

Постоянная тонкой структуры и прецессия электрона

Халецкий Михаил Борисович

Израиль, г. HADERA, 2021г.

hal123mih@gmail.com

Аннотация

Объяснение прецессии собственного вращения электрона и её связь с постоянной тонкой структуры (постоянная Зоммерфельда).

Ключевые слова: движение; излучение; частица; электрон; скорость; вращение; прецессия; кинетическая энергия.

Содержание

П.1 Введение

П.2 Исходные положения

П.3 Постоянная тонкой структуры

П.4 Энергия прецессии электрона

П.5 Выводы

П.6 Обсуждение

П.1 Введение

Прямолинейное движение релятивистской частицы в вакууме можно разложить на поступательное движение и собственное вращение центра масс. Частица условно принимается за материальную точку, которая двигается по винтовой линии с бесконечно малым радиусом вращения. Вектор угловой скорости вращения ω в общем случае может не совпадать с главной осью инерции самой частицы. Геометрическая форма частицы не определена.

Электрон в атомной физике, прежде всего материальная частица и только потом носитель электрического заряда. Наличие собственного заряда позволяет разгонять или тормозить частицу внешним электрическим полем без непосредственного механического контакта. Мгновенная ось вращения электрона расположена под углом φ к траектории движения. Из векторной диаграммы импульсов [1,2] (статья “Тормозное излучение ...”, <https://halmich.ru>) видно что, угол наклона оси зависит от поступательной скорости электрона v и равен нулю при достижении скорости света. С большой долей вероятности можно ожидать прецессию оси вращения электрона относительно траектории движения τ . Частоту прецессии принято обозначать символом Ω , Рис.1.

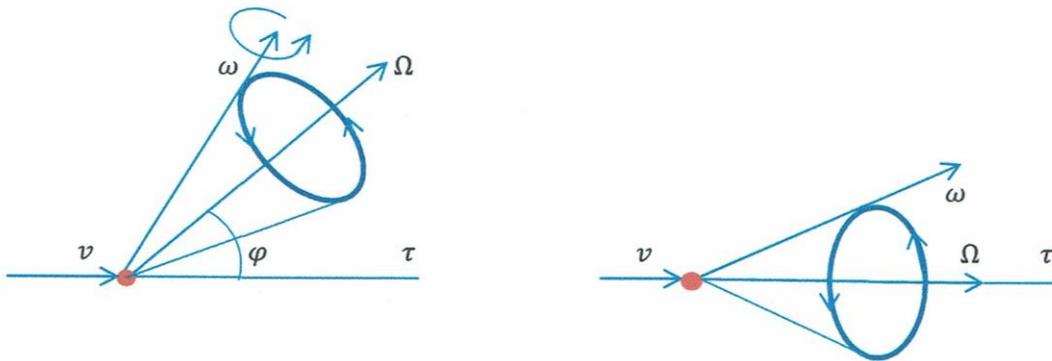


Рисунок 1: с левой стороны $v \ll c$, $\varphi > 0$; с правой стороны $v \cong c$, $\varphi = 0$.

На рисунке:

φ — угол между средним положением оси вращения и траекторией движения τ ;

ω — вектор мгновенной угловой скорости оси вращения электрона;

Ω — угловая скорость прецессии оси вращения электрона.

Собственное вращение электрона в вакууме экспериментально наблюдаемый факт [3,4]. Современная наука считает, что физический вакуум обладает собственной структурой и энергией. Следовательно, вакуум может влиять на прямолинейный и винтовой характер движения электрона. Существование прецессии оси вращения частицы приводит к появлению дополнительной кинетической энергии. Для релятивистского электрона эта энергия очень мала по сравнению с **собственной энергией** mc^2 . Угловая

частота прецессии много меньше частоты вращения оси, $\Omega \ll \omega$. Оценить прецессию электрона с точки зрения кинематики не реально. Радиус вращения вокруг траектории движения не определён, влияние физического вакуума не известно. Анализ прецессии сверх малой частицы возможен только с точки зрения закона сохранения энергии.

П.2 Исходные положения

Кинетическую энергию элементарной частицы можно записать для двух случаев прямолинейного движения.

1) Непрерывное **увеличение** энергии с увеличением линейной скорости электрона. Ускорение положительное. Излучение рентгеновских фотонов не наблюдается. Вид уравнения,

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

Где: v – текущая скорость электрона; m – инвариантная масса электрона.

2) Квантовое **уменьшение** энергии с уменьшением скорости электрона. Ускорение отрицательное. Наблюдается тормозное излучение рентгеновских фотонов. Уравнение рекомбинации энергии,

$$\frac{mv_i^2}{2} = \frac{mv_{i+1}^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v_{i+1}^2}{c^2}}}. \quad (2)$$

Где: v_i и v_{i+1} – пороговые скорости электрона до и после излучения фотона;

i – порядковый номер кванта энергии 1, 2, 3, 4, ... n .

В обоих случаях выражения для кинетической энергии должны содержать энергию прецессии электрона. Оценить прецессию из уравнения (1) не представляется возможным. Кинематика движения не определена, число неизвестных параметров превышает возможности уравнения. Рассмотрим второй случай, относящийся к тормозному излучению. Здесь существует окно возможностей для оценки прецессии. Разделим уравнение (2) на энергию mc^2 , возведём в квадрат и представим скорости в относительном виде:

$$(x_{i+1} - x_i + 2)^2(1 + x_{i+1}) - 4 = 0. \quad (3)$$

Здесь $x_i = \frac{v_i^2}{c^2}$, $x_{i+1} = \frac{v_{i+1}^2}{c^2}$ – относительные скорости в квадрате. Обозначим соседние пороговые скорости через v_1 и v_2 . Уравнение (3) преобразуется к виду:

$$(x_2 - x_1 + 2)^2(1 + x_2) - 4 = 0. \quad (4)$$

В общем случае на частицу действует импульс отдачи фотона. Тормозное излучение должно приводить к изменению траектории движения электрона. Однако, в пределах одного акта рекомбинации, направление вектора скорости можно полагать неизменным. Уравнения рекомбинации кинетической энергии выглядят следующим образом:

$$E_{k1} = E_{s1} + E_{r1}; \quad (5)$$

$$E_{\gamma1} = E_{r1};$$

$$E_{k2} = E_{s1} = E_{s2} + E_{r2}.$$

Где:

E_{k1} — полная кинетическая энергия электрона до излучения фотона;

$E_{\gamma1}$ — энергия излученного фотона;

E_{k2} — полная кинетическая энергия электрона после излучения фотона;

E_{s1}, E_{s2} — классические составляющие энергии (типа $mv^2/2$);

E_{r1}, E_{r2} — релятивистские составляющие энергии (типа $mc^2 - mc^2/\sqrt{1 + v^2/c^2}$).

Излучается фотон электромагнитной энергии E_{r1} . Оставшаяся энергия движения частицы E_{s1} изменяет свою форму записи в виде кинетической энергии E_{k2} . Последнее выражение в системе уравнений (5) является основным уравнением рекомбинации для соседних пороговых скоростей, $v_1 > v_2$. Направление движения частицы после рекомбинации не имеет принципиального значения. Основы теории рекомбинации кинетической энергии подробно изложены на сайте <https://halmich.ru> в статье “Тормозное излучение и квантовая механика электрона”.

П.3 Постоянная тонкой структуры

В уравнении (4) все релятивистские переменные собраны в левой части выражения. В правой части существуют только постоянные числа. Полагаем, что баланс переменных и постоянных значений отличается на очень малую величину $|\pm\delta^2| \ll 1$. Тогда:

$$(x_2 - x_1 + 2)^2(1 + x_2) - 4 = \pm\delta^2; \quad (6)$$

или

$$(x_2 - x_1 + 2)^2 = \frac{4 \pm \delta^2}{1 + x_2}.$$

Умножим последнее уравнение на $m^2 c^4 / 4$ и извлечём квадратные корни с одинаковыми знаками. Приходим к следующему соотношению энергий:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2 \sqrt{1 + \frac{\delta^2}{4}}}{\sqrt{1 + \frac{v_2^2}{c^2}}}. \quad (7)$$

Радикал в числителе последнего члена уравнения (7) разлагается в ряд Тейлора. Принимаем во внимание только первые два члена разложения $(1 \pm \delta^2/8)$. Уравнение рекомбинации энергии записывается в окончательном виде,

$$\frac{mv_1^2}{2} \cong \frac{mv_2^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1 + \frac{v_2^2}{c^2}}} \pm \frac{mc^2 \delta^2}{8 \sqrt{1 + \frac{v_2^2}{c^2}}}. \quad (8)$$

В отсутствии рекомбинаций, правая часть уравнения (8) представляет собой полную кинетическую энергию движения релятивистской частицы. При минимальной скорости рекомбинации должно выполняться соотношение $mv_i^2/2 \cong mv_{i+1}^2/2$. Принимаем δ^2 в уравнениях (8, б) со знаком минус. Если уравнения претендует на фундаментальную форму записи, то величина δ должна соответствовать следующим требованиям:

1. δ^2 — много меньше единицы;
2. δ — безразмерная постоянная величина;
3. δ — выбирается из числа существующих физических констант.

На роль такой величины может претендовать только постоянная тонкой структуры α , ($\alpha = 7.297\ 352\ 569\ 3 \cdot 10^{-3}$). Форма записи полной кинетической энергии **свободной** релятивистской частицы:

$$E_k \cong \frac{mv^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{\alpha^2}{8} \frac{mc^2}{\sqrt{1 + \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (9)$$

Последняя составляющая уравнения (9) соответствует энергии прецессии оси вращения частицы. Энергия прецессии релятивистской частицы много меньше энергии собственного вращения. Обозначим эту энергию символом E_h . Тогда полная кинетическая энергия любой заряженной частицы является суммой её составляющих,

$$E_k = E_s + E_r - E_h. \quad (10)$$

Где: E_s — энергия линейного движения;

E_r — энергия собственного вращения;

E_h — энергия прецессии собственного вращения.

П.4 Энергия прецессии электрона

Рассчитаем энергию прецессии ультрарелятивистского электрона при значении $v \cong c$. Квадрат постоянной тонкой структуры $\alpha^2 = 0,532514 \cdot 10^{-4}$,

$$E_h = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} (29,979)^2 \cdot 10^{14} 0,532514 \cdot 10^{-4}}{8\sqrt{2} \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19}} = 2,41 \text{ eV}.$$

Энергия прецессии не релятивистского электрона при значении $v \leq 10^7 \text{ m/c}$,

$$E_h = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} (29,979)^2 \cdot 10^{14} 0,532514 \cdot 10^{-4}}{8 \cdot 1,6022 \cdot 10^{-19}} = 3,40 \text{ eV}.$$

Диапазон изменения энергии прецессии электрона составляет $2,41 \leq E_h \leq 3,40 \text{ eV}$. В частотном диапазоне видимого света эта энергия занимает области светло-зелёного, голубого, синего, фиолетового и ближнего ультрафиолетового цвета. Данный диапазон энергий характерен излучению Вавилова – Черенкова при прохождении электрона через прозрачную среду с коэффициентом преломления больше единицы. На релятивистских скоростях движения эта энергия крайне мала и существенно не влияет на расчёты тормозного излучения в вакууме.

П.5 Выводы

Из соотношений ВЕРСИИ Элементарной теории относительности следует:

1. Запись **полной** кинетической энергии свободного электрона,

$$E_k \cong \frac{mv^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}} \left(1 + \frac{\alpha^2}{8}\right).$$

2. Запись **обобщённого** механического импульса свободного электрона,

$$p \cong mv + \frac{mv}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}} \left(1 + \frac{\alpha^2}{8}\right).$$

3. Соотношение Макса Планка для **тормозного** излучения (источник излучения – собственное вращение электрона),

$$\hbar\omega_r = mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}}.$$

4. Соотношение Макса Планка для **излучения Черенкова** (источник излучения – собственная прецессия электрона),

$$\hbar\omega_h = \frac{\alpha^2}{8} \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}}.$$

5. Энергия прецессии E_h мало зависит от скорости и характера движения электрона (релятивистский или нерелятивистский случай). В тоже время при скорости $v < 10^7$ m/s эта энергия сопоставима с энергетическими уровнями атома водорода Бора.

П.6 Обсуждение

Материальные частицы считаются свободными, если они не взаимодействуют с другими телами и имеют только кинетическую энергию. Сохраняют свою скорость и механический импульс. При классическом анализе равномерного и прямолинейного движения, собственное вращение частицы не учитывается. В релятивистской механике необходимо учитывать собственное вращение.

Частицы, у которых векторные характеристики вращения и кинематические параметры совпадают, являются когерентными. Если частицы, при равенстве кинематических параметров, вращаются в противоположных направлениях, они являются антикогерентными. Знаки перед релятивистскими составляющими энергии и импульса меняются на противоположные. Обобщённый механический импульс и кинетическую энергию таких **не связанных** частиц **формально** можно записать в обобщённом виде:

$$p_i = mv \pm \frac{mv}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}} \left(1 + \frac{\alpha^2}{8}\right);$$

$$E_{ki} = \frac{mv^2}{2} + mc^2 \mp \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v^2}{c^2}}} \left(1 + \frac{\alpha^2}{8}\right).$$

Вектор импульса прецессии частицы $|\vec{p}_h| = \alpha^2 mv/8\sqrt{1+\beta^2}$ может и не совпадать с вектором линейной скорости (здесь $\beta = v/c$). Суммарный импульс пары **связанных антикогерентных** частиц, с учётом знаков релятивистских составляющих, имеет классический вид:

$$p_\Sigma = 2mv; \text{ следовательно, } E_{k\Sigma} = mv^2.$$

Теоретически (если теория верна) две анти-когерентные частицы могут образовать нейтральную пару относительно вращений вокруг траектории движения. Для свободных электронов этот процесс представляется маловероятным. Необходимо полное совпадение кинематических параметров, а векторы угловых скоростей должны располагаться точно в противофазе. В тоже время возможность такого взаимодействия была описана итальянским физиком Леоном Купером в 1956г. [5]. Следовательно, можно предположить самосинхронизацию электронов при объединении их в коррелированные пары.

Особый интерес вызывает интерпретация излучения Вавилова-Черенкова при равномерном и прямолинейном движении электрона в прозрачной среде. Изначально существовал вопрос, что вызывает данное излучение? Излучает сам электрон или среда

при движении в ней со сверхсветовой скоростью. Вопрос упирался в закон сохранения кинетической энергии. С.И. Вавилов считал, что излучает сам электрон и относил эффект к разряду тормозного излучения. Российские физики И. Е. Тамм и И.М. Франк [6] теоретически объяснили это явление с позиций динамики электромагнитных волн. Однако формула записи энергии излучения была представлена в неявном виде. Автор статьи не собирается спорить с официальной наукой, но с точки зрения рекомбинации энергии, излучение имеет тормозной характер на тонком уровне её распределения. Рентгеновское излучение в **слабых электрических полях** незначительно. Энергия Черенкова несоизмеримо мала по сравнению с полной кинетической энергией релятивистской частицы. Уравнение рекомбинации для прецессии можно записать в следующем виде,

$$\frac{mv_i^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v_i^2}{c^2}}} = \frac{mv_{i+1}^2}{2} + mc^2 - \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v_{i+1}^2}{c^2}}} - \frac{\alpha^2}{8} \frac{mc^2}{\sqrt{1+\frac{v_{i+1}^2}{c^2}}} .$$

Решать данное уравнение бессмысленно, градация скоростей очень частая.

Основное уравнение рекомбинации скоростей (6), для релятивистских электронов в **сильных электрических полях**, можно записать с учётом постоянной тонкой структуры α в обобщённом виде,

$$x_{i+1}^3 + x_{i+1}^2(5 - 2x_i) + x_{i+1}(8 - 6x_i + x_i^2) - (4x_i - x_i^2 - \alpha^2) = 0.$$

Расчёт пороговых скоростей электрона, начиная со скорости света, даёт следующие значения:

№ quantum	1	2	3	4	5	6	7	8
$v_i * 10^7 \text{ m/s}$	30.000	22.993	17.101	12.449	8.942	6.375	4.526	3.206
№ quantum	9	10	11	12	13	14	15	16
$v_i * 10^7 \text{ m/s}$	2.268	1.603	1.131	0.796	0.558	0.387	0.262	0.169

На шаге 17 уравнение не имеет действительных решений. Надо признать, что при скорости $0.10946 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ (свободный член уравнения равен нулю) рекомбинация и излучение рентгеновских фотонов прекращается. Указанное значение точно соответствует скорости электрона на второй орбите атома Бора. На этой скорости и ниже действуют классические законы механики для **свободных** частиц[7]. Полная энергия **связанной** системы (электрон – протон), в отсутствии релятивистской составляющей, расщепляется на более тонкие энергетические уровни в соответствии с квантово-механической моделью атома.

Ссылки

1. М.Б. Халецкий., Элементарная теория относительности, <https://halmich.ru> , публикация статьи <Тормозное излучение и квантовая механика электрона>, 2020г.
- 2 Журнал “ДНА”, Доклады независимых авторов, Выпуск №51., e-mail: publisherdna@gmail.com , 2021г.
3. Л.К. Мартисон, Е.Б. Смирнов., Квантовая физика, опыты Штерна – Герлаха., Глава 5.5, МГТУ им. Баумана, 2002г. (Google).
4. Суорц Кл. Э., Необыкновенная физика обыкновенных явлений, Глава 23., Пер. с англ. В 2-х т., Т. 2 – М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987г. – 384с., ил. С 89.
5. Google – Куперовская пара - Википедия.
6. С.П. Денисов, ИЗЛУЧЕНИЕ “СВЕРХСВЕТОВЫХ” ЧАСТИЦ (ЭФФЕКТ ЧЕРЕНКОВА), МГУ М.В. Ломоносова, 1996г.
7. В.С. Зуев, Г.Я. Зуева, Реакция излучения в эффекте Вавилова – Черенкова с возбуждением поверхностных плазмонов, 2010г.
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1012/1012.5600.pdf> .