

И. А. ГРОМЫКО, проф., Харьковский нац. ун-т внутренних дел;
В. Я. ПЕВНЕВ, зав. каф., Харьковский нац. ун-т внутренних дел;
М. Н. БОРЗОВ, ст. преп., НТУ «ХПИ»

КОРРЕКЦИЯ ЭЛЕМЕНТА МОДЕЛИ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА

У статті розглянутий і скоректований підхід до розгляду фотона, як базового елементу моделі лазерного променя, який формується збудженими атомами активного середовища, обґрунтовується цюгова модель фотона.

The approach to the photon, as a basic element model of the laser beam formed by excited atoms of the active medium is justified trains model photon have been given and adjusted.

Введение. При разработке базовых элементов современных адаптивных оптических систем, возникает необходимость математического моделирования физических процессов перераспределения энергии в лазерном луче. Существующие модели оказались не всегда пригодными для использования, по причине изначально некорректных суждений о процессах в возбужденной активной среде лазеров.

Проблема в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. В течении определенного промежутка времени некорректный поход к моделям существенно не влиял на процесс разработок лазерных систем. Однако в эпоху современных нанотехнологий и разработок адаптивных оптических систем оставлять этот вопрос открытым стало невозможным, так как, в частности, это повлекло за собой неверные предположения о возможностях лазерных систем акустической разведки, их реальном принципе действия и др. [1].

Анализ последних исследований и публикаций.

В 1900 году германский ученый Макс Планк, разрешая одно из противоречий физики и работая над созданием реалистичной модели электромагнитного поля, предложил формулу, связывающую понятие энергии кратковременно излученного кванта (элемента) электромагнитного поля с его частотой [2]:

$$E = h \cdot \nu, \quad (1)$$

где E – энергия; h – постоянная (Планка) равная $6,62618 \pm 0,0004 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; ν – частота излучения.

При этом Макс Планк предполагал, что кванты являются теми элементарными кусочками (отрезками, квантами, корпускулами, единичными элементами и пр.), которые обеспечивают обмен энергией между атомными единичными элементарными излучателями – осцилляторами.

В продолжение этих исследований Альберт Эйнштейн в 1905 году показал, что электрон, находящийся внутри вещества может покинуть вещество, если энергия воздействующего на него кванта излучения превысит энергию,

необходимую для выхода электрона из вещества.

Корпускулярный подход, хорошо согласующийся с планетарной моделью атома Эрнста Резерфорда, позволил в 1913 году датчанину Нильсу Бору заявить о возможности переходов с орбиты на орбиту электронов в атоме. При этом в зависимости от ситуации поглощается или выделяется энергия в виде кванта.

Одно из направлений исследований, проведенных Луи де Бройлем, Вернером Гейзенбергом, Максом Борном, Паскуалем Иорданом, Шредингером, Дираком, Ферми и другими учеными, венчает работа Нобелевских лауреатов Басова Н.Г., Прохорова А.М. и Таунсома Ч. Х. по созданию лазера – первого прибора, открывшего эру оптических квантовых генераторов – лазеров.

Таким образом, научная версия – модель Макса Планка о корпускулярно-волновом дуализме света успешно подтверждена практической реализацией.

Неудобным моментом в рассуждениях о наличии волновых свойств у микрочастиц оказалась неуместность трактовки их перемещения как механических частиц. Ньютоновские уравнения движения, описывающие движение макрочастиц, оказались не всегда пригодны для описания движения микрочастиц. Выход был найден Шредингером, который предложил свою математическую модель для микрочастиц. Она позволила ученым-теоретикам вернуться от конкретного ответа практиков на вопрос о местонахождении конкретной частицы в тот или иной момент времени, так как по Шредингеру нужно рассматривать не движение микрочастиц, а их волновую функцию Ψ , заменив функцию координат и времени на вероятность - $d\eta$ нахождения частицы в единичном – dV объеме пространства [2].

Квадрат амплитуды волновой функции явился мерой вероятности нахождения частицы в данном месте. Так как волновая функция ψ дана в комплексном виде, то квадрат амплитудного значения волновой функции определится как произведение $\Psi \cdot \Psi^*$, где Ψ^* – сопряженное значение функции ψ . Поэтому вероятность нахождения частицы в объеме dV может быть записана как:

$$d\eta = \Psi \cdot \Psi^* \cdot dV. \quad (2)$$

Вполне вероятно, что замена реальности при корпускулярно-волновом подходе на математические выкладки-модели послужила первопричиной «не совсем корректных» рассуждений о физической модели фотона и его форме перемещения в пространстве. Отсюда и неоднозначность в оценках ряда результатов исследований, связанных с лазерами и, в частности, касающихся пространственно-временной структуры распределения энергии фотонов в сечении лазерного луча.

Некоторые авторы предпочитают вообще не касаться модели фотона, заменяя словосочетания «энергия фотонов» и, даже, «энергия излучения» такими абстрактными рассуждениями, как, например, «...изображение, которое приводит к эмиссии» [3].

В ГОСТах, касающихся тематики оптических измерений, характеристики фотона, как частицы, не всегда присутствуют [4-6].

Целью статьи является коррекция упрощенной модели фотона, как ба-

зового элемента определяющего продольную и поперечную структуру лазерного луча, формируемого возбужденными атомами активной среды.

Основная часть. В современных работах довольно часто перемешиваются корпускулярный и волновой подходы к описанию фотона. Это неверно с философской и физической точки зрения. В частности, при описании функционирования лазера.

Эти подходы используются авторами в зависимости от удобства изложения сущности физических процессов. Как только «корпускулярность» заводит физическую сущность изложения материала в тупик, так авторы меняют свою логику на волновую и в нужный момент осуществляют обратное действие.

Часто можно прочесть о работе лазера, что благодаря корпускулярной форме фотонов и электронов в активной среде порождаются кванты когерентного света – групп фотонов, отражающихся от зеркал и участвующих в лавинообразном процессе создания когерентного излучения. Лазерный луч, при этом, характеризуется в первую очередь коллимированностью, потом - монохроматизмом, и лишь затем – когерентностью. Хотя именно когерентность (от латинского *cohaerens* – находящийся в связи), является первопричиной возможности формирования узкого «коллимированного» луча.

Наиболее распространенный подход, опирающийся на многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, предлагает рассматривать фотон, как отрезок электромагнитной волны конечной протяженности в пространстве. При этом показывают отрезок волны синусоидальной формы и рассуждают о цуге волн (см. рис. 1).

И здесь владение «понаслышке» смысловым значением подзабытого слова «цуг» приводит к тому, что современные авторы подразумевают под каждым полным периодом электрической составляющей поперечного электромагнитного поля ту символическую «лошадь – «носитель»», которая переносит в пространстве энергию в направлении Π - вектора Умова - Пойтинга. Такое заблуждение, как минимум, некорректно. Оно позволяет предполагать наличие обособленных свойств у каждого отдельного периода электромагнитной волны.

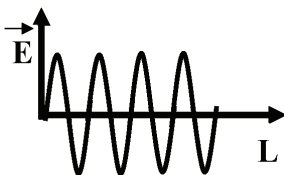


Рисунок 1 – Ошибочное изображение цуга, из четырех «носителей»

Кроме того, если принять за истину общепринятое утверждение, что длина L одного кванта электрической составляющей электромагнитного поля составляет три метра, то отсюда следует, что отдельный атом, излучающий квант зеленого цвета ($\lambda_0 = 550 \text{ нм} = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$), содержит пять с половиной

миллионов «носителей» – полных периодов колебаний вектора напряженности электрического поля [7].

Понятно, что сравнение «цуга» с упряжкой 5,5 миллионов лошадей здесь неуместно.

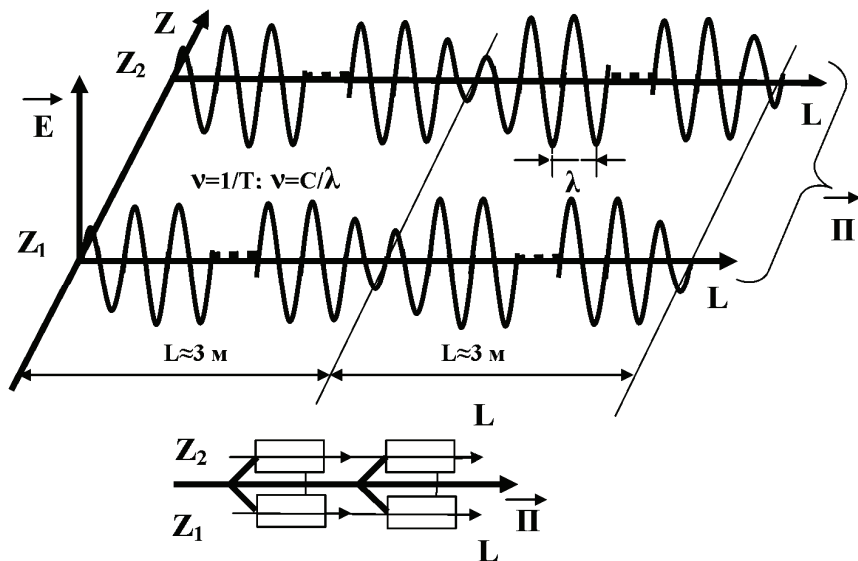


Рисунок 2 – Четыре квантовых носителя, соединенные парно цугом

Дело в том, что авторы квантовой теории впервые применили термин «цуг» в годы широкой эксплуатации конной тяги. Цуг – конная упряжка, может состоять из носителей, расположенных один за другим – «гуськом» или параллельно соединенными группами. Например, парно. Цуг – парно из четырех носителей показан на рис. 2.

Если учесть, что длина одного фотона определена в, примерно [1, 6], три метра, то луч лазера мы можем представить как набор многочисленных, налагающихся друг на друга и следующих «цугом» друг за другом в открытом пространстве отрезков когерентных волн.

Закономерно возникает вопрос о когерентности в сечении луча и когерентности по всей длине луча? Практики утверждают, что для лазера и та, и другая когерентности соблюдаются.

Когерентность по длине луча означает, что разность фаз колебаний напряженности (например, электрической составляющей электромагнитного поля) в любых двух точках на всей длине луча остается постоянной во времени или меняется по строго определенному закону. Аналогично, когерентность в плоскости поперечного сечения лазерного луча означает, что разность фаз электромагнитной структуры фотонов, пересекающих плоскость сечения, остается постоянной во времени или меняется по строго определенному закону [8].

Когерентность в плоскости поперечного сечения многими авторами понимается как модальность структуры луча, что тоже не совсем корректно и подлежит тщательному обсуждению, выходящему за границы данной статьи.

Выводы

1. При разработке аппаратуры современных адаптивных оптических систем необходимо применять реальную цуговую модель фотона, внешний вид которой приведен на рис. 2 данной статьи. Это позволяет перейти к расчетам плотности размещения в лазерном луче фотонов,двигающихся параллельно в одном направлении или противоположных направлениях.
2. Использование цуговой модели фотона создает теоретическую базу исследований, позволяющих рассчитать, например, развитие таких нанотехнологических процессов, как формирование опорной спекл-структуры зондирующего лазерного луча и пр.

Список литературы: 1. *Громико И.О.* Вплив акустичних коливань пружного середовища на інформаційний зміст відбитого лазерного променя / *И.О.Громико, В.Я. Певнев, М.М. Борзов* // Системи обробки інформації. – 2010. – Інформаційна та економічна безпека № 3 (84). – С. 14-16. 2. *Вдовин Н.А.* Физика: Учебное пособие. Часть III. Оптика. Атомная физика. / *Н.А. Вдовин, Н.А. Харламова* // Под общ. ред. *А.И. Цаплина*; Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2006. – 100 с. 3. *Ишанин Г.Г.* Источники и приемники излучения: Учебное пособие для студентов оптических специальностей ВУЗов / *Г.Г. Ишанин, Э.Д. Панков, А.Л. Андреев, Г.В. Польщиков.* – СПб.: Политехника, 1991. – 240 с.: ил. 4. ГОСТ 26148-84 Фотометрия. Термины и определения. 5. ГОСТ 7601-78 Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин. 6. ГОСТ 24286-88 Фотометрия импульсная. Термины и определения. 7. *Валишев М.Г.* Физика. Часть 5. Волновая оптика: учеб. пособие / *М.Г. Валишев, А.А. Повзнер.* – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 61 с. 8. Новый энциклопедический словарь. – М.: Большая Российская энциклопедия, РИПОЛ КЛАССИК, 2004. – 1456 с.: ил. ISBN 5-85270-194-7 (Большая Российская энциклопедия).

Поступила в редколлегию 06.04.2011