

Электродинамический расчёт фотона

Сенсация - постоянная Планка больше не нужна!

Алеманов Сергей Борисович

alemanov@mail.ru

Доклад в Московском государственном университете

<http://m622.narod.ru/photon>

Доклад опубликован в журнале "Инженерная физика" (№ 5, 2021)

<http://infiz.tgizd.ru/ru/arhiv/20407>

Кратко: <http://alemanow.narod.ru/photon-particle.doc>

Аннотация: В статье показано, что, так как фотон - это просто электромагнитная волна, то, соответственно, все его свойства можно просто рассчитывать обычной классической электродинамикой, без всякой постоянной Планка! На самом деле электродинамика может рассчитывать любые электромагнитные волны, включая фотоны, так как они все состоят из потоков электрической и магнитной индукции, а это обычная электродинамика. Потоки имеют размерность кулон и вебер - это дискретные (квантованные) величины, которые не могут быть меньше одного кванта. Получается, электромагнитная волна может состоять минимум из кванта электрического потока ($1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл) и кванта магнитного потока ($2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб), что представляет электромагнитный квант - фотон. Отсюда с помощью обычной электродинамики легко выполнить расчёт всех свойств фотона - электромагнитная энергия, импульс, спин и прочее.

Ключевые слова: строение фотона, свойства, энергия, квант, свет, квантовая физика, постоянная Планка, электродинамика.

Энергия всех электромагнитных волн складывается из энергии электрических и магнитных потоков индукции - это относится и к фотонам. Поэтому, **чтобы найти энергию электромагнитной волны фотона, надо просто посчитать энергию электрического потока и энергию магнитного потока, а потом сложить их.** Электрические и магнитные потоки (поля) обладают энергией и массой. Электрический поток - единица кулон (количество электричества), магнитный поток - единица вебер (количество магнетизма). Экспериментально установлено, что кулон и вебер являются квантованными физическими величинами, которые могут принимать только дискретный ряд значений - всё, что в этих величинах измеряется дискретно. Соответственно, электромагнитные волны, из-за дискретности электрических и магнитных потоков, также являются дискретными. Электромагнитная частица фотон - это движущееся дискретное поперечное электромагнитное возмущение, состоящее из кванта электрического потока ($1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл) и кванта магнитного потока ($2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб), т.е. представляет элементарное электромагнитное возмущение. Дискретность энергии электромагнитных потоков излучения - это следствие дискретности энергии электрических и магнитных потоков.

Сам расчёт свойств фотона, если использовать электродинамику, на удивление очень простой - всем известно, что согласно электродинамике в электромагнитной волне энергия электрического потока всегда равна энергии магнитного потока. Изменяющийся электрический поток образует ток смещения $I_{см} = d\Phi_D/dt$, а изменяющийся магнитный поток создает ЭДС $U = d\Phi_B/dt$. Далее простые формулы.

Зная частоту изменения электрического потока (частоту электромагнитного кванта), можно найти ток электрического смещения:

$$I_{см} = e/(T/2) = 2ev,$$

где e - квант электрического потока (квант количества электричества) $1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл, T - период колебания (в формуле стоит $T/2$, так как в электромагнитной волне величина электрического потока дважды доходит до нуля за период колебания), ν - частота $\nu = 1/T$.

Энергия магнитного потока электромагнитного кванта (магнитная энергия контура с током):

$$W_m = \Phi_0 I_{cm} / 2 = e \Phi_0 \nu,$$

где Φ_0 - квант магнитного потока (квант количества магнетизма) $2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб. В поперечной электромагнитной волне электрическая энергия всегда равна магнитной $W_e = W_m$, поэтому полная энергия электромагнитного кванта равна:

$$W = W_e + W_m = 2W_m = \Phi_0 I_{cm} = 2e \Phi_0 \nu.$$

Произведение $2e \Phi_0 = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Кл·Вб в электродинамической формуле, для краткости, просто называют коэффициентом пропорциональности постоянной Планка h :

$$W = 2e \Phi_0 \nu = h \nu.$$

Зная частоту изменения магнитного потока, можно найти ЭДС:

$$U = \Phi_0 / (T/2) = 2 \Phi_0 \nu.$$

Это максимальный потенциальный барьер, который может преодолеть, например, электрон при поглощении фотона. Об ЭДС фотонов можно судить по падению напряжения на светодиодах (обратный процесс). Например, для светодиодов с красным спектром излучения с длиной волны $7 \cdot 10^{-7}$ м напряжение примерно 1.8 В.

Энергия электрического потока электромагнитного кванта (энергия заряженного конденсатора):

$$W_e = eU/2 = e \Phi_0 \nu.$$

Эффективная мощность электромагнитного возмущения:

$$P = UI_{cm} = 2 \Phi_0 \nu \cdot 2e \nu = 4e \Phi_0 \nu^2.$$

Протяжённость поперечного возмущения равна половине длины волны, так как в поперечном возмущении разноимённые области расположены поперечно, а не продольно, что является отличием поперечного возмущения от продольного. Т.е., чтобы найти энергию, надо умножить мощность на время, равное половине периода:

$$W = PT/2 = 4e \Phi_0 \nu^2 / 2\nu = 2e \Phi_0 \nu = h \nu.$$

В поперечной электромагнитной волне эффективный радиус, по которому течёт замкнутый электрический ток смещения поля: $r = \lambda/2\pi$ (ток всегда замкнут), где λ - длина электромагнитной волны. Когда течёт круговой ток смещения поля, то смещается масса, так как поле обладает энергией и, соответственно, массой. Если умножить полевую массу фотона $M = W/c^2 = 2e \Phi_0 \nu / c^2$ на радиус кругового тока смещения поля и его скорость (скорость тока смещения поля равна скорости света), то получим момент количества движения полевой массы фотона (спин):

$$s = Mrc = (2e \Phi_0 \nu / c^2) \cdot (\lambda/2\pi) \cdot c = e \Phi_0 / \pi = h/2\pi = \hbar.$$

Спиновый магнитный момент кругового тока смещения поля (магнитный момент, связанный с магнитным потоком):

$$M_m = I_{cm} \pi r^2 = e c^2 / 2\pi \nu = e / \epsilon_0 \mu_0 2\pi \nu.$$

В веществе токи смещения поля световых волн переходят в круговые поляризационные токи смещения. Т.е. происходит магнитное возмущение вещества и под действием внешнего магнитного поля может наблюдаться вращение плоскости поляризационных токов смещения, как результат прецессирования моментов количества движения электромагнитных возмущений - магнитооптический эффект Фарадея. Вращение плоскости поляризации света наблюдается только в веществе, потому что вакуумный ток смещения не отклоняется в магнитном поле и на него не действует сила Лоренца (Ампера), так как он представляет изменяющееся электрическое поле. Поляризационные же токи представляют движение заряженных частиц, на них действует магнитное поле, поэтому и наблюдается магнитооптический эффект Фарадея.

Соотношение между ЭДС и энергией:

$$W = 2e\Phi_0 v = eU.$$

Получается, 1 В - $1.602 \cdot 10^{-19}$ Дж, т.е. равен одному электронвольту. Таким образом, электромагнитный квант с ЭДС в один вольт обладает энергией, равной одному электронвольту ($1 \text{ эВ} = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Дж). Например, в фотоне с частотой $6 \cdot 10^{14}$ Гц:

- ток смещения - $1.923 \cdot 10^{-4}$ А ($I_{\text{см}} = 2ev$);
- ЭДС - 2.481 В ($U = 2\Phi_0 v$);
- мощность - $4.771 \cdot 10^{-4}$ Вт ($P = UI_{\text{см}} = 4e\Phi_0 v^2$);
- энергия электрического потока - $1.988 \cdot 10^{-19}$ Дж ($W_e = eU/2 = e\Phi_0 v$);
- энергия магнитного потока - $1.988 \cdot 10^{-19}$ Дж ($W_m = \Phi_0 I_{\text{см}}/2 = e\Phi_0 v$);
- электромагнитная энергия - $3.976 \cdot 10^{-19}$ Дж ($W = 2e\Phi_0 v$);
- электромагнитная энергия в электронвольтах - 2.481 эВ ($W_e = 2\Phi_0 v$);
- электромагнитная масса в вакууме - $4.424 \cdot 10^{-36}$ кг ($M = \epsilon\epsilon_0\mu\mu_0 W$);
- электромагнитный импульс в вакууме - $1.326 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с ($p = (\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0)^{1/2} W$);
- длина электромагнитной волны в вакууме $4.997 \cdot 10^{-7}$ м ($\lambda = 2e\Phi_0 / (\epsilon\epsilon_0\mu\mu_0)^{1/2} W = 2e\Phi_0 / p$);
- спин - $1.056 \cdot 10^{-34}$ Дж·с ($s = e\Phi_0 / \pi$);
- спиновый магнитный момент в вакууме - $3.820 \cdot 10^{-18}$ Дж/Тл ($M_m = e / \epsilon\epsilon_0\mu\mu_0 2\pi v$);

В скобках приведены электродинамические формулы (без постоянной Планка), с помощью которых рассчитываются свойства фотона - кванта электромагнитного потока излучения. Таким образом, в электромагнитных волнах дискретны токи смещения и энергия электрических и магнитных потоков. Для их вычисления достаточно знать частоту электромагнитного кванта, величину кванта электрического потока и кванта магнитного потока, либо вместо них, чисто для упрощения выражения, можно использовать произведение электромагнитных постоянных $h = 2e\Phi_0 = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Кл·Вб - коэффициент пропорциональности (постоянная Планка), его ещё называют квантом действия, искусственно изменяя размерность с Кл·Вб на Дж/Гц или Дж·с. Но использование только коэффициента пропорциональности не позволяет рассчитывать электродинамические параметры фотона: ток смещения, ЭДС и пр. То, что электродинамика через электромагнитные постоянные позволяет рассчитывать дискретные электромагнитные волны - фотоны, не является чем-то необычным, электродинамика и создана для того, чтобы объяснять и рассчитывать электромагнитные процессы. **Расчёт фотона - это обычный электродинамический расчёт электромагнитного возмущения только с элементарными потоками - электрическим и магнитным.** В том, что элементарная частица фотон имеет такой же электрический поток, как, например, частица электрон, также нет ничего необычного - многие частицы имеют такой же элементарный электрический поток. При движении со скоростью света этот элементарный электрический поток представляет квант магнитного потока, так как магнитный поток - это движущийся электрический поток $\mathbf{B} = \mu_0[\mathbf{vD}]$. В том, что частица фотон имеет электрический

поток, но не имеет электрического заряда, также нет ничего необычного - электрические потоки материальны, обладают энергией (массой) и, согласно электродинамике, могут существовать без зарядов. Электрический поток, как и заряд, измеряется в кулонах и представляет количество электричества. Т.е. хотя частица фотон и не имеет заряда, но обладает количеством электричества, таким же, как и частица электрон $1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл (количество электричества может быть как в виде заряда, так и просто в виде вихревого электрического потока без заряда). Фотон - это электромагнитная частица, обладающая квантом количества электричества $1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл и магнетизма $2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб, где движущийся электрический поток создаёт ток электрического смещения поля. Электромагнитный квант, двигаясь равномерно, является источником вторичных волн, но из-за интерференции не создаёт излучения, все вторичные волны гасят друг друга, не излучаясь.

«Согласно принципу Гюйгенса каждая точка поверхности, которой достигла в данный момент волна, является точечным источником вторичных волн.» [1]

«При равномерном движении частицы эти волны оказываются когерентными и поэтому интерферируют между собой.» [2]

«Для каждого значения λ длины волны излучения можно найти такое значение $l = l_{\alpha\lambda}$, при котором $\Delta = \lambda/2$, так что элементарные волны гасят друг друга ...» [3]

Электродинамика позволяет однозначно ответить на вопрос, что такое фотон. **Фотон - это квант электромагнитного потока излучения, состоящий из кванта электрического потока ($1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл) и кванта магнитного потока ($2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб). Движущееся квантовое (элементарное) электромагнитное возмущение образует (возбуждает) парциальные электромагнитные волны, которые когерентны и, согласно принципу Гюйгенса, за счёт интерференции, не излучаются в пространство, а движутся вместе с электромагнитным квантом как единое целое (волна де Бройля), представляя пакет парциальных волн в виде цуга.**

Т.е. элементарная электромагнитная частица фотон - это одно поперечное электромагнитное возмущение, с которым, как и у всех движущихся частиц, связана волна де Бройля - корпускулярно-волновой дуализм, поэтому он, как и электрон, может создавать интерференцию.

«Волны де Бройля - волны, связанные с любой движущейся микрочастицей, ...» [4]

«Фотону как квантовой частице свойственен корпускулярно-волновой дуализм.» [5]

Все частицы, а не только фотоны - это возбуждённые состояния полевой среды, которые при движении сопровождаются волной де Бройля. Поэтому волны для всех частиц, включая фотоны, рассчитываются одинаково - по формуле волны де Бройля: $\lambda = h/p$, где p - импульс.

«Электромагнитная природа света подтверждена окончательно. Лишь в 2009 году физики создали методку, способную измерить колебания магнитной компоненты света.» [6]

Если раньше ещё были сомнения, можно ли рассчитывать фотоны на основе электродинамики, то последние экспериментальные факты однозначно подтвердили, что фотоны - это обычные электромагнитные колебания, поэтому при расчёте фотонов всегда надо использовать электромагнитные постоянные, а не какие-то странные коэффициенты пропорциональности.

«Электромагнитные постоянные: Элементарный заряд e ($1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл), Квант магнитного потока Φ_0 ($2.068 \cdot 10^{-15}$ Вб).» [7]

«Физические величины, которые могут принимать только дискретный ряд значений, называются квантованными.» [8]

Фотоны представляют электромагнитные колебания, такие же, как, например, в антеннах, где электродинамика эти колебания прекрасно рассчитывает, но когда переходят к фотонам, то

почему-то сразу забывают электродинамику. Сама формула электромагнитных колебаний универсальная: $\nu = 1/2\pi(LC)^{1/2}$ и, если трудно представить электродинамические процессы в фотоне, то для наглядности можно просто рассмотреть элементарные колебания в самом простом идеальном колебательном контуре, например, в полуволновом диполе (антенна), где энергия элементарного электрического заряда переходит в энергию элементарного магнитного потока. Квант электрического заряда e и квант магнитного потока Φ_0 - это минимально возможные физические величины, которые могут участвовать в электромагнитных колебаниях. Т.е. представляет один квант электромагнитных колебаний - минимальная величина. Выведем формулу энергии колебаний электромагнитного кванта. Из $\Phi_0 = LI$ и $W = \Phi_0 I/2$ получим $L = \Phi_0^2/2W$. Из $e = CU$ и $W = eU/2$ получим $C = e^2/2W$. Подставив L и C в формулу электромагнитных колебаний $\nu = 1/2\pi(LC)^{1/2} = W/\pi e\Phi_0$, получим зависимость энергии колебаний от частоты $W = 2e\Phi_0\nu \cdot \pi/2 = h\nu \cdot \pi/2$ (произведение $2e\Phi_0$ представляет постоянную Планка h , её можно вставить в формулу для наглядности). Известно, что эффективное значение параметров полуволнового диполя $2/\pi$, тогда получается $W = 2e\Phi_0\nu = h\nu$.

Вокруг фотона, представляющего банальное электромагнитное возмущение, состоящее из двух элементарных потоков - электрического и магнитного, понаписали столько интерпретаций и договорились до того, что свет стали считать «самым темным местом в физике». В результате всё это привело к господству на протяжении почти целого века метафизического мнения, что строение фотона вообще нельзя представить и тем более рассчитать на основе электродинамики. Надеюсь, что в конце концов этот простой электродинамический расчёт появится в учебниках по электродинамике. Ну а пока, если встретится утверждение, будто бы электродинамика не может рассчитывать фотоны, знайте, что это заблуждение и не соответствует действительности, а физики, занимающиеся фотонами, часто попросту не знают электродинамику - то, что фотоны это обычные электромагнитные колебания, состоящие из электрических и магнитных потоков индукции и нужно всего лишь посчитать энергию этих потоков.

«Аристотель утверждал, что у мухи - восемь ног. И веками все европейские учёные в этом не сомневались. Поймать муху и посчитать - недостойно учёного.» [9]

Аналогичная ситуация с утверждением, что электродинамика не может посчитать свойства фотона, хотя надо было всего лишь взять электромагнитные постоянные и с помощью обычных электродинамических формул посчитать фотон. Это также просто, как у мухи посчитать ноги.

«... постоянной Планка называется коэффициент пропорциональности ...» [10]

«Не следует привлекать новые сущности без крайней на то необходимости.» [11]

Постоянная Планка для других расчётов, возможно, нужна, но в электродинамике совершенно нет необходимости в коэффициенте пропорциональности. Для расчёта электромагнитных волн полностью достаточно обычных электромагнитных постоянных, а привлечение новой сущности нарушает принцип "бритвы Оккама", что противоречит современной физике! Сегодня доклад "Электродинамический расчёт фотона" в Интернете стоит первым в поиске, например - "Строение фотона".

Список литературы

1. Физика. О.Ф.Кабардин. 1991. С.224.
2. Волновые процессы. И.Е.Иродов. 1999. С.241.
3. Справочник по физике. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф. 1996. С.400.
4. Физическая энциклопедия. ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ.
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Фотон>
6. <http://111.ru/content/view/78/2/>
7. Физические величины (справочник). 1991. С.1234.
8. <http://physics.ru/textbook1/chapter1/section/paragraph1>
9. <http://www.inpearls.ru/1449208>
10. Квантовая физика. И.Е.Иродов. 2001. С.11.
11. http://ru.wikipedia.org/wiki/Бритва_Оккама