



2.4.3. Электроэнергетика

Научная статья

УДК 621.3.013.1

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.5.2>

СПИНОВЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОТОКИ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ

Игорь Павлович Попов

Курганский государственный университет (д. 63/4, ул. Советская, Курган, 640020, Российская Федерация)
uralakademia@kurganstalmost.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8683-0387>

Аннотация. Введение. Актуальность работы определяется тем, что спиновый магнитный поток электрона, являясь основой собственного магнитного поля ферромагнетиков, до сих пор не установлен. В 1948 г. Ф. Лондон вычислил квант магнитного потока от электрического тока, созданного одним электроном. Ключевым условием вычисления явилось приписывание электрону кванта кинетического момента $\hbar$. В 1956 году Л. Купер описал двухчастичные системы коррелированных электронов (куперовские пары), возникающие в проводниках вследствие электрон-фононного взаимодействия. Приписывание двухчастичной системе кванта кинетического момента $\hbar$ приводит к уменьшению вычисляемого значения кванта магнитного потока вдвое. Ни Ф. Лондон, ни Л. Купер в своих расчетах не учитывали магнитные потоки, обусловленные спинами электронов. В 1961 г. Б. С. Дивер и У. М. Фэрбэнк и независимо Р. Долл и М. Небауэр измерили квант магнитного потока. Результат оказался вдвое меньше кванта Ф. Лондона. С тех пор считается, что квант магнитного потока создается исключительно куперовскими парами и что он вдвое меньше кванта Ф. Лондона. **Цель.** Установление спинового магнитного потока электрона. **Материалы и методы.** Проблема заключается в том, что общепринятая концепция спина электрона не позволяет его вычислить, что связано с неопределенностью структуры электрона. Задача работы поэтому состоит в принятии дополнительных временных (рабочих) допущений. Геометрическая форма электрона неизвестна. Однако считается, что это не шар и не сфера. Это следует из формулы его классического радиуса. Полная неопределенность формы электрона позволяет непротиворечиво представить его спин в виде момента импульса, образованного материальной точкой с массой электрона, обращающейся по окружности неопределенного радиуса (сколь угодно малого, причем его величина значения не имеет). Этот подход может иметь недостатки, но он имеет и существенное достоинство в виде возможности использовать готовую формулу для магнитного потока, созданного «током» одного электрона. **Результаты и обсуждение.** В действительности существуют квант Ф. Лондона, квант магнитного потока, обусловленный спином электрона, и их суперпозиция (квазиквант). **Заключение.** Установлен спиновый магнитный поток электрона. Именно он является основой собственного магнитного поля в ферромагнитных элементах электротехнических комплексов и систем.

Ключевые слова: электрон, куперовская пара, квант кинетического момента, квант магнитного потока, квант Ф. Лондона, спин, суперпозиция, квазиквант

Для цитирования: Попов И. П. Спиновые магнитные потоки в ферромагнитных элементах электротехнических комплексов и систем // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 5(110). С. 18–22. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.5.2>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 06.06.2025;

одобрена после рецензирования 10.07.2025;

принята к публикации 17.07.2025.

Research article

SPIN MAGNETIC FLUXES IN FERROMAGNETIC ELEMENTS OF ELECTRICAL COMPLEXES AND SYSTEMS

Igor P. Popov

Kurgan State University (63/4, Sovetskaja str., Kurgan, 640020, Russian Federation)
uralakademia@kurganstalmost.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8683-0387>

Abstract. Introduction. The relevance of this work is determined by the fact that the spin magnetic flux of an electron, which is the basis of the proper magnetic field of ferromagnets, has not yet been established. In 1948, F. London calculated the quantum of magnetic flux from an electric current created by one electron. The key condition for the calculation was ascribing a quantum of kinetic moment $\hbar$ to the electron. In 1956, L. Cooper described two-particle systems of correlated electrons (Cooper pairs) arising in conductors due to electron-phonon interaction. Assigning a quantum of kinetic moment $\hbar$ to a two-particle system leads to a decrease in the calculated value of the quantum of magnetic flux by half. Neither F. London nor L. Cooper took into account the magnetic fluxes caused by electron spins in their calculations. In 1961, B.S. Deaver and W.M. Fairbank and independently R. Doll and M. Nebauer measured the quantum of magnetic flux. The result was half that of F. London's. Since then, it is believed that the magnetic flux quantum is created exclusively by Cooper pairs and that it is half the size of F. London's quantum. **Goal.** The aim of the study is to establish the spin magnetic flux of an electron. **Materials and methods.** The problem is that the generally accepted concept of the electron spin does not allow it to be calculated, which is due to the uncertainty of the electron structure. The task of the work, therefore, is to make additional temporary (working) assumptions. The geometric shape of the electron is unknown. However, it is believed that it is neither a ball nor a sphere. This follows from the formula for its classical radius. The complete uncertainty of the electron shape allows its spin to be consistently represented as an angular momentum formed by a material point with the mass of an electron rotating along a circle of an indefinite radius (arbitrarily small, and its

value is of no importance). This approach may have disadvantages, but it also has a significant advantage in the form of the ability to use a ready-made formula for the magnetic flux created by the 'current' of one electron. **Results and discussion.** In reality, there is a quantum of F. London, a quantum of magnetic flux caused by the electron spin, and their superposition (quasi-quantum). **Conclusion.** The spin magnetic flux of an electron has been established. It is the basis of the proper magnetic field in ferromagnetic elements of electrical complexes and systems.

Keywords: electron, Cooper pair, quantum of kinetic momentum, quantum of magnetic flux, quantum of F. London, spin, superposition, quasi-quantum

For citation: Popov IP. Spin magnetic fluxes in ferromagnetic elements of electrical engineering complexes and systems. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;5(110):18-22. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.5.2>

Conflict of interest: the author declare no conflicts of interests.

The article was submitted 06.06.2025;

approved after reviewing 10.07.2025;

accepted for publication 17.07.2025.

Введение / Introduction. Актуальность работы определяется тем, что спиновый магнитный поток электрона, являясь основой собственного магнитного поля ферромагнитных элементов электротехнических комплексов и систем [1–5], до сих пор не установлен.

В 1948 г. Ф. Лондон вычислил квант магнитного потока от электрического тока, созданного одним электроном. Ключевым условием вычисления явилось приписывание электрону кванта кинетического момента $\hbar$.

В 1956 году Л. Купер описал двухчастичные системы коррелированных электронов (куперовские пары), возникающие в проводниках вследствие электрон-фононного взаимодействия [6]. Приписывание двухчастичной системе кванта кинетического момента $\hbar$ приводит к уменьшению вычисляемого значения кванта магнитного потока вдвое.

Ни Ф. Лондон, ни Л. Купер в своих расчетах не учитывали магнитные потоки, обусловленные спинами электронов.

В 1961 г. Б. С. Дивер и У. М. Фэрбэнк и независимо Р. Долл и М. Небауэр измерили квант магнитного потока. Результат оказался вдвое меньше кванта Ф. Лондона.

С тех пор считается, что квант магнитного потока создается исключительно куперовскими парами, что он вдвое меньше кванта Ф. Лондона и со спинами электронов не связан.

Цель исследования заключается в установлении спинового магнитного потока электрона. Проблема при этом заключается в том, что общепринятая концепция спина электрона не позволяет его вычислить, что связано с неопределенностью структуры электрона.

Отсюда задача работы состоит в принятии дополнительных временных (рабочих) допущений.

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research. Геометрическая форма электрона неизвестна. Однако считается, что это не шар и не сфера. Это следует из формулы его классического радиуса

$$r_e = \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e},$$

где μ_0 – постоянная магнитная, e – заряд электрона, m_e – масса электрона.

В случае шара формула имела бы вид

$$r_e = \frac{3}{5} \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e}.$$

В случае сферы формула имела бы вид

$$r_e = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 e^2}{4\pi m_e}.$$

Полная неопределенность формы электрона позволяет непротиворечиво представить его спин в виде момента импульса, образованного материальной точкой с массой электрона, обращающейся по окружности неопределенного радиуса (сколь угодно малого, причем его величина значения не имеет; предложенное допущение не рассматривается в качестве конкурирующего по отношению к известным описаниям спина электрона, например, в работах Белинфанте). Этот подход может иметь недостатки, но есть у него и существенное достоинство в виде возможности использовать готовую формулу для магнитного потока, созданного «током» одного электрона, полученную в [7] по схеме

$$E = \frac{I\Phi}{2},$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{e}{T}, \\ T &= \frac{2\pi R}{v}, \\ E &= \frac{m_e v^2}{2}, \\ \Phi &= \frac{2\pi R m_e v}{e} = \frac{2\pi R p}{e}, \end{aligned} \quad (1)$$

где E – энергия, I – ток электрона, T – период обращения электрона, R – радиус лабораторной трубки (в опытах Б. С. Дивера, У. М. Фэрбэнка, Р. Долла и М. Небауэра), v – линейная скорость единичного электрона, p – импульс единичного электрона.

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion. Спин электрона равен

$$L_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar. \quad (2)$$

С учетом (1) квант магнитного потока, обусловленного спином электрона, равен

$$\Phi_{es} = \frac{2\pi R p}{e} = \frac{2\pi L_{es}}{e} = \frac{2\pi \sqrt{3}}{e} \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{h}{e}. \quad (3)$$

**Замечание 1.* Классический радиус (r_e) в выкладках статьи не используется и поэтому на результаты не влияет. Упомянут исключительно для иллюстрации неопределенности формы электрона.

**Замечание 2.* Выбирать R для формулы (1) не приходится. В полученную формулу (3) для спинового кванта магнитного потока радиус не входит («растворился» в спине). Поэтому его величина значения не имеет. По крайней мере, вполне можно считать, что он достаточно большой, чтобы не развивалась чрезмерная энергия.

Экспериментальная верификация спинового кванта магнитного потока. Круговой ток в лабораторной трубке, образованный одним электроном, создает магнитный поток

$$\Phi_L = \frac{2\pi \hbar}{e} = \frac{h}{e}. \quad (4)$$

Это формула Ф. Лондона [8].

Спин электрона может иметь лишь две проекции на направление магнитного поля потока (4), а именно:

$$L_{esB} = \pm \frac{\hbar}{2}.$$

В силу закона сохранения момента импульса спин противоположен орбитальному моменту, поэтому

$$L_{esB} = -\frac{\hbar}{2}.$$

Следовательно, магнитный поток, обусловленный спином электрона, вычитается из потока (4) (его проекция).

Таким образом, в 1961 г. Б. С. Дивер, У. М. Фэрбэнк, Р. Долл и М. Небауэр измерили орбитальный квант магнитного потока ОДНОГО электрона за вычетом проекции спинового кванта магнитного потока (через торцевые поверхности их лабораторных трубок)

$$\frac{h}{e} - \frac{h}{2e} = \frac{h}{2e}. \quad (5)$$

Это квазиквант, а не квант от куперовской пары

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e}. \quad (6)$$

Совпадение измеренного значения (5) с (6) является совершенно случайным.

Однако это совпадение является надежной экспериментальной верификацией формул (1), (3)–(5) и принятого допущения о спине электрона.

Формальная верификация спинового кванта магнитного потока. И квант магнитного потока Ф. Лондона (4), и квант от куперовской пары (6) представимы в виде

$$\Phi_q = \frac{h}{q} = \frac{2\pi\hbar}{q} = \frac{2\pi}{q} L_q,$$

где q – заряд, L_q – квант кинетического момента.

Подстановка в эту формулу заряда электрона и его кинетического момента (спина) (2) непосредственно дает

$$\Phi_{es} = \frac{2\pi}{q} L_q = \frac{2\pi}{e} \frac{\sqrt{3}}{2} \hbar = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{h}{e}.$$

Совпадает с (3), что также является надежной верификацией формул (1), (3)–(5) и принятого допущения о спине электрона.

Заключение / Conclusion. В [9, 10] подробно показано, что приписывание куперовской паре электронов кванта $\hbar$ кинетического момента является неприемлемым. Поэтому в такой же степени неприемлемой является связанная с этим формула для кванта магнитного потока от куперовской пары (6).

В действительности существуют квант Ф. Лондона (4), квант магнитного потока (3), обусловленный спином электрона, и их суперпозиция (5) (квазиквант). Его (квазиквант) и измерили в 1961 г.

Спиновый магнитный поток электрона равен

$$\Phi_{es} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{h}{e}.$$

Именно он является основой собственного магнитного поля ферромагнитных элементов электротехнических комплексов и систем.

При этом принятые в работе допущения о спине электрона не отразились на окончательном результате и поэтому могут считаться временными (рабочими) и не противопоставляться общепринятой концепции спина.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колесников Г. Ю., Щикунов Н. Н. Способ диагностики маслonaполненного электрооборудования с применением постоянного магнитного поля // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2019. № 5(74). С. 7–11. <https://doi.org/10.37493/2307-907X-2019-74-5-7-11>
2. Алсултан М. Д. Д., Шевлюгин М. В. Модель электроэнергетической системы железной дороги переменного тока с учетом системы первичного электроснабжения в южной части Ирака // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 2(107). С. 9–21. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.2.1>
3. Саушев А. В., Белоусов И. В., Самосейко В. Ф. Двухфазная синусоидальная широтно-импульсная модуляция с перемодуляцией в системе «преобразователь – электродвигатель» // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2024. № 4(103). С. 39–48. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2024.4.4>
4. Алсултан М. Д. Д., Шевлюгин М. В. Современные принципы проектирования электрификации южно-иракских железных дорог // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2023. № 6 (99). С. 7–15. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.1>
5. Попов И. П. Ступенчатое сокращение потока реактивной мощности в сети с трансформаторами и шунтирующими реакторами // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. № 5(86). С. 18–25. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2021.5.2>
6. Павлов В. Д. О моменте импульса куперовской пары электронов и кванте магнитного потока // Прикладная физика и математика. 2024. № 4. С. 12–16. <https://doi.org/10.25791/pfi.m.04.2024.1301>
7. Pavlov V. D. On the electronic quantum structures of conductors // Physics of Complex Systems. 2025. Vol. 6. No. 1. P. 49–53. <https://doi.org/10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53>
8. Павлов В. Д. Магнитный поток и его квантование // Известия Уфимского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 25–28. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28>
9. Попов И. П. Двойные стандарты при описании атомов гелия и позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2024. № 35. С. 143–151. <https://doi.org/10.17223/24135542/35/11>
10. Попов И. П. Магнитные особенности проводников с различной проводимостью // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2025. № 1(51). С. 9–14. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1\(51\)-9-14](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1(51)-9-14)

REFERENCES

1. Kolesnikov GYu, Shchikunov NN. Method of diagnostics of oil-filled electrical equipment using a constant magnetic field. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2019;5(74):7-11. <https://doi.org/10.37493/2307-907X-2019-74-5-7-11> (In Russ.)
2. Alsultan MDD, Shevlyugin MV. Model of the electric power system of the railway with alternating current taking into account the primary power supply system in the southern part of Iraq. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;2(107):9-21. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.2.1> (In Russ.)
3. Saushev AV, Belousov IV, Samoseiko VF. Two-phase sinusoidal pulse-width modulation with remodulation in the "converter – electric motor" system. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2024;4(103):39-48. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2024.4.4> (In Russ.)
4. Alsultan MDD, Shevlyugin MV. Modern principles of designing the electrification of southern Iraqi railways. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2023;6(99):7-15. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.1> (In Russ.)
5. Popov IP. Stepwise reduction of reactive power flow in a network with transformers and shunt reactors. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2021;5(86):18-25. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2021.5.2> (In Russ.)
6. Pavlov VD. On the angular momentum of a Cooper pair of electrons and the quantum of magnetic flux. Applied Physics and Mathematics. 2024;(4):12-16. <https://doi.org/10.25791/pfi.m.04.2024.1301> (In Russ.)
7. Pavlov VD. On the electronic quantum structures of conductors. Physics of Complex Systems. 2025;6(1):49-53. <https://doi.org/10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53>
8. Pavlov VD. Magnetic flux and its quantization. Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020;(4):25-28. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28> (In Russ.)
9. Popov P. Double standards in the description of helium and positronium atoms. Bulletin of Tomsk State University. Chemistry. 2024;(35):143-151. <https://doi.org/10.17223/24135542/35/11> (In Russ.)
10. Popov IP. Magnetic properties of conductors with different conductivity. Bulletin of the Siberian State Industrial University. 2025;1(51):9-14. [https://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1\(51\)-9-14](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2025-1(51)-9-14) (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Игорь Павлович Попов – кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики и технологии металлов Курганского государственного университета, AuthorID: 655616.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Igor P. Popov – Cand. Sci. (Techn.), Associate Professor of the Department of Power Engineering and Metal Technology of Kurgan State University, AuthorID: 655616