyachenko S.V. Discreteness of magnetic moments of single-domain ferromagnetic nanoparticles. *Nauchnoe priborostroyeniye*, 2017, vol. 27, no. 1, pp. 72–76.



MAGNETIC FLOW AND ITS QUANTIZATION

© V.D. Pavlov

CJSC Vladimir Electromechanical Plant
127, ulitsa Noyabrskaya, 600901, Vladimir, Russian Federation

It is noted that the elementary electric charge is equal to e , from which fact the well-known principle of quantization of the electric charge definitely follows, namely, the electric charge is quantized and a quantum is the charge of the electron e (or positron). Or any change in the charge is equal to an integer number of electrons (or positrons). The formally identical transformation of the principle of quantization of the electric charge allows formulating the principle of quantization of the magnetic flux, namely, the quantity inverse to the magnetic flux is quantized and a quantum is the inverse of the quantum of the F. London magnetic flux. Or any change in the reciprocal of the magnetic flux is equal to an integer number of quantities inverse to the quantum of the F. London magnetic flux. The reciprocal of the magnetic flux quantum is equal to the sum of two quantities inverse to the quantum of the F. London magnetic flux. The validity of the principle of quantization of the magnetic flux with respect to the hydrogen atom is illustrated by Theorem 1: quantization of the energy of the hydrogen atom is a consequence of the principle of quantization of the magnetic flux. Theorem 2 is proved: the magnetic flux of a hydrogen atom in the ground state is equal to the quantum of the F. London magnetic flux. Theorem 3 is proved: the quantum of the magnetic flux is not the minimum possible for a nonzero magnetic flux. It is established that the quantum of the magnetic flux is not a quantum in the sense of a portion (like the F. London quantum). A quantum is the inverse of the quantum of the F. London magnetic flux. It is established that the magnitude of the magnetic flux quantum is not the minimum possible for a nonzero magnetic flux. It is established that the magnetic flux of a hydrogen atom in the ground state is equal to the quantum of the F. London magnetic flux. A discrete set of energies of the hydrogen atom is noted to be a consequence of the solution of the Schrödinger equation, which, in turn, is phenomenological. The reverse discourse used in the proof of Theorem 1 can show that the Schrödinger equation is a consequence of the principle of quantization of the magnetic flux.

Key words: charge, electron, magnetic flux, F. London quantum, hydrogen atom.