

# О структуре релятивистского электрона

---

Халецкий Михаил Борисович

Израиль, г. HADERA, 2022 г.

[hal123mih@gmail.com](mailto:hal123mih@gmail.com)

## Аннотация

Как устроен электрон? Простой вопрос, на который нет прямого ответа. Вопрос о структуре электрона, как пробный шар, проверяет разные точки зрения на их состоятельность.

**Ключевые слова:** частица, радиус, излучение, волна, диск, сфера, энергия.

## Содержание

- П.1 Введение
- П.2 Обобщённый угловой параметр
- П.3 Геометрическая интерпретация
- П.4 Волновая интерпретация
- П.5 Сравнение
- П.6 Границы отражения
- П.7 Интуиция
- П.8 Мнение автора

## П.1 Введение

Как устроен электрон? Простой вопрос, на который не прямого ответа. Уравнение Шредингера даёт сложное волновое математическое описание частицы в разных энергетических состояниях. Его решения далеки от наглядности. Надо тупо верить в правильность уравнения, его решений и соглашаться с трактовкой квантовых чисел как физическим результатом. Уравнения Дирака, Клейна-Гордона – это попытки смешать релятивистскую механику с волновой квантовой механикой. Автор настоящей статьи категорически против такого смешивания. Между теориями существует фундаментальное различие, каждая из них хороша в отдельности. Единственным мостом между двумя мировоззрениями является Гипотеза Планка,  $\Delta E_k = h\nu_e$ . Изменение кинетической энергии частицы равно произведению постоянной Планка на частоту электромагнитного излучения. Современная теория квантовой электродинамики и хромо-динамика трактуют электрон как частицу без внутренней структуры. Собственное строение игнорируется, признаётся только фотон-электронное взаимодействие зарядов. А если заряда нет? Как объяснить строение нейтральной частицы с постоянной или эффективной массой. Возможно электричество и магнетизм сопутствуют физическим явлениям более сложного порядка? Вопрос о структуре электрона, как пробный шар, проверяет различные точки зрения на их состоятельность. [1, 2, 3]. Настоящая статья, это попытка приподнять покрывало таинственности над возможным устройством электрона и обозначить характерные черты его геометрии.

## П.2 Обобщённый угловой параметр

Согласно ВЕРСИИ Элементарной теории относительности[4] **полная кинетическая энергия** электрона определяется выражением,

$$E_k = E_s + E_r - E_h. \quad (1)$$

Где:  $E_s$  – классическая энергия поступательного движения;

$E_r$  – релятивистская энергия собственного вращения;

$E_h$  – энергия прецессии собственного вращения.

Для **релятивистского свободного** электрона энергия прецессии очень мала и не оказывает существенного влияния на его строение. Полную энергию частицы можно записать в развёрнутом виде по первым двум составляющим,

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2} + m_e c^2 - \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

Положим, что отношение скоростей в радикале представляет собой тангенс некоторого угла альфа,  $\tan \alpha = v/c$ . Где:  $c$  – скорость света;  $v$  – скорость поступательного движения;  $\alpha$  – обобщённый угловой параметр. Отрицательное значение угла не имеет физического смысла. Из ограничений по скорости света должны выполняться условия:

$$0 \leq \tan^2 \alpha \leq 1 \quad \text{и} \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}. \quad (3)$$

Уравнение (2) можно записать в тригонометрической форме,

$$E_k = \frac{1}{2} m_e c^2 \tan^2 \alpha + 2m_e c^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (4)$$

При малых значениях угла  $\alpha \ll \pi/4$  выполняются приближённые соотношения:  $\tan \alpha \cong \alpha$ ;  $\sin \alpha/2 \cong \alpha/2$ . Значения угла определяется простым выражением,

$$\alpha^2 \cong \frac{4}{3} \frac{E_k}{m_e c^2}.$$

Все кинематические параметры частицы спрятаны в пространственной угловой координате  $\alpha$ . Энергия поступательного движения  $E_s = 0.5m_e c^2 \tan^2 \alpha$  пополняет релятивистскую энергию электрона ( $E_r$ ) порциями по мере её излучения в пространство. **Электрон – своеобразный квантовый преобразователь энергии.** Энергия собственного вращения  $E_r = 2m_e c^2 \sin^2 \alpha/2$  целиком зависит от структуры частицы и равна кванту энергии фотона, который электрон может одновременно излучить в процессе торможения[4]. Процесс разгона частицы под действием внешнего поля или электромагнитного излучения пока не рассматривается. Выполняется соотношение,

$$2m_e c^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = h \frac{c}{\lambda_e}. \quad (5)$$

Где:  $m_e$  – инвариантная масса электрона,  $\langle kg \rangle$ ;

$h$  – постоянная Планка,  $\langle Js \rangle$ ;

$\lambda_e$  – возможная длина волны излучения,  $\langle nm \rangle$ .

Следовательно, обобщённую угловую координату можно представить как функцию от длины волны электромагнитного излучения,  $\alpha = f(\lambda_e)$ .

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{h}{2m_e c \lambda_e} = \frac{1}{2} \frac{\Lambda}{\lambda_e}. \quad (6)$$

Здесь:  $\Lambda$  – длина волны Комптона для электрона,  $2,42631 \cdot 10^{-3} nm$ .

Выражение для угла  $\alpha$  без учёта периодичности решений и без учёта времени,

$$\alpha = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{\Lambda}{2\lambda_e}}. \quad (7)$$

Определим значения угла для максимальной и минимальной длины волны рентгеновского излучения:  $\lambda_{min} = 8.284 \cdot 10^{-3} nm$ ;  $\lambda_{max} = 364005 \cdot 10^{-3} nm$ .

$$1. \alpha_{max} = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{2.42631}{2 \cdot 8.284}} = 44.999829^0 \approx 45^0 = \frac{2\pi}{8};$$

$$2. \alpha_{min} = 2 \sin^{-1} \sqrt{\frac{2.42631}{2 \cdot 364005}} = 0.2091979^0 \approx 0.21^0 = \frac{2\pi}{1721}.$$

Формула (5) подтверждается и из механических представлений об электроне в виде вращающегося относительно поперечной оси “твёрдого” диска[5]. Под термином “твёрдый” понимается равномерное распределение массы по плоскости диска.

$$\begin{aligned}
I_n \frac{\omega_n^2}{2} &= 2m_e c^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}; \\
\omega_n &= 2\omega_e; \\
\omega_e &= 2\pi\nu_e; \\
I_n &= \frac{m_e r_n^2}{4}; \\
r_n &= \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\Lambda * \lambda_e}{2}}; \\
c &= \lambda_e \nu_e.
\end{aligned} \tag{8}$$

Здесь:  $\nu_e$  – электромагнитная частота возможного излучения фотона;

$\omega_n$  – циклическая частота вращения диска относительно поперечной оси;

$I_n$  – момент инерции диска относительно поперечной оси;

$r_n$  – эффективный радиус электронной сферы;

$c$  – скорость света.

Волны рентгеновского излучения, испускаемые электроном, должны удовлетворять неравенству:

$$8.284 \cdot 10^{-3} nm \leq \lambda_e \leq 364005 \cdot 10^{-3} nm.$$

Геометрическая интерпретация угла  $\alpha$  пока непонятна.

### П.3 Геометрическая интерпретация

Из формулы (6) выразим длину волны  $\lambda_e$  через обобщённый угловой параметр,

$$\lambda_e = \frac{1}{2} \frac{\Lambda}{\sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Выполним подстановку длины волны в формулу (8) для эффективного радиуса электрона,

$$r_n = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\Lambda * \lambda_e}{2}} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\Lambda * \Lambda}{4 \sin^2 \frac{\alpha}{2}}} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Lambda}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Длина эффективной окружности электрона равна:

$$L_n = 2\pi r_n = \frac{\Lambda}{\sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Под эффективной окружностью понимается периметр внешней сферы, образующейся в результате вращения электронного круглого диска относительно поперечной оси.

Физически точно – **электрон, это тело вращения**. Представим, что длина волны Комптона

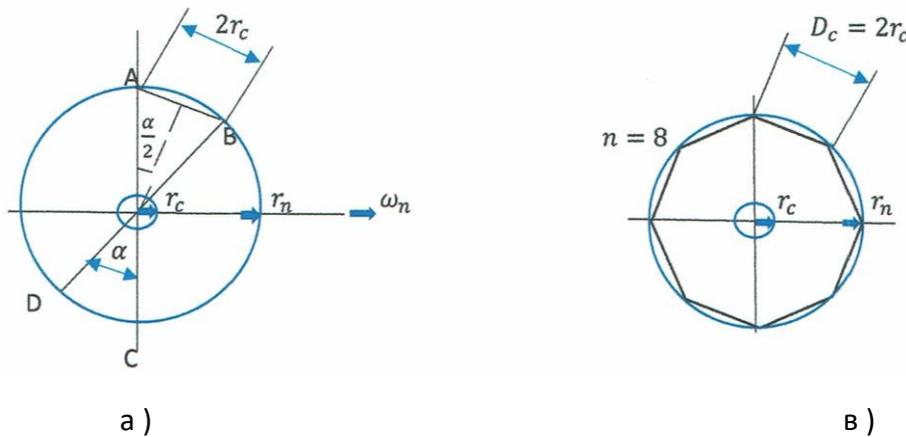
$\Lambda$  равна длине периметра некоторой соосной окружности внутри электронного диска. Вращение относительно поперечной оси образует сферу Комптона. Радиус сферы:

$$r_c = \frac{\Lambda}{2\pi} = \frac{2,42631 \cdot 10^{-3} \text{ nm}}{2\pi} = 0.38616 \cdot 10^{-3} \text{ nm}.$$

Соотношение внешних радиусов электрона и сферы Комптона имеет простой вид,

$$r_n \sin \frac{\alpha}{2} = r_c = \text{const.} \quad (9)$$

Из последней формулы видно, уменьшение углового параметра  $\alpha$  соответствует потере кинетической энергии и увеличению размеров электрона. Ниже на рисунке приведена геометрическая интерпретация электрона, Рисунок 1(а).



Радиус описанной окружности для любого **правильного** многоугольника равен,

$$r_n = \frac{D_c}{2 \sin \frac{\pi}{n}} = \frac{2r_c}{2 \sin \frac{\pi}{n}} = \frac{r_c}{\sin \frac{\pi}{n}}. \quad (10)$$

Где:  $n$  – число углов(сторон) правильного многоугольника;

$D_c$  – длина стороны многоугольника (диаметр сферы Комптона).

Правильные многоугольники, вписанные во внешнюю окружность электрона, при  $n \geq 8$  должны иметь **стороны постоянной длины равной диаметру сферы Комптона**, Рис.1(в). Это условие ещё не означает квантования угла  $\alpha$ , но даёт возможность корректировать расчётные значения радиуса электрона. При  $n \gg 8$ , что соответствует малым скоростям движения  $v \ll c$ , радиус электрона определяется простой формулой,

$$r_n \cong \frac{r_c n}{\pi}. \quad (11)$$

Количество многоугольников, которые можно вписать в окружность **релятивистского** электрона колеблется в пределах  $8 \leq n \leq 1721$ . В силу сферической симметрии и квантования кинетической энергии должно существовать правило отбора количества углов  $n$  для образования различных радиусов электрона[5]. В настоящей статье данный вопрос не рассматривается. С учётом выражения (9), формулу релятивистской энергии собственного вращения можно преобразовать к следующему виду:

$$E_r = 2m_e c^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = 2m_e c^2 \frac{r_c^2}{r_n^2}. \quad (12)$$

## П.4 Волновая интерпретация

Рассмотрим уравнения прямо и обратно бегущих сферических волн в общем виде. Волны распространяются в радиальном направлении, рисунок 2. Из соотношения интенсивностей волн точечного излучателя известно, что радиальные смещения частиц материи  $s_1$  и  $s_2$  в противоположных направлениях описываются выражениями:

$$s_1 = A_0 \frac{r_0}{r} \sin(\omega t - kr);$$

$$s_2 = A_0 \frac{r_0}{r} \sin(\omega t + kr).$$

Здесь:  $A_0$  – амплитуда бегущей сферической волны;

$\omega$  – циклическая частота бегущей волны;

$k$  – модуль волнового вектора;

$r_0$  – минимальный радиус некоторой окружности вокруг центра сферы;

$r$  – текущий радиус-вектор сферической волны.

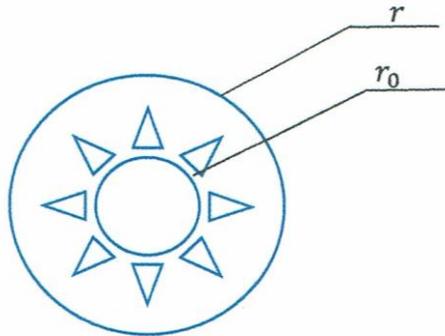


Рис. 2

В результате сложения (интерференции) прямо и обратно бегущих волн образуется стоячая сферическая волна,

$$s = s_1 + s_2 = 2A_0 \frac{r_0}{r} \sin kr \cos \omega t.$$

Частная производная смещения сферической волны по времени равна скорости распространения механических колебаний частиц в радиальном направлении,

$$v_r = \frac{\partial s}{\partial t} = 2A_0 \omega \frac{r_0}{r} \sin kr \sin \omega t.$$

Кинетическая энергия выделенного элементарного объёма в классическом виде,

$$\Delta E_{ki} = \frac{1}{2} \rho_i \Delta V_i v_r^2 = 2\rho_i \Delta V_i A_0^2 \omega^2 \frac{r_0^2}{r^2} \sin^2 kr \sin^2 \omega t.$$

Средние значения квадратов синусов за периоды пространственных и временных колебаний:

$$\sin^2 kr = \frac{1}{2}; \quad \sin^2 \omega t = \frac{1}{2}.$$

Среднее значение кинетической энергии выделенного объёма,

$$\Delta E_{ki} = \frac{1}{2} \rho_i \Delta V_i A_0^2 \omega^2 \frac{r_0^2}{r^2}.$$

Частицы материи внутри сферы радиуса  $r$  распределены равномерно, переноса материи не происходит. Все частицы колеблются относительно точек положения равновесия.

Суммарная масса частиц внутри сферы радиуса  $r$  равна,

$$\sum_V \rho_i \Delta V_i = m.$$

Суммарная кинетическая энергия колебаний внутри сферы радиуса  $r$ ,

$$E_k \sim \frac{1}{2} m A_0^2 \omega^2 \frac{r_0^2}{r^2}. \quad (13)$$

## П.5 Сравнение

Сопоставим два подхода к оценке структуры электрона, волновой и релятивистский:

$$E_k \sim \frac{1}{2} m A_0^2 \omega^2 \frac{r_0^2}{r^2};$$

$$E_r = 2m_e c^2 \frac{r_c^2}{r_n^2}.$$

Из сравнения формул можно сделать только один однозначный вывод – внутри **релятивистского** электрона, между сферой Комптона и наружной сферой пульсирует стоячая сферическая волна. Касательно амплитуды, частоты и фазы колебаний ничего определённого утверждать невозможно. Природа колебаний неясна. Если полагать, что  $\omega = \omega_n = 2\omega_e$  и уравнения точны, то амплитуда колебаний равна:  $A_0 = \lambda_e / 2\pi$ . При образовании стоячих волн в локальном пространстве нужны две границы отражения. Возникает вопрос, что принимать в электроне за границы отражения для случая электромагнитных колебаний?

## П.6 Границы отражения

Предположим, что на поверхности сферы Комптона находится небольшой положительный заряд  $+q_1$ , рисунок 3. Сумма зарядов обеих сфер равна заряду электрона,  $q_1 - q_2 = -e$ . Найдём электрический потенциал каждой сферы в отдельности.



Рис. 3

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,

$$\Delta\varphi = k \frac{\left(\frac{q_1}{q_2} - \frac{R_1}{R_2}\right)}{R_1 q_2} + k \frac{q_2 - q_1}{R_2}. \quad (14)$$

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 (14) равно нулю. Выполняются тождества:

$$\frac{q_1}{q_2} \equiv \frac{R_1}{R_2} \quad \text{и} \quad q_1 - q_2 \equiv -e. \quad (15)$$

Максимальный радиус наружной сферы электрона при переходе из релятивистского состояния в не релятивистское равен,  $r_n = R_2 = 211.5 \cdot 10^{-3} \text{ nm}$  [5]. Радиус сферы Комптона,  $r_c = R_1 = \Lambda/2\pi$ . Тогда соотношение зарядов равно,

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{r_c}{r_n} = \frac{\Lambda}{2\pi R_2} = \frac{2.42631 \cdot 10^{-3} \text{ nm}}{2\pi \cdot 211.5 \cdot 10^{-3} \text{ nm}} = 0.001826.$$

Если принимать в первом приближении  $q_2 - q_1 = e = 1.60218 \cdot 10^{-19} \text{ K}$ , то каждый из зарядов равен:  $q_1^+ \cong 0.00293 \cdot 10^{-19} \text{ K}$ ;  $q_2^- \cong -1.60511 \cdot 10^{-19} \text{ K}$ . 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 (15). Абсурдность выражения (14) при численном равенстве радиусов и зарядов сфер говорит о том, что **свободный** электрон является телом вращения “твёрдого” диска и **не может** принимать кольцевую форму. Возникает закономерный вопрос, какова структура электрона в связанном состоянии?

## П.7 Интуиция

Предположим, для **не релятивистского** электрона, что в центре сферы Комптона расположили протон с положительным зарядом  $e^+$ . Тогда, под действием сил Кулона, заряд  $q_1^+$  должен увеличить свой радиус распределения  $R_1$ , а заряд  $q_2^-$  уменьшить свой радиус  $R_2$ . Радиусы стремятся к одинаковой величине. Собственное **вращение** электрона относительно поперечной оси практически отсутствует. Разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между сферами будет меняться нелинейно (по гиперболическому закону) в зависимости от расстояний до центра протона  $e^+$ . Разность потенциалов между сферами стремится к

нулю. **Дисковая модель электрона преобразуется в кольцевую модель.** Стоячие сферические волны преобразуются в продольные колебания материи и зарядов по окружности кольца определённого радиуса  $R = R_1 = R_2$ . Положительные и отрицательные составляющие заряда электрона сливаются в один отрицательный заряд,  $q_1^+ + q_2^- = e^-$ . Следовательно электрон в связанном состоянии (в составе атома) и свободный электрон отличаются по конструкции. Этот вывод согласуется с теорией атома Бора с той только разницей, что вместо продольных механических колебаний по окружности Бор рассматривал равномерное вращение точечного электрона вокруг ядра.

На основании законов электростатики, определить радиус устойчивого состояния электрона в составе атома водорода невозможно. Бор решал эту задачу исходя из законов классической электродинамики и предположения о квантовании момента импульса вращения точечного заряда[6]. Система уравнений:

$$\frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}, \quad (16)$$

$$I_n \omega_n = m_e v_n r_n = n\hbar.$$

Где:  $n$  – главное квантовое число (1, 2, 3, ... n);

$v_n$  – эффективная скорость равномерного вращения электрона;

$r_n$  – радиусы стационарных орбит электрона.

Вводился постулат: – **на стационарных орбитах атома электрон не излучает энергию.** Данное утверждение эквивалентно существованию стоячих волн. Стоячие волны в стационарном состоянии не переносят и не излучают энергию в пространстве. Из системы уравнений (16) Бор определил первый радиус стационарного состояния **связанного** электрона,  $a = 52.9 \cdot 10^{-3} nm$ . Второй радиус стационарного состояния  $211.5 \cdot 10^{-3} nm$ , точно совпадает с максимальным размером **свободного релятивистского** электрона[5].

## П.8 Мнение автора

1. Свободный электрон как частица имеет определённую сферическую структуру. Природа стоячих сферических колебаний материи внутри электрона не понятна.

2. При переходе свободного электрона в связанное состояние сферическая структура частицы вырождается в кольцевую модель продольных колебаний.

3. В составе атомов, связанные электроны не обладают механическим импульсом в классическом виде. На “орбитах” атомов должна работать механика стоячих колебаний заряженных частиц. Конкретный вид продольных колебаний, требует уточнения.

## Ссылки

1. А. Байков., “ О структуре электрона “. 14. 12. 2021г., Google, (<https://lenincrew.com/electron/>) .
2. Н. Н. Латышенко., “ Структура электрона “. Google., 27. 01. 2018г., ([http://samlib.ru/l/latyshenok\\_n\\_n/strukturae.shtml](http://samlib.ru/l/latyshenok_n_n/strukturae.shtml)).
3. Google., “ Химия Кенета Снельсона (структура электрона)., 09. 03. 2020г., (<https://habr.com/ru/post/410709/>).
4. Google., “ Постоянная тонкой структуры – Михаил Халецкий “. 21 мая. 2021г., Публикации., (<https://halmich.ru>).
5. Google., “ Размер свободного электрона - Михаил Халецкий “. 24 окт. 2021г., Публикации., (<https://halmich.ru>).
6. Л. К. Мартинсон, Е. В. Смирнов., ГЛАВА 5, “ Квантовая теория атома “. МГТУ им. Э. Баумана., 2002г. ([http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch5/texthtml/ch5\\_2.htm](http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom5/ch5/texthtml/ch5_2.htm))