

Размер электрона и Томсоновское рассеяние

И. Мисюченко

Санкт-Петербург, 14.02.2015

В настоящее время в физической среде распространено мнение, что применение понятия «размер» к элементарным частицам приводит к целому ряду противоречий и какие-либо оценки их размеров, как правило, даже не принято приводить в справочной литературе, исключение составляют протоны и некоторые мезоны, для которых указывается радиус порядка 10^{-15} метров. Что касается целого ряда частиц (например, лептонов, в т.ч. электронов) то они полагаются точечными и бесструктурными вплоть до размеров 10^{-18} метров. В то же время не прекращаются и попытки так или иначе экспериментально определить размеры частиц. Однако затруднения на этом пути столь велики, что можно обнаружить даже такие высказывания: *«Если в дальнейших экспериментах окончательные размеры этих частиц не будут обнаружены, то это может свидетельствовать о том, что размеры калибровочных бозонов, кварков и лептонов близки к фундаментальной длине (которая весьма вероятно может оказаться планковской длиной, равной $1,6 \cdot 10^{-35}$ м)»* [1].

В то же время нельзя не вспомнить, что ещё первооткрыватель электрона Томсон в самом конце XIX века попытался теоретически оценить радиус электрона (полагая его сферическим) из вполне простых и вроде бы вполне разумных предпосылок. Ход его рассуждений был действительно прост: если электрон — это заряд, окруженный электрическим полем, то этот заряд в этом поле обладает потенциальной энергией, зависящей от его размера r_0 . Если переместить заряд из сферы радиуса r_0 в бесконечность, то получим энергию:

$$(1) A = \frac{q^2}{4\varepsilon_0\pi r_0}$$

Полагая, что это и есть энергия электрона и приравняв её к полной энергии массы $E = m_0c^2$ получим [2]:

$$(2) A = E = m_0c^2 \Rightarrow m_0 = \frac{\mu_0 q^2}{4\pi r_0} \Rightarrow r_0 = \frac{q^2}{4\varepsilon_0\pi m_0} \approx 2.8 \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

Сегодня нам хорошо известно, что Томсон ошибся в размере электрона вдвое (в сторону увеличения) и эту его ошибку физика транслирует до сих пор. Так в каком же именно месте он допустил ошибку? Конечно, не в арифметических подсчётах! Он ошибся в физической интерпретации понятий «заряда» и «поля». Он в своих рассуждениях обошёлся с этими понятиями так, словно они для *одного и того же* электрона *никак не связаны*. Обратите внимание: заряд в его рассуждениях «сам по себе», а электрическое поле «само по себе». Он берёт заряд электрона и... перемещает его в поле самого этого электрона. Т.е. он отрывает заряд от поля электрона! Заряд у Томсона «уезжает» в бесконечность, а поле электрона

терпеливо ждёт, когда он «нагуляется». Так он поступил в рассуждениях. Увы, доселе никому и никогда не удалось этого сделать на практике. Заряд электрона и его поле в реальности неотделимы друг от друга. Поэтому, он должен был бы (как это задолго до него сделано в классической теории гравитации [4]) отщипывать заряд от электрона по частям и устремлять эти части в бесконечность, учитывая, что после каждого такого «отщипывания» оставшийся заряд уменьшается и это приводит к уменьшению и *напряженности* электрического поля. А рассуждая так (т.е. в согласии с опытными данными) он бы получил, что *собственная* энергия электрона A_0 в половину меньше, чем та, которую получил он:

$$(3) A_0 = \frac{1}{2} A = \frac{q^2}{8\varepsilon_0\pi r_0} \Rightarrow r_0 = \frac{q^2}{8\varepsilon_0\pi m_0} \approx 1.4 \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

Томсон был поистине великим учёным, и он попытался экспериментально определить размер электрона в процессе так называемого «Томсоновского рассеяния» [3]. Это рассеяние света (с энергией «фотона» много меньшей, чем собственная энергия электронов) на свободных медленных электронах (или таких электронах, которые можно считать в определенных условиях свободными). Он надеялся, что оптика даст ответ на вопрос о площади поперечного сечения электрона и что «сечение рассеяния» окажется равным или хотя бы близким к ожидаемой площади поперечного сечения электрона. Проведя опыты и расчёты, он убедился, что первые соответствуют последним, но увы, плохо соотносятся с ожидаемой им площадью сечения электрона. Полученная и экспериментально многократно подтвержденная формула для так называемого дифференциального сечения рассеяния выглядела следующим образом:

$$(4) \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{q^2}{4\varepsilon_0\pi m_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1 + \cos^2 \varphi}{2} \right) = r^2 \cdot \left(\frac{1 + \cos^2 \varphi}{2} \right)$$

Т.е. для разных углов рассеяния сечение вышло различным. Ну, это никогда всерьёз не смущало учёных. Можно просто проинтегрировать зависящую от угла часть выражения по «мешающему» углу и усреднить, т.е. оценить среднее по всем углам сечение рассеяния, например. Сделаем это.

$$(5) \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\cos^2 \varphi) d\varphi = \frac{1}{2}$$

Соответственно, (4) с учётом (5) преобразуется в (6):

$$(6) \frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{q^2}{4\varepsilon_0\pi m_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1 + \frac{1}{2}}{2} \right) = r^2 \cdot \left(\frac{3}{4} \right)$$

Ну и в чём выгода, спросите вы? Для Томсона никакой. По-прежнему не видно соответствия площади сечения S_0 электронной сферы. Но не для нас! Погодите, давайте вспомним, каков *правильный* радиус электрона ($r = 2r_0$) и выразим среднее дифференциальное сечение рассеяния через него в (6) *вместо* Томсоновского «классического»:

$$(7) \frac{d\sigma}{d\Omega} = r^2 \cdot \left(\frac{3}{4}\right) = (2r_0)^2 \cdot \left(\frac{3}{4}\right) = 3r_0^2 \approx \pi r_0^2 = S_0$$

И, конечно, видим, что полученное сечение практически точно (расхождение менее 5%) соответствует именно *площади поперечного сечения электрона*. Таким образом, оказывается, размер электрона давно и довольно точно *экспериментально* определён и он почти точно совпадает с нашим r_0 ! Если бы Томсон не совершил ошибку в физических рассуждениях, вычисляя радиус электрона, он бы ещё при жизни получил блестящее экспериментальное подтверждение своей оценки. Увы, история не терпит сослагательного наклонения, и вся радость от этого события досталась не ему. Теперь следует отметить, что коль скоро отчаявшееся свести концы с концами в вопросе размера электрона физическое сообщество объявило электрон «точечным», то далее, обстреливая протоны электронами (и не учитывая реальный размер электрона) физики получали что угодно, только не истинный размер протона. В самом деле, попробуйте-ка выяснить диаметр гвоздика, швыряя в него ватные шары метрового размера. Так что полученная ими и признанная официально оценка радиуса протона ($\approx 10^{-15}$ м) скорее всего является всего-навсего оценкой всё того же размера электрона ($r_0 \approx 1.4 \cdot 10^{-15}$ м). Неудивительно, что, используя разные эксперименты учёные сегодня получают разные размеры протона [5]. Скорее всего они получают не его размер, но нечто совсем иное.

Литература

1. Википедия. Статья «Размер элементарной частицы».
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D1%80%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D1%8B>
2. Википедия. Статья «Классический радиус электрона».
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D1%83%D1%81%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0>
3. Википедия. Статья «Томсоновское рассеяние».
<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5>
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. В 10-ти т. Т. V. Статистическая физика: Учеб. пособие. — 4-е изд., испр. и доп. — М.; Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. С. 356 § 108. Энергия гравитирующего тела.
5. Ян Бернауер, Рандольф Поль, Проблема радиуса протона.
http://spkurdyumov.ru/uploads//2014/04/problema_radiusa_protona.pdf