

Магнетон Бора и аномальный магнитный момент

Халецкий Михаил

Израиль, г. HADERA, 2026

hal123mich@gmail.com

АНАТАЦИЯ

В основе данной статьи лежит сферическая модель релятивистского электрона. Модель состоит из внешней волновой сферы и внутренней сферы Комптона.

Ключевые слова: электрон; скорость; магнитный момент; заряд; постоянная тонкой структуры.

Содержание

1. Введение
2. Границы отражения
3. Кинематика движения
4. Основные соотношения модели
5. Аномальный магнитный момент
6. Заключение

1. Введение

В основе данной статьи лежит сферическая модель релятивистского электрона. Модель состоит из внешней волновой сферы и внутренней сферы Комптона. Между сферами пульсируют стоячие электромагнитные волны релятивистской энергии. Для существования таких волн необходимы границы отражения в виде заряженных поверхностей. Используем результаты раздела П.6 из публикации [1] на сайте автора: « О структуре релятивистского электрона».

2. Границы отражения

Предположим, что на поверхности сферы Комптона находится небольшой положительный заряд $+q_1$, рисунок 1. Сумма зарядов обеих сфер равна заряду электрона, $q_1 - q_2 = -e$. Найдём электрический потенциал каждой сферы в отдельности.



Рис. 1

Потенциал первой сферы,

$$\varphi_1 = k \frac{q_1}{R_1} - k \frac{q_2}{R_2}.$$

Потенциал второй сферы,

$$\varphi_2 = k \frac{q_1}{R_2} - k \frac{q_2}{R_2}.$$

Разность потенциалов,

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = k \frac{q_1}{R_1} - k \frac{q_2}{R_2} - k \frac{q_1}{R_2} + k \frac{q_2}{R_2}.$$

После несложных преобразований получаем,

$$\Delta\varphi = k \frac{\left(\frac{q_1}{q_2} - \frac{R_1}{R_2}\right)}{R_1 q_2} + k \frac{q_2 - q_1}{R_2}. \quad (1)$$

Сделаем предположение:— **разность потенциалов между сферой Комптона и внешней сферой электрона по модулю, равна разности потенциалов свободного электрона и нулевым потенциалом на бесконечности.**

Тогда первое слагаемое в формуле (1) равно нулю. Выполняются тождества:

$$\frac{q_1}{q_2} \equiv \frac{R_1}{R_2} \quad \text{и} \quad q_1 - q_2 \equiv -e. \quad (2)$$

За радиус внешней сферы электрона принимаем радиус первой орбиты Бора в атоме водорода, $r_n = R_2 = 52.91772 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$. Радиус сферы Комптона, $r_c = R_1 = \Lambda/2\pi$. Тогда соотношение зарядов точно равно постоянной тонкой структуры α :

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{r_c}{r_n} = \frac{\Lambda}{2\pi R_2} = \frac{2.42631 \cdot 10^{-3} \text{ nm}}{2\pi \cdot 52.91772 \cdot 10^{-3} \text{ nm}} = 0.0072973525646 = \alpha.$$

Если принимать в первом приближении $q_2 - q_1 = e = 1.60218 \cdot 10^{-19} \text{ K}$, то каждый из зарядов равен: $q_1^+ \cong +0.01178 \cdot 10^{-19} \text{ K}$; $q_2^- \cong -1.61396 \cdot 10^{-19} \text{ K}$. Значит за границы отражения стоячих волн можно принимать положительно заряженную сферу Комптона и отрицательно заряженную сферу электрона. Для других значений радиуса R_2 решается система уравнений на основании тождеств (2). Абсурдность выражения (1) при численном равенстве радиусов и зарядов сфер говорит о том, что **свободный релятивистский** электрон является телом вращения “электронного” диска и **может принимать кольцевую форму** только в связанном состоянии. Отношение скорости электрона, на первой орбите атома водорода, к скорости света принимается за постоянную тонкой структуры. Спорить с этим утверждением бесполезно, его надо принимать как факт. Ось собственного вращения электрона направлена перпендикулярно траектории поступательного движения.

3. Кинематика движения зарядов

Сосредоточим **отрицательный** заряд q_2 в одной точке на экваторе внешней поверхности электрона. Заряд жестко связан с волновой поверхностью. Точки экватора вращаются со скоростью v_2 . Сфера как-бы катится по пространству как по ровной плоскости **без проскальзывания**. В первом приближении, скорость вращения равна скорости поступательного движения и соответствует первой орбите атома водорода Бора, $v_2 = \alpha \cdot c \cong 2.1877 \cdot 10^3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. Отношение указанной скорости к скорости света принимают за постоянную тонкой структуры α . Заряды двигаются в одной плоскости по экватору сфер. В Международной системе единиц (СИ) постоянная тонкой структуры определяется следующим образом:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \Rightarrow v_2 = \alpha \cdot c = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar}.$$

На поверхности сферы Комптона, **положительный** заряд q_1 вращается со скоростью света, $v_1 = c$.

Предлагаемая кинематическая схема является сильно упрощенной моделью электрона, но она позволяет напрямую вычислить собственный магнитный момент заряженной частицы.

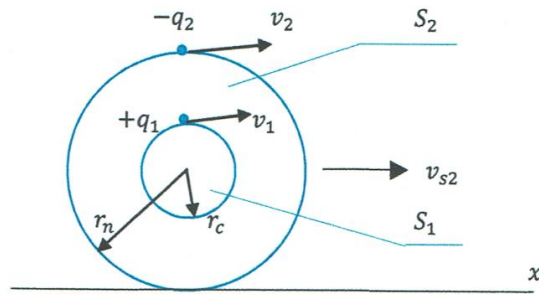


Рис. 2

Здесь:

v_2 — скорость вращения заряда q_2^- ;

v_1 — скорость вращения заряда q_1^+ ;

v_{s2} — скорость поступательного движения электрона;

r_c — радиус сферы Комптона;

r_n — радиус волновой сферы;

S_1 — площадь циркуляции для заряда q_1 ;

S_2 — площадь циркуляции для заряда q_2 .

4. Основные соотношения модели

Уравнения для зарядов:

$$\begin{array}{l|l} q_1 - q_2 = -e & q_2 = q_1 + e ; \\ \frac{|q_1|}{|q_2|} = \alpha & q_1 = q_2 \cdot \alpha . \end{array}$$

Действующие значения зарядов:

$$q_2 = \frac{e}{1-\alpha} ; \quad q_1 = \frac{\alpha \cdot e}{1-\alpha} .$$

Соотношение параметров:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{r_c}{r_n} = \frac{v_2}{v_1} = \alpha ;$$

$$v_2 = \alpha c ; \quad v_1 = c ;$$

$$r_n = \frac{r_c}{\alpha} .$$

Площади циркуляции зарядов по замкнутому контуру:

$$S_2 = \pi \cdot r_n^2 ;$$

$$S_1 = \pi \cdot r_c^2 .$$

Радиус сферы Комптона:

$$r_c = \frac{\Lambda}{2\pi}; \quad \Lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} \Rightarrow r_c = \frac{h}{2\pi m_e}.$$

Здесь: m_e — масса покоя электрона; h — постоянная Планка.

Собственные магнитные моменты:

$$p_{m2} = \frac{q_2^- \cdot v_2 \cdot S_2}{2\pi r_n}; \quad p_{m1} = \frac{q_1^+ v_1 S_1}{2\pi r_c}.$$

Делаем подстановку действующих параметров в формулы магнитных моментов. **Заряды имеют разные знаки.** Принимаем p_{m2} со знаком плюс, p_{m1} со знаком минус. Тогда собственный момент электрона равен:

$$p_{me} = p_{m2} - p_{m1} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1-\alpha} - \frac{\alpha}{1-\alpha} \right) \frac{eh}{2\pi m_e} = \frac{1}{2} \frac{eh}{2\pi m_e}. \quad (3)$$

Дирак в своих уравнениях вводит собственную постоянную момента импульса:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}; \text{ (постоянная Дирака).}$$

Выражение (3) упрощается:

$$p_{me} = \frac{e\hbar}{2m_e} = \mu_B. \quad (4)$$

Последнее выражение называется в электродинамике магнетоном Бора. Данный момент **не зависит от вида траектории движения электрона и внешних полей**. Опыты Штерна - Герлаха показали, что реальный магнитный момент электрона в два раза больше теоретического. Квантовая электродинамика вышла из этой ситуации достаточно просто. Записала это выражение в следующем виде:

$$\vec{p}_{em} = g_e \cdot \frac{e\hbar}{2m_e} \cdot \vec{S}. \quad (5)$$

g_e — фактор электрона ($g_e \approx 2$).

s — спиновое квантовое число, $s = \pm \frac{1}{2}$.

Фактор — g_e компенсирует двойку в знаменателе, а спин указывает направления действия магнитного момента и является внутренней характеристикой электрона.

5. Аномальный магнитный момент

Последующие расчеты квантовой электродинамики (диаграммы Фейнмана) и опытные данные показали, что g_e — фактор немного больше значения 2. Принято записывать данный параметр в виде:

$$g_e = 2(1 + a_e).$$

Здесь a_e , называется аномальным магнитным моментом электрона. С каждым оборотом зарядов, Магнетон Бора должен укладываться на плоскости электронного диска в постоянных значениях. Выделим на окружности **элементарный сектор** с малым центральным углом α (постоянная тонкой структуры). Определим общее количество таких секторов на круглом диске:

$$n = \frac{2\pi}{\alpha} = 861.022576552.$$

Квантовать секторы можно только в целых числах. Принимать 861 за квантовое число нельзя. Пространственный разрыв между первым и последним сектором по окружности невозможен. Квантовать магнетон Бора в долях α можно в единственном случае, **если добавить площадь еще одного элементарного сектора**. Первый и добавленный сектор частично перекроются. Точка отсчета секторов на окружности будет постоянно смещаться в процессе собственного вращения электрона.

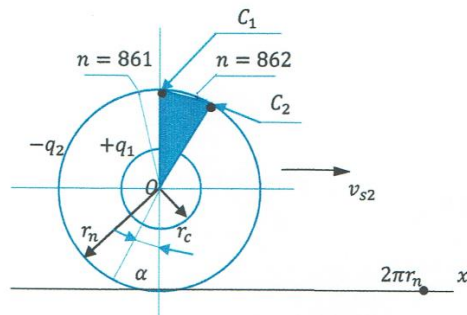


Рис. 3

Тогда, площадь сектора C_1OC_2 надо учитывать дважды при расчете магнитного момента. **Точка начала отсчета секторов на окружности C_1** , с каждым оборотом, будет смещаться в пространстве и времени в положение C_2 , и так далее, пока не вернется в исходное положение. Процесс смещения будет повторяться снова и снова. Возникает вопрос, почему так происходит? Возможно геометрия диска отличается от круговой формы, возможно диск пробуксовывает относительно траектории движения, все может быть. Автор не знает ответа на этот вопрос, а строить предположения не хочет. Будем исходить из фактов.

Разделим магнитный момент электрона условно на n элементарных частей и прибавим полученное значение к целому Магнетону Бора:

$$\mu'_B = \mu_B + \frac{\mu_B}{n}; \quad (6)$$

$$\vec{p}_{me} = 2\left(1 + \frac{\alpha}{2\pi}\right)\mu_B \cdot \vec{S}.$$

Выражение $\frac{\alpha}{2\pi}$, является первой поправкой Швингера. Площадь добавленного сектора должна быть равна площади элементарного сектора с центральным углом α . Данное требование **приводит к деформации всех сторон** добавленного сектора. Надо найти истинное положение точки C_2 на внешней окружности диска. Сферическая модель электрона и математика резко усложняются.

Дальше без доказательств и объяснений. Автор приводит базовую формулу для аномального магнитного момента электрона.

В первом приближении:

$$a_e = \frac{\alpha}{2\pi}(1 - \alpha) + \frac{\alpha^2}{8}(1 + \alpha); \quad (7)$$

Во втором приближении:

$$a_e = \frac{\alpha}{2\pi}(1 - \alpha) + \frac{\alpha^2}{7,985}(1 + \alpha). \quad (8)$$

Точность расчета a_e семь знаков после запятой.

В третьем приближении:

Автор обратился за помощью к ИИ Google в разложении знаменателя 8 по степеням α . Итоговое уравнение ($\alpha = 7.2973525611 \cdot 10^{-3}$):

$$a_e = \frac{\alpha}{2\pi}(1 - \alpha) + \frac{\alpha^2}{8 - 2\alpha - 9,3\alpha^2}(1 + \alpha) = 0.00115965218047.$$

Точность расчета a_e четырнадцать знаков после запятой. Современное значение согласно CODATA: $a_e = 0.00115965218046$.

Перед нами уравнение баланса: при малом угле α геометрия сжатия добавленного сектора заставляет выпуклость дуги компенсировать потерю площади сектора, стремясь вернуть сумму к исходной идеальной доли $\frac{\alpha}{2\pi}$.

Объяснение:

■ $\frac{\alpha}{2\pi}(1 - \alpha)$ – Сжатие площади добавленного сектора по бокам (усечение), которая слегка сужается с уменьшением коэффициента $(1 - \alpha)$.

■ $\frac{\alpha^2}{8}(1 + \alpha)$ – Расширение зазора (выпуклости дуги сектора) или прогиба дуги над хордой, которая растет с коэффициентом $(1 + \alpha)$.

■ Механическая интерпретация. Представьте, что мягкий пластичный круговой сектор сжали с боков. Его угловая доля уменьшилась, что дало первый член со знаком минус $(1 - \alpha)$. По законам геометрии и механики, вытесненный объем выдавливается наружу, дуга сектора выгибается сильнее, что дает второй член со знаком плюс $(1 + \alpha)$.

6. Заключение

В данном случае, физическая модель электрона (с ограниченным количеством параметров) дает значение собственного магнитного момента не хуже квантовой электродинамики.

Источники информации

1. М.Б. Халецкий., “О структуре релятивистского электрона”., 2022г., <https://halmich.ru> ., публикации.
2. Аномальный магнитный момент электрона
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82

