

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 539.2+533.9

**О СТРУКТУРЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И  
ЕГО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ВЕЩЕСТВОМ**

Н.Т. КВАСОВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 20 ноября 2007*

Проведен анализ гипотезы о локализации в пространстве электромагнитной энергии — идеи автономного существования квантов электромагнитного поля — фотонов. Показано, что структуры, подобной веществу, у поля быть не может. Квантование имеет место лишь при взаимодействии поля и вещества, которое (вещество) в силу специфики связанного состояния составляющих его элементов может поглощать и излучать поле порциями.

*Ключевые слова:* структура электромагнитного поля, фотоны, квантование взаимодействия.

В 1905 г. А. Эйнштейн, беря за основу идею М. Планка о квантовании энергии, высказал следующее предположение, что "энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме, а складывается из конечного числа **локализованных в пространстве** (выделено мною. — *Н.К.*) неделимых квантов энергии, поглощаемых и возникающих только целиком" [1]. Свои рассуждения Эйнштейн аргументирует тем фактом, что "теория Планка в действительности неявно использует упомянутую выше гипотезу световых квантов" [2]. Для доказательства этого в работе [3] он проходит в обратном направлении тот путь, который прошел Планк при создании своей теории равновесного теплового излучения, и делает следующий вывод: "Кроме пространственных неравномерностей в распределении количества движения излучения, вытекающих из волновой теории, существует еще и другие неравномерности, которые при малой плотности энергии излучения намного превосходят неравномерности, упомянутые первыми". И далее в статье "Теория квантов света и проблема локализации электромагнитной энергии" [4] он окончательно приходит к мысли, что "излучение ведет себя так, как если бы его энергия была локализована в  $E_0/h\nu$  точках ( $E_0$  — энергия электромагнитного излучения, заключенная в объеме  $V$ ,  $h$  — постоянная Планка,  $\nu$  — частота), движущихся независимо друг от друга. Отсюда следует, что излучение, если принять во внимание локализацию его энергии, должно обладать **структурой** (выделено мною. — *Н.К.*), которая не вытекает из обычной теории".

Об этой структуре и пойдет речь в данном сообщении. Отметим сразу, что в своих рассуждениях Эйнштейн не уточнил, можно ли обнаружить электромагнитное поле между квантами (или фотонами, как их назвал в 1926 г. Льюис). Созданная впоследствии квантовая теория поля использовала внешнюю сторону этой идеи. Действительно, разложение электромагнитного поля по собственным типам колебаний или модам приводит к тому, что его энергия может быть представлена как сумма энергий отдельных мод. Переходя от фурье-образов вектор-потенциала  $\vec{A}$  (амплитуды в фурье-разложении) к обобщенным координатам и импульсам, получают поле как совокупность гармонических осцилляторов. Если теперь по известной процедуре обобщенные координаты и импульсы заменить соответствующими операторами, то опе-

ратор Гамильтона электромагнитного поля может быть записан как сумма гамильтонианов квантовых осцилляторов. Дальнейшее введение операторов рождения ( $\hat{a}^*$ ) и уничтожения ( $\hat{a}$ ) фотонов приводит в итоге к конечной формуле квантовой теории поля

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)h\nu, \quad (1)$$

где  $n$  — число фотонов с энергией  $h\nu$ . При этом  $n$  является собственным значением оператора  $\hat{a}\hat{a}^*$ .

Формула (1) в точности соответствует выражению для собственных значений оператора Гамильтона квантового одномерного гармонического осциллятора.

$$\hat{H}\Psi(x) = E\Psi(x), \quad (2)$$

где  $\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$ ,  $\hat{p}_x - x$  — проекция оператора импульса,  $m$  — масса осциллятора,  $\omega=2\pi\nu$ ,  $\Psi(x)$  — волновая функция.

Как следует из приведенных выше рассуждений, у квантовой теории поля нет физического наполнения, свидетельствующего о наличии структуры самого поля. Энергия и импульс, передаваемые при взаимодействии поля с веществом, четко присутствуют в волновой теории Максвелла и наличие этих характеристик у фотона, представляющего в определенном выше смысле моду излучения, не является новым качеством.

Структуру любого материального объекта, будь это поле или вещество, можно установить лишь, введя соответствующую систему отсчета. И для квантов электромагнитного поля — фотонов здесь возникает проблема. Напомним сначала, что масса покоя фотона равна нулю. Очевидно, что это обстоятельство не позволяет сформировать из таких объектов многообразия, на котором можно установить метрическую протяженность (переход от одной структурной единицы многообразия к другой). Установление же метрической протяженности (а следовательно, и структурных особенностей рассматриваемого объекта) требует в свою очередь, как указывалось выше, введения системы отсчета, которая по вполне понятным причинам не может быть связана с фотонами, движущимися со скоростью света. Следовательно, такие объекты как фотоны в принципе существовать не могут.

С другой стороны, хорошо подтвержденным экспериментальным фактом является квантование взаимодействия поля и вещества (именно взаимодействия, так как фундаментальная постоянная  $h$  является квантом действия). Вещество в силу специфики связанного состояния составляющих его элементов поглощает и излучает поле порциями, имеющими энергию  $h\nu$  и импульс  $\frac{h\nu}{c}\vec{n}$ . И здесь будет весьма к месту упомянуть образное сомнение М. Планка в существовании локализованных в пространстве порций энергии электромагнитного поля: если пиво из бочки черпать кружками объемом, например, 0,5 л, то это не значит, что пиво в бочке существует в виде совокупности таких порций по 0,5 л.

## Выводы

Ввиду особой природы электромагнитного излучения существование пространственно выделенных сгустков поля — фотонов принципиально невозможно. Такой структуры, как у вещества, у поля быть не может. Тем не менее возбужденное состояние квантового вакуума, создаваемое, например, ускоренно движущимся зарядом, можно с помощью определенной процедуры представить в виде некоторых квазичастиц-фотонов и "работать" с ними при описании процессов взаимодействия со структурными составляющими вещества (как, например, не вызывает сомнений весьма полезная процедура введения фононов при рассмотрении ряда физических процессов в твердом теле).

# ON THE STRUCTURE OF ELECTROMAGNETIC FIELD AND ITS INTERACTION WITH MATTER

N.T. KVASOV

## Abstract

The analysis of hypothesis of electromagnetic energy space localization — idea of autonomous existence of electromagnetic field quanta-photons, is carried out. It is show that field cannot have matter-like structure. Quantization occurs only in the field-matter interaction when the matter, due to the specific character of the bound state of its elements, can absorb and emit light by portions.

## Литература

1. Einstein A. // Ann. Phys. 1905. Bd. 17. S. 132–148.
2. Einstein A. // Ann Phus. 1906. Bd. 20. S. 199–206.
3. Einstein A. // Phys. Zs. 1909. Bd. 10. S. 817–825.
4. Einstein A. // Arch. Sci. physignes et naturelles. 1910. XXIX. P. 525–528.