EDN: WNOMWD
УДК 533.15

РАЗМЕР АТОМА ГЕЛИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И.П. Попов

Курганский государственный университет
Российская Федерация, 640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4

Аннотация. Отмечено, что электроны атома гелия образуют квантовую систему подобно куперовской паре электронов в сверхпроводниках. Квантовые системы характеризуются тем, что квантом момента импульса $\hbar$ наделялся не каждая их частица, а вся квантовая система целиком. При этом показано, что существующее расчетное значение радиуса атома гелия связано с тем, что каждый из его двух электронов наделялся квантом момента импульса $\hbar$. Необходимость исключения указанных двойных стандартов при определении момента импульса квантовых систем приводит к тому, что квантом момента импульса $\hbar$ следует наделять не каждый электрон атома гелия, а их квантовую совокупность. Следствием этого является корректировка значения радиуса атома гелия, который оказался практически в четыре раза меньше табличного значения.

Ключевые слова: гелий, квантовая система, квант момента импульса, радиус атома.

Введение

Размер атома гелия [1, 2] имеет существенное значение для мембранных технологий. Электроны атома гелия образуют квантовую систему подобно куперовской паре электронов в сверхпроводниках [3, 4] или паре электрон-позитрон в атоме позитрония [5-7]. Вместо фононов, связывающих электроны куперовской пары, «посредником» у электронов атома гелия является кулоновское притяжение ядра. Другими словами, квантовая система электронов атома гелия ничем не «хуже» куперовской пары.

Квантовые системы, в частности, куперовская пара электронов и пара электрон-позитрон [8, 9] характеризуются тем, что квантом момента импульса $\hbar$ (без учета спина) наделялся не каждая ее частица, а вся квантовая система целиком (строго говоря, $\hbar$ – не сам момент импульса, а его проекция на направление магнитного поля; далее имеется в виду именно это), т.е.

$$2m_e vr = \hbar\,. \tag{1}$$

Здесь m_e – масса электрона (и позитрона), v – его скорость, r – радиус движения.

Далее будет показано, что существующее расчетное значение радиуса атома гелия связано с тем, что *каждый* из его двух электронов наделялся квантом момента импульса $\hbar$ (без учета спина). Соответственно, момент импульса пары электронов гелия равен

$$2m_e vr = 2\hbar\,. \tag{2}$$

Налицо двойные стандарты при наделении квантовых систем моментом импульса [10].

А поскольку двойные стандарты неприемлемы, на электроны атома гелия следует обобщить условие (1).

Это, конечно, приведет к корректировке значения радиуса атома, что и является целью настоящей работы.

Далее используется полуклассическое рассмотрение, которое для цели работы является вполне достаточным.

Вычисление радиуса атома гелия с учетом двух квантов момента импульса

Кулоновская сила притяжения любого электрона к ядру равна

$$F_{+-} = \frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2}.$$

Здесь e – заряд электрона, ε_0 – постоянная электрическая, r_{He} – радиус атома гелия.

За счет кулоновского отталкивания электронов наиболее *вероятно* (с оглядкой на квантовую механику), что они диаметрально противоположны друг другу относительно ядра. При этом сила отталкивания электронов друг от друга равна

$$F_{--} = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 (2r_{\text{He}})^2}.$$

Коэффициент «2» в знаменателе обусловлен тем, что расстояние между электронами вдвое больше радиуса атома.

Центробежная сила равна

$$F_v = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}.$$

Баланс сил, действующих на любой электрон,

$$F_{+-} - F_{--} = F_v,$$

$$\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 (2r_{\text{He}})^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}},$$

$$1,75\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}. \qquad (3)$$

Из (2) следует

$$r_{\text{He}}^2 = \frac{\hbar^2}{m_e^2 v^2}.$$

Подстановка в (3)

$$1,75\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{m_e^2 v^2}{\hbar^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}},$$

$$r_{\text{He}} = \frac{4}{7}\frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{e^2 m_e} = \frac{4}{7}a_0.$$

Здесь

$$a_0 = \frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{e^2 m_e} \tag{4}$$

– боровский радиус атома водорода.

В численном значении

$$r_{\text{He}} = \frac{4}{7}a_0 = \frac{4}{7}5{,}2917721092\cdot 10^{-11} \approx 30{,}24\cdot 10^{-12}(м)\,.$$

Почти совпадает с табличным значением $31\cdot 10^{-12}(м)$.

Таким образом, как и было анонсировано выше, радиус атома гелия рассчитывается с учетом того, что *каждый* из его двух электронов наделяется квантом момента импульса $\hbar$. Другими словами, игнорируется то обстоятельство, что электроны атома гелия образуют квантовую систему.

Вычисление радиуса атома гелия с учетом образования его электронами двухчастичной квантовой системы

Помимо сил кулоновского взаимодействия между электронами действует сила магнитного отталкивания

$$F_\mu = \frac{\mu_0 e^2 v^2}{4\pi(2r_{\text{He}})^2}\,.$$

Здесь μ_0 – постоянная магнитная.

Баланс сил, действующих на любой электрон

$$F_{+-} - F_{--} - F_\mu = F_v\,,$$

$$\frac{2e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2} - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0(2r_{\text{He}})^2} - \frac{\mu_0 e^2 v^2}{4\pi(2r_{\text{He}})^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}\,,$$

$$1{,}75\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2} - \frac{\mu_0 e^2 v^2}{4\pi(2r_{\text{He}})^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}\,,$$

$$\frac{7e^2}{16\pi\varepsilon_0 r_{\text{He}}^2} - \frac{\mu_0 e^2 v^2}{16\pi r_{\text{He}}^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}\,,$$

$$\frac{7e^2/\varepsilon_0 - \mu_0 e^2 v^2}{16\pi r_{\text{He}}^2} = \frac{m_e v^2}{r_{\text{He}}}\,,$$

$$r_{\text{He}} = \frac{7e^2/\varepsilon_0 - \mu_0 e^2 v^2}{16\pi m_e v^2}\,. \tag{5}$$

Из (1) следует

$$v^2 = \frac{\hbar^2}{4m_e^2 r_{\text{He}}^2}\,.$$

Подстановка в (5)

$$r_{\text{He}} = \frac{7e^2/\varepsilon_0 - \mu_0 e^2 \hbar^2/(4m_e^2 r_{\text{He}}^2)}{16\pi m_e \hbar^2/(4m_e^2 r_{\text{He}}^2)},$$

$$16\pi m_e \hbar^2 r_{\text{He}} = \frac{7e^2}{\varepsilon_0} 4m_e^2 r_{\text{He}}^2 - \mu_0 e^2 \hbar^2,$$

$$r_{\text{He}}^2 - 16\pi m_e \hbar^2 \frac{\varepsilon_0}{28e^2 m_e^2} r_{\text{He}} - \mu_0 e^2 \hbar^2 \frac{\varepsilon_0}{28e^2 m_e^2} = 0,$$

$$r_{\text{He}}^2 - \frac{16\pi\hbar^2\varepsilon_0}{28e^2 m_e} r_{\text{He}} - \frac{\varepsilon_0 \mu_0 \hbar^2}{28m_e^2} = 0.$$

С учетом (4)

$$r_{\text{He}}^2 - \frac{1}{7} a_0 r_{\text{He}} - \frac{\hbar^2}{28m_e^2 c^2} = 0,$$

$$r_{1,2} = \frac{1}{14} a_0 \pm \sqrt{\frac{1}{196} a_0^2 + \frac{\hbar^2}{28m_e^2 c^2}}. \qquad (6)$$

Постоянная тонкой структуры равна

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

Масса электрона равна

$$m_e = \frac{e^2 \mu_0}{4\pi a_0 \alpha^2} = \frac{e^2 \mu_0}{4\pi a_0 \alpha} \frac{2h}{\mu_0 c e^2} = \frac{\hbar}{c a_0 \alpha}.$$

Возвращаясь к (6),

$$r_{1,2} = \frac{1}{14} a_0 \pm \sqrt{\frac{1}{196} a_0^2 + \frac{\hbar^2}{28c^2} \frac{c^2 a_0^2 \alpha^2}{\hbar^2}} = \frac{1}{14} a_0 \pm a_0 \sqrt{\frac{1}{196} + \frac{\alpha^2}{28}}.$$

Минимальное значение очевидным образом не подходит. Поэтому

$$r_{1,2} = \frac{1 + \sqrt{1 + 7\alpha^2}}{14} a_0.$$

В численном значении

$$r_{1,2} = \frac{1 + \sqrt{1 + 7 \cdot 7{,}297\,352\,5643^2 \cdot 10^{-6}}}{14} 5{,}2917721092 \cdot 10^{-11} = 7{,}5603788612 \cdot 10^{-12} (м).$$

Это практически в четыре раза меньше табличного значения.

Заключение

Необходимость исключения двойных стандартов при определении момента импульса квантовых систем приводит к тому, что квантом момента импульса $\hbar$ наделяется не каждый электрон атома гелия, а их квантовая совокупность. Следствием этого является корректировка значения радиуса атома гелия, который оказался практически в четыре раза меньше табличного значения.

Это обстоятельство имеет существенное значение для мембранных технологий.

Список литературы

1. Попов И. П. Двойные стандарты при описании атомов гелия и позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 35. – С. 143-151. DOI: 10.17223/24135542/35/11
2. Павлов В. Д. Противоречия математических моделей атомов гелия и позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 9. – С. 45-48. DOI: 10.25791/infi zik.9.2024.1426
3. Павлов В. Д О моменте импульса куперовской пары электронов и кванте магнитного потока // Прикладная физика и математика**.** – 2024. **–** № 4. **–** С. 12-16. DOI: 10.25791/pfi m.04.2024.1301
4. Pavlov V. D. On the electronic quantum structures of conductors // Physics of Complex Systems. – 2025. – Vol. 6, No. 1. – P. 49–53. DOI: 10.33910/2687-153X-2025-6-1-49-53 EDN MDSAWK
5. Попов И. П. О размере атома позитрония в контексте задачи двух тел // Прикладная физика и математика**.** – 2024. **–** № 2. **–** С. 14–16. DOI: 10.25791/pfim.02.2024.1291
6. Павлов В. Д. Расчетный минимальный радиус позитрония // Инженерная физика. – 2024. – № 2. – С. 24-29. DOI: 10.25791/infi zik.2.2024.1385
7. Попов И. П. Вычисление размера позитрония // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2024. – № 3. – С. 75–85. DOI: 10.21685/2072-3040-2024-3-7
8. Попов И. П. Об одной гипотезе Д.И. Менделеева // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2023. – № 32. – С. 75-86. DOI: 10.17223/24135542/32/6
9. Павлов В. Д. О корректности размера позитрония // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – № 33. – С. 24-32. DOI: 10.17223/24135542/33/2
10. Popov I. P. Seven Singular Points in Quantum Mechanics // Technical Physics. – 2024. – Vol. 69, No. 8. – P. 2406-2408. DOI: 10.1134/s1063784224700427

HELIUM ATOM SIZE FOR MEMBRANE TECHNOLOGY PURPOSES

I.P. Popov

Kurgan State University
63/4, st. Soviet, Kurgan, 640020, Russian Federation

Abstract. It is noted that the electrons of a helium atom form a quantum system similar to a Cooper pair of electrons in superconductors. Quantum systems are characterized by the fact that not each of their particles, but the entire quantum system as a whole, was endowed with a quantum of angular momentum $\hbar$. It is shown that the existing calculated value of the radius of a helium atom is associated with the fact that each of its two electrons was endowed with a quantum of angular momentum $\hbar$. The need to exclude

the indicated double standards when determining the angular momentum of quantum systems leads to the fact that not each electron of a helium atom, but their quantum set should be endowed with a quantum of angular momentum $\hbar$. The consequence of this is the correction of the value of the radius of a helium atom, which turned out to be almost four times smaller than the tabulated value.

Key words: helium, quantum system, quantum of angular momentum, radius of an atom.

Материалы представлены на Международной научно-практической конференции «Современные подходы и практические инициативы в инженерных науках» (г. Казань, 2-3 октября 2025 года).

Статья представлена в редакцию 15 августа 2025 г.