Серия: ФИЗИКА

Хмельник С.И.
https://orcid.org/0000-0002-1493-6630

Структура фотона

Аннотация

Рассматривается т.н. волна-И-частица – ВИЧ, которая представляет собой стоячую волну в объеме куба. На гранях куба поток равен нулю, т.е. куб не излучает энергию. Однако на гранях куба имеются магнитные и электрические напряженности. Показывается, что такой ВИЧ, получивший квант энергии, становится квантом потока энергии и летит со скоростью света. Такое представление позволяет снять противоречия между уравнениями Максвелла и квантованием энергии электромагнитного излучения, связанные, во-первых, с тем, что энергия, передаваемая от света атомам, зависит только от частоты, и, во-вторых, с тем, что невозможно найти волновое уравнение для фотона.

Оглавление

1. Вступление

Фотон не имеет массы и заряда, имеет энергию и импульс, летит только со скоростью света и существует только в полете. Ничто не мешает ему лететь и поэтому он не тратит свою энергию в полете. Но позвольте задать детский вопрос: «почему фотон летит?» На него не действует сила инерции и какая-либо внешняя сила. У него нет желания лететь и его не преследует чувство долга. Отвечая на этот неприличный для физика вопрос, приходится предположить, что движущая сила находится внутри фотона и не дает ему покоя.

Мы рассмотрим обоснование возможности существования фотона, как реальной частицы (а не виртуальной)

2. Фотон как реальная частица

В [4, глава 4] описывается волна-И-частица – ВИЧ, которая представляет собой стоячую волну в объеме куба. В этом кубе храниться поток электромагнитной энергии и пульсирует внутренний поток электромагнитной энергии. На гранях куба поток равен нулю, т.е. куб не излучает энергию. Однако на гранях куба имеются магнитные и электрические напряженности. Конкретнее, размер ребра куба

$$L = \sqrt{\frac{3}{\mu\varepsilon}}2\pi/\omega, \qquad (1)$$

а напряженности определяются как

$$E_x(x,y,z,t) = e_x\cos(\alpha x)\sin(\alpha y)\sin(\alpha z)\sin(\omega t), \qquad (2)$$

$$E_y(x,y,z,t) = e_y\sin(\alpha x)\cos(\alpha y)\sin(\alpha z)\sin(\omega t), \qquad (3)$$

$$E_z(x,y,z,t) = e_z\sin(\alpha x)\sin(\alpha y)\cos(\alpha z)\sin(\omega t), \qquad (4)$$

$$H_x(x,y,z,t) = h_x\sin(\alpha x)\cos(\alpha y)\cos(\alpha z)\cos(\omega t), \qquad (5)$$

$$H_y(x,y,z,t) = h_y\cos(\alpha x)\sin(\alpha y)\cos(\alpha z)\cos(\omega t), \qquad (6)$$

$$H_z(x,y,z,t) = h_z\cos(\alpha x)\cos(\alpha y)\sin(\alpha z)\cos(\omega t), \qquad (7)$$

где $e_x, e_y, e_z, h_x, h_y, h_z$ - постоянные амплитуды функций; α, ω - константы. При этом

$$e_y = e_x, \qquad (8)$$

$$e_z = -2e_x, \qquad (9)$$

$$h_x = -e_x\sqrt{\frac{3\varepsilon}{\mu}}, \qquad (10)$$

$$h_y = -h_x, \qquad (11)$$

$$h_z = 0, \qquad (12)$$

$$\alpha = \omega\sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{3}}. \qquad (13)$$

Таким образом, напряженности определяются при данных e_x и ω.
Внутренняя энергия ВИЧ

$$W_{\text{wap}} = \sigma \cdot e_x^2/\omega^3, \qquad (14)$$

где

$$\sigma = 48\pi^6 3^{1.5}\varepsilon^{-0.5}\mu^{-1.5}. \qquad (15)$$

Пусть ВИЧ получает извне квант энергии

$$W_{\text{out}} = h\omega/2\pi, \qquad (16)$$

где h - постоянная Планка. При этом становится

$$W_{\text{wap}} = W_{\text{out}}. \tag{17}$$

Из (15-17) находим электрическую напряженность в кванте энергии:

$$e_x^2 = \frac{h\omega^4}{2\pi\sigma} \tag{18}$$

Для вакуума при $h \approx 6.6 \cdot 10^{-27}$ имеем:

$$\frac{h}{2\pi\sigma} \approx 4.4 \cdot 10^{-33}. \tag{19}$$

При этом из (18, 19) получаем:

$$e_x = 0.14 \cdot 10^{-16}\omega^2. \tag{20}$$

Мы получили, электрическую напряженность ВИЧ, как кванта энергии, в зависимости от частоты.

3. Фотон и уравнения Максвелла

В приложении рассматривается решение системы уравнений Максвелла для вакуума и показывается, что при данной амплитуде электрической напряженности $e_x(x)$, и данной частоте, могут быть найдены все напряженности электромагнитной волны и плотность продольного потока электромагнитной энергии в волне $S_z(x)$.

Рассмотрим элемент объема этой электромагнитной волны. В нем действуют напряженности, поток энергии и он летит со скоростью c. Очевидно, этот объем тождественен ВИЧ-фотону, который имеет на одной из граней напряженность $e_x(x)$. Математическое описание такого фотона полностью эквивалентно математическому описанию волны в целом. В силу правомерности уравнений Максвелла должен возникнуть продольный поток энергии с плотностью $S_z(x)$, который увлекает ВИЧ-фотон, как источник напряженности $e_x(x)$. Таким образом, ВИЧ-фотон, получивший квант энергии, становится квантом потока энергии.

Этот поток энергии существует в окрестности ВИЧ-фотона (внутри объема ВИЧ-фотона циркулирует свой поток энергии). Поэтому назовем этот поток внешним потоком энергии. Этот поток переносит энергию электромагнитной волны, плотность которой определяется по формуле Умова:

$$w_{wave}(r) = S(r)/c \tag{21}$$

Как указывалось, фотон получил квант энергии W_{out}. Эта энергия становится энергией волны с плотностью $w_{wave}(r)$ в окрестности фотона с радиусом R, много бОльшим размера фотона:

$$W_{\text{out}} = dz \int_0^{2\pi} \left(\int_0^R w_{wave}(r) \cdot dr \right) r \cdot d\varphi. \qquad (22)$$

Эта энергия не расходуется, т.к. квант энергии не может уменьшаться. Однако при столкновении фотона с электроном и при частоте, превышающей определённое значение для данного материала (так называемой красной границы фотоэффекта), энергия фотона может быть передана электрону. Таким образом, энергия, передаваемая фотоном, зависит от его частоты, и не зависит от плотности энергии электромагнитой волны, т.е. интенсивности волны, переносимой фотоном.

Тем самым снято то противоречие между теорией Максвелла, по которой энергия световой волны должна зависеть только от её интенсивности (но не от частоты) и экспериментами, которые показывают обратное: переданная от света атомам энергия зависит только от частоты света, а не от интенсивности [2]. Объяснение состоит в том, что энергия фотонов, как квантов энергии, не расходуется при передаче энергии волны. Тем не менее, энергия фотонов равна энергии волны - см. (22).

4. Уравнения Максвелла и квантование энергии

Итак, мы обосновали существование фотона как реальной частицы. Но что мешает отказаться от представления о фотоне, как о волне?

Квантование энергии электромагнитного излучения было доказано многочисленными экспериментами и тем самым было доказано существование фотона, как кванта этой энергии. Но существование фотона противоречило теории Максвелла.

Первое противоречие состояло в том, что энергия световой волны зависит только от её интенсивности, а энергия, передаваемая от света атомам, зависит только от частоты света. Выше мы рассмотрели и сняли это противоречие.

Второе противоречие следовало из того, что существовало волновое уравнение для электромагнитных волн, но невозможно было найти волновое уравнение для фотона и, как следствие, невозможно было представить волну как сумму фотонов [2]. «Решение этой проблемы было найдено в рамках квантовой электродинамики» - как сказано в [3].

Проблема возникла из-за того, что единственно-верным решением системы уравнений Максвелла было признано волновое уравнение несмотря на то, что оно нарушало закон сохранения энергии и другие эмпирически установленные закономерности электротехники. Но оно было таким элегантным, что не хотелось ничего другого! На самом деле система уравнений Максвелла (как система дифференциальных уравнений в частных производных) имеет множество математических решений и среди них - решений, не нарушающих законы физики и не противоречащих экспериментам. Такие решения рассматриваются в [1] и, в частности, в приложении. Именно оно представлено там формулами (1-14). В связи с этим исчезает вышеуказанная проблема. Таким образом, и это противоречие снято.

Приложение

Рассмотрим систему уравнений Максвелла для вакуума, которая имеет вид

$$\mathrm{rot}(E)+\frac{\mu}{c}\frac{\partial H}{\partial t}=0, \tag{a}$$

$$\mathrm{rot}(H)-\frac{\varepsilon}{c}\frac{\partial E}{\partial t}=0, \tag{b}$$

$$\mathrm{div}(E)=0, \tag{c}$$

$$\mathrm{div}(H)=0. \tag{d}$$

Рассмотрим решение этой системы уравнений в системе цилиндрических координат r, φ, z. В [1] показано, что это решение имеет вид:

$$H_r.=h_r(r)\mathrm{co}, \tag{1}$$

$$H_\varphi.=h_\varphi(r)\mathrm{si}, \tag{2}$$

$$H_z.=h_z(r)\mathrm{si}, \tag{3}$$

$$E_r.=e_r(r)\mathrm{si}, \tag{4}$$

$$E_\varphi.=e_\varphi(r)\mathrm{co}, \tag{5}$$

$$E_z.=e_z(r)\mathrm{co}, \tag{6}$$

$$\mathrm{co}=\cos(\alpha\varphi+\chi z+\omega t), \tag{7}$$

$$\mathrm{si}=\sin(\alpha\varphi+\chi z+\omega t), \tag{8}$$

где

$h(r), e(r)$ - некоторые функции координаты r,

α, χ, ω – некоторые константы.

В частности, при отсутствии продольных напряженностей имеем:

$$h_z(r)=0, \tag{9}$$

$$e_z(r)=0, \tag{10}$$

$$e_r(r)=e_\varphi(r)=\frac{A}{2}r^{(\alpha-1)}, \tag{11}$$

$$h_\varphi(r) = -\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_r(r), \tag{12}$$

$$h_r(r) = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_r(r), \tag{13}$$

$$\chi = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}/c, \tag{14}$$

где A – некоторая константа. В этом решении существует плотность продольного потока электромагнитной энергии на данном радиусе

$$S_z(r) = \frac{c}{4\pi}\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_r^2(r), \tag{15}$$

Важно отметить, что этот поток энергии не изменяется во времени (в отличие от известного решения, где поток энергии пульсирует, сохраняя свою величину только в среднем)

В [1] показано, что решение уравнений Максвелла в цилиндрических координатах и в прямоугольных координатах при $\alpha \gg 1$ эквивалентны в том смысле, что

$$E_x(x, y, z, t) = E_r(r, \varphi, z, t), \tag{16}$$

$$E_y(x, y, z, t) = E_\varphi(r, \varphi, z, t), \tag{17}$$

$$E_z(x, y, z, t) = E_z(r, \varphi, z, t), \tag{18}$$

$$H_x(x, y, z, t) = H_r(r, \varphi, z, t), \tag{19}$$

$$H_y(x, y, z, t) = H_\varphi(r, \varphi, z, t), \tag{20}$$

$$H_z(x, y, z, t) = H_z(r, \varphi, z, t), \tag{21}$$

где (x, y) и (r, φ) связаны уравнениями преобразования координат. Следовательно, полученное решение мы можем использовать, полагая $x = r$, $e_x(x) = e_r(r)$, $S_z(x) = S_z(r)$.

Литература

1. Хмельник С.И. Непротиворечивое решение уравнений Максвелла (глава 1). Lulu Inc., ID 18555552, ISBN 978-1-329-96074-9, https://doi.org/10.5281/zenodo.4584868
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Photon
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Фотон
4. Хмельник С.И. Уравнения Максвелла в квантовой физике (Version 2, pp. 1–84) "MiC" - Mathematics in Computer Comp. Printed in USA, Lulu Inc., https://doi.org/10.5281/zenodo.4630329