

Электромагнитная масса электрона

В. КАУФМАН (Гёттинген),

Physikalische Zeitschrift, 1902, 4 (1b): 54-57,

В прошлом году, на научном конгрессе в Гамбурге ^[1] я рассказал вам об исследовании, которое показало, что соотношение e/μ для лучей Беккереля будет уменьшаться с увеличением скорости, так что если e постоянно, то μ растет и тем быстрее, чем ближе скорости (q) к скорости света (c). Такое поведение следует теоретически из уравнения для энергии быстро движущихся электрических зарядов. Это удалось и на сей раз, чтобы привести в соответствие с результатами г-на Серла^[2], который вывел формулу, но только при условии, что большая часть движущегося электрона механическая, а остальная электромагнитного происхождения. Однако, вскоре после публикации прошлого Эксперимента, г-н М. Абрагам^[3], показал, что формулы Серла для энергетического поля движущегося электрона, электромагнитной массы применим только в случае ускорения в направлении движения для расчета без дополнительных допущений, которые контрастируют с поперечным ускорением, которая существовала в моих экспериментах, однако формулы Серла применяется, если $\beta = q/c$, e - заряд электрона в ЕМЕ, μ_0 ^[4] значение электромагнитной массы при малых скоростях, то, согласно Абрагаму:

$$1) \quad \frac{\epsilon}{\mu} = \frac{\epsilon}{\mu_0} \frac{1}{\psi(\beta)}$$

в котором

$$2) \quad \psi(\beta) = \frac{1}{\beta^2} \left[\frac{1 + \beta^2}{2\beta} \ln \left(\frac{1 + \beta}{1 - \beta} \right) - 1 \right],$$

(Для $\beta = 0$ должно быть $\psi(\beta) = \frac{1}{3}$; для $\beta = 1$ должно $\psi(\beta) = \infty$).

Попытка сравнения г-на Абрагама теста не показали хорошее согласие результатов эксперимента с формулой, масса изменилась быстрее, чем требуется теорией, так что можно было бы добавить, что некоторая часть механической массы должна быть указана отрицательной.

Для оценки результатов далее показаны, более рациональные значения *показано полное согласие между наблюдением и теорией*.

В первом расчете использовались абсолютные значения q и e/μ . Использованием *абсолютных значений* электрического и магнитного полей определяет, что даже в этом случае возможная ошибка около 5 процентов, которая значительно больше, чем относительная погрешность измерения пластин.

Из-за большой вариабельности $\psi(\beta)$ от β почти равна 1, но небольшие ошибки β дают очень большую ошибку μ (для $\beta = 0,96$ соответственно 0,98, например для $\psi(\beta) = 3,141$ соответственно 3,745, то есть ошибка в определении β в размере 2 процентов, что эквивалентно ошибке μ размере до 19 процентов).

Для рационального использования кривой измерения проводятся так, что вы получите только сравнение относительных величин; никто не может определить константы кривой непосредственно путем измерения размеров аппарата и определения поля, но должны быть определены методом наименьших квадратов, наиболее вероятные значения.

Допустим на пластине y и z электрическое и соответственно магнитное отклонения. Из них может быть получено две разных величины η и ζ , отсюда можно получить простое соотношение для ϵ/μ и соответственно для q . η и ζ пропорциональна аппроксимируется через y и z ; отклонения от пропорциональности может быть [55]

Таблица I.

z см	y см	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ в %.	
0,348	0,0839	0,957	3,08	2,16	-0,6	$k_1=0,532$ $\epsilon = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{3}} = \pm 0,8 \%$
0,461	0,1175	0,907	2,49	2,165	-0,4	
0,576	0,1565	0,847	2,13	2,20	+1,2	
0,688	0,198	0,799	1,96	2,165	-0,4	
				среднее: 2,173		

Таблица II.

z см	y см	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ в %.	
0,200	0,0241	0,930		[2,19] ^[5]	[+17,5]	$k_1=0,260$ $\epsilon = \pm 1,0 \%$
0,250	0,0305	0,917	2,69	1,87	+0,4	
0,300	0,0382	0,875	2,56	1,855	-0,4	
0,350	0,0469	0,831	2,26	1,845	-1,0	
0,400	0,0574	0,777	2,065	1,895	+1,7	
0,450	0,0688	0,730	1,89	1,864	0,05	
0,525	0,0856	0,684	1,78	1,850	-0,7	
			1,695	Среднее: 1,863		

Таблица III.

z см	y см	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ в %.	
0,35	0,0455	0,851	2,147	1,721	-0,1	$k_1=0,258$ $\epsilon = \pm 1,2 \%$
0,45	0,0651	0,766	1,86	1,736	+0,7	
0,50	0,0760	0,727	1,78	1,725	+0,1	
0,60	0,1000	0,6615	1,66	1,727	+0,2	
0,70	0,1230	0,6075	1,595	1,655 ^[6]	-3,9 ^[6]	
				среднее: 1,723		

Таблица IV.

z см	y см	β	$\psi(\beta)$	k_2	δ в %	
0,150	0,0607	0,963	3,23	8,12	+0,4	$k_1=0,905$ $\varepsilon = \pm 1,4 \%$
0,175	0,0720	0,949	2,86	7,99	-1,2	
0,200	0,0835	0,933	2,73	(?) 7,46	[-7,8]	
0,225	0,0991	0,883	2,31	8,32	+2,8	
0,250	0,1132	0,860	2,195	8,09	+0	
0,275	0,1290	0,830	2,06	8,13	+0,5	
0,300	0,1455	0,801	1,96	8,13	+0,5	
0,325	0,1630	0,777	1,89	8,04	-0,6	
0,350	0,1813	0,752	1,83	8,02	-0,9	
0,375	0,1988	0,732	1,785	7,97	-1,5	
				Среднее: 8,09		

быть представлены поправочные члены, зависящие от размеров аппарата, так что даже довольно значительные ошибки в определении последнего повлияют на результаты незначительно. ^[7]

Обозначим через F - напряженность электрического, H - напряженность магнитного поля k_1 и k_2 две константы; тогда

$$4) \quad q = c\mathcal{E} = \frac{F \eta}{H \zeta} = k_1 c \frac{\zeta}{\eta},$$

$$5) \quad \mathcal{E} = k_1 \frac{\zeta}{\eta},$$

$$6) \quad \frac{\varepsilon}{\mu} = \frac{\zeta^2 F}{\eta H^2},$$

таким образом, принимая во внимание 1):

$$7) \quad \frac{\eta}{\zeta^2 v(\beta)} = \frac{k_1 c \mathcal{E} \mu_0}{H \cdot \frac{1}{\varepsilon}} = k_2$$

или

$$8) \quad \frac{\eta}{\zeta^2 v(k_1 \frac{\zeta}{\eta})} = k_2$$

В Уравнении 8) показано, что уравнение (η, ζ) -кривой [56] получается путем простого преобразования из непосредственно измеряемой (y, z) - кривой.

Так возникает проблема, константа k_1 определяется с использованием метода наименьших квадратов, так что фактор на левой стороне 8) является постоянной; $\overline{k_2}$ среднее всех найденных k_2 , так, чтобы

$$9) \quad \Sigma \delta^2 = \Sigma (k_2 - \overline{k_2})^2,$$

$$\cdot \left(k_1 \frac{\zeta}{\eta} \right)$$

было минимальным. Из-за сложной формы Это можно сделать только путем проб и ошибок; после небольшой практики вы можете очень скоро найти подходящие значения k_1 около 1/2 %.

Я разделяю выводы с некоторыми результатами измерений.

Таблица I относится к моим старым наблюдениям, которые к сожалению, переполнены ошибками в расчетах, на которые г-н Э. Герке любезно указал мне. Таблица II, III и IV содержат новые наблюдения значительно большей точности, ^[8] Благодаря любезности Мистера и миссис Кюри, я получил от них небольшое количество очень ценной чистой хлорида радия. Огромная активность этого препарата позволяет применение очень мелких зерен в качестве источника излучения и, соответственно тонкой диафрагмы, так что кривые были гораздо тоньше, чем раньше, и даже напряжения высоковольтного аккумулятора (около 2000 вольт) уже достаточно, чтобы проявился эффект и обеспечить достаточное разделение двух ветвей. Кривые II и III, записаны с напряжением 2000 вольт, для кривой IV напряжение было увеличено до 5000 В применением описанным I. с. вращающегося переключателя. Согласие с теорией так же хорошо, как и следовало ожидать, точность наблюдений такая, что средняя ошибка отдельных значений на всех четырех углах от 1 до 1,4 процента.

Зная абсолютную величину H , в соответствии с формулой. 7 также определять ε/μ_0 . В новых испытаниях я не измерял H , а в старых опытах (табл. I) $H = 299$, очевидно, в результате чего

$$10) \quad \varepsilon/\mu_0 = 1,84 \cdot 10^7.$$

в хорошем согласии с величиной определенной из опытов с катодными лучами

$$11) \quad \varepsilon/\mu = 1,865 \cdot 10^7.$$

Рассчитан для экспериментов в таблице I Константы k_1 и k_2 из размеров аппарата, отличается для k_1 до 7,2 %, ^[9] т.е. получается на скорости около скорости света $2,785 \cdot 10^{10}$.

Очень вероятно, что исчезнет с достаточной точностью измерений. Попытки в этом направлении ведутся.

Таким образом, уже говорят, что наблюдения оправдывают следующие выводы:

Масса электронов образующих лучи Беккереля, зависит от скорости; зависимость точно представлена формулой Абрагама. Поэтому масса электрона чисто электромагнитной природы.

Величина рассчитанная для малых скоростей согласуется в пределах ошибок наблюдений величинам найденным для катодных лучей.

(Самореферат докладчика.)

Дискуссия.

МАЙЕР (Кёнигсберг): Могу ли я спросить, как вы вычислили функцию $\psi(\beta)$, в теории или по измерениям?

КАУФМАН: Может быть лучше, если мы проведем обсуждения, только после выступления Абрагама.

АБРАГАМ (Гёттинген): Теоретический вывод я приведу; но мы можем говорить о том, что наблюдения подтверждают теоретический вид функции $\psi(\beta)$

КАУФМАН: Сравнение с теорией в первую очередь идет по измеренному отклонению на пластине, две константы зависящие от размера аппарата и напряженности поля не являются абсолютными измерениями, но эмпирически определяются методом наименьших квадратов.

Достичь абсолютной совпадения трудно, потому что ошибка на 1 процент, при определении β отражается погрешностью 10 или даже 20 процентов для $\psi(\beta)$. Поэтому необходимо, сравнивать относительные значения. Если сравнить абсолютные измерения, которые я проводил в более ранних экспериментах в предыдущие годы. Тогда вы получите изменения значения κ_1 до 7 процентов. Если теперь, после коррекции этого отклонения от значения ε/μ от 0, так что вы получите значение $1,84 \cdot 10^7$, в то время как для катодных лучей обнаруживается $1,865 \cdot 10^7$. [57]

МАЙЕР: Я хотел бы спросить о недостатках фотопластинки, которые вы можете обнаружить из того факта, что ошибки, сделанные в том же месте и в том же размере?

КАУФМАН: Эти ошибки есть почти всегда, систематически, то есть они на самом деле не принадлежат кривой, однако они на разных пластинах в разных местах и в разных опытах имеют разные размеры и значения.

-
1. Verhndl. D. Naturf. u. Ärzte Hamburg 1901. II. 1. 45. [Gött. Nachr. 1901. H. 2.](#)
 2. [Phil. Mag \(5\) 44. 340, 1897.](#)
 3. [Gött. Nachr. 1902. H. 1.](#)

4. Это радиус электрона, предполагается, что поверхностный заряд
5. Чтобы вычислить среднее значение не используется, потому что очевидно поврежден диск, наличие ошибок или других проблем.
6. [6.0](#) [6.1](#) Для расчета с 1/4 веса из-за большей неточности индивидуальной настройки; точка видна в самом конце кривой.
7. О деталях см. W. Kaufmann Gött. Nachr. 1902. H. 5. (Но, несколько иначе осуществленный.)
8. Здесь показаны пластины.
9. W. Kaufmann, Gött. Nachr. 1902. H. 5.

$$\mu_0 = \frac{2 \epsilon^2}{3 a}$$