

## О ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВАХ ФОТОНА И МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© Сайханов Муса Баудинович

Комплексный научно-исследовательский институт им. Х. И. Ибрагимова Российской академии наук, Российская федерация г. Грозный; лаборатория экспериментальных исследований: в.н.с., к.ф.м.-н.,  
saikhanov\_musa@mail.ru

**Аннотация.** Показано, что на основе последовательного учета необратимого характера возникновения, перемещения и взаимодействия фотонов удастся достичь более простого и наглядного объяснения физического смысла соотношений неопределенности, корпускулярно – волнового дуализма и красного смещения длины волны. На основе учёта диссипативных свойств фотона осуществляется моделирование его динамической структуры, а также динамической структуры монохроматического излучения.

**Ключевые слова:** Фотон, соотношения неопределенности, красное смещение, корпускулярно - волновойдуализм, диссипативная структура, топология тора, связность.

## ABOUT DISSIPATIVE PROPERTIES OF PHOTON AND MONOCHROMATIC RADIATION

© Saikhanov Musa Baudinovich

Kh. Ibragimov Complex Institute of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Grozny; experimental research laboratory, leading researcher, PhD in Physics,  
saikhanov\_musa@mail.ru

**Abstract.** It is shown that, based on the consistent consideration of the irreversible nature of the occurrence, movement, and interaction of photons, it is possible to achieve a simpler and more visual explanation of the physical meaning of the relations of uncertainty, particle - wave dualism, and redshift of the wavelength. Based on the dissipative properties of the photon, its dynamic structure is simulated, as well as the dynamic structure of monochromatic radiation.

**Key words:** Photon, uncertainty relations, redshift, particle - wave dualism, dissipative structure, torus topology, connectivity.

## Введение

Диссипативные свойства фотона означают, что, будучи квантом энергии электромагнитного излучения, он является также и квантом его энтропии [9, 12]. Можно сказать, что он исполняет роль агентапереноса энтропии неравновесного необратимого процесса при его движении в тонкой материальной среде (физическом вакууме), оказывающей сопротивление его движению [18]. При определенной степени интенсивности начального возмущающего воздействия, то есть флуктуации среды, соразмерного её сопротивлению, происходит образование одиночного фотона как диссипативной структуры [11]. Источником этого возмущения может быть, например, ускоренно движущийся заряд. Такой синергетический подход позволяет по новому подойти к решению некоторых актуальных вопросов современной квантовой теории. В данной работе корпускулярно-волнового дуализма и принципа неопределенности рассматривается исходя из диссипативного характера формирования структуры фотона и монохроматического электромагнитного излучения.

### 1. Имеет ли фотон размер и структуру?

Вопрос о размере и структуре фотона в настоящее время является актуальным не только для более наглядного (менее абстрактного) понимания собственно квантовой механики и квантовой теории поля, но также и для построения неравновесной модели космологии вселенной. Однако в современной квантовой теории поля вопрос о размере и структуре фотона не рассматривается и даже не ставится [1]. Причиной этого, на наш взгляд, является то, что в ней достижения термодинамики и кинетики неравновесных систем не учитываются должным образом и потому она не является полной. В значительной степени это связано с тем, что квантовая теория поля является наследницей квантовой механики, необратимый аспект в которой отсутствует, в частности, уравнение Шредингера является обратимым относительно изменения знака времени.

Однако некоторые наводящие соображения для успешного решения вопроса о размере и структуре фотона существуют и в квантовой теории поля, в том числе, в квантовой механике. К их числу относится, например, вопрос об интерпретации постоянной Планка  $h$  и соотношений неопределённости для переменных координата  $x$  и импульс  $p$ . Последние могут быть записаны в виде [2]:

$$\Delta p_{\alpha} \Delta x_{\alpha} \geq h, \alpha = 1, 2, 3. \quad (1)$$

где  $\Delta x_{\alpha}$ ,  $\Delta p_{\alpha}$  - неопределенности компонент координаты и импульса частицы, имеются - постоянная Планка. Смысл соотношений (1) заключается в том, что координаты местонахождения частицы и её импульса не могут быть одновременно измерены с заданной точностью в данный момент времени. Это означает, что элементарные частицы, рассматриваемые в квантовой механике, не являются точечными, а имеют реальные размеры и структуру. В настоящее время многие исследователи считают, что они являются неравновесными динамическими структурами, возникающими вследствие квантовых переходов и наличия флуктуаций в тонкой среде, которая характеризуется как особое состояние материи [6, 21].

Замечательный результат на пути объединения корпускулярных и волновых свойств микрочастиц и осмысления физического смысла постоянной Планка был получен де

Бройлем [2, С.182-207]. В частности, ему удалось найти связь между корпускулярными и волновыми свойствами микрочастицы, характеризующимися соответственно импульсом  $\vec{p}$  и волновым вектором  $\vec{k}$ , в виде соотношения

$$\vec{p} = \hbar \vec{k} = \frac{h}{\lambda} \vec{n}, \quad (2)$$

где  $\vec{n}$  - единичный вектор, направление которого совпадает с направлениями  $\vec{p}$  и  $\vec{k}$ ;  $\lambda$  - длина волны де Бройля,  $\hbar = h/2\pi$ . Из соотношения (2) получаем также следующее важное для интерпретации постоянной Планка соотношение

$$h = p\lambda = mv\lambda. \quad (3)$$

Импульс и длина волны в формулах (2) и (3) могут быть получены из уравнения Шредингера с использованием интеграла Фурье и символизируют единство корпускулярных и волновых свойств микрочастицы, сопровождаемой волновым пакетом. Импульс  $\vec{p}$  характеризует перемещение частицы и волнового пакета как целого в некотором направлении и количественно определяется как произведение массы на вектор скорости, в том числе, для релятивистского случая. Не столь однозначной является величина  $\lambda$ , поскольку она может быть интерпретирована не только как волновая характеристика, то есть длина волны, но также и как структурная характеристика, например, как размер волнового пакета микрочастицы. Ниже будет показано, как к этому можно прийти для фотона.

## 2. Постоянная Планка и вихревая модель фотона

Для фотона, который, как известно, не имеет массы покоя и скорость движения которого равна скорости распространения света в вакууме  $c$ , соотношение (3) следует записать в виде:

$$h = p\lambda = mc\lambda. \quad (4)$$

Соотношение (4) и приведенные выше соотношения неопределенности (1) являются ключевыми для выяснения физического смысла постоянной Планка. Эта, по выражению де Бройля [8], таинственная постоянная обретает простой смысл, если волновой пакет фотона представить в виде динамической структуры: вращающегося вокруг своей оси кольцевого вихря. Её существование косвенно подтверждают соотношения неопределенности (1), явления дифракции, интерференции и поляризации фотона, а также существование у него импульса и спина [5, 16].

Перечисленные свойства фотона наводят на мысль о его поступательно-вращательном движении, подобном солитону или кольцевому вихрю. Например, приемлемой с точки зрения диссипативного характера возникновения фотона, несмотря на её почти столетнюю давность (1925), является кольцевая модель Дж. Дж. Томсона [23]. Действительно, важное преимущество этой модели по сравнению с другими заключается в отождествлении длины волны  $\lambda$  фотона с длиной окружности  $L = 2\pi R$  вихревого кольца, поступательное и вращательное движение которого совершается соответственно вдоль и вокруг его оси, совпадающей с направлением поступательного движения фотона. Тогда, подставляя в соотношение (4) вместо длины волны  $\lambda$  равное ему значение  $2\pi R$ , получим:

$$\hbar = pR = mcR. \quad (5)$$

Соотношение (5) означает, что постоянная Планка имеет смысл момента импульса фотона-кольца, который в векторном виде можно записать в виде:

$$\hbar \vec{n} = \vec{R} \times \vec{p} = m \vec{R} \times \vec{c} = m R^2 \vec{\omega} = const, \quad (6)$$

где  $\vec{\omega}$  - вектор угловой скорости его вращения. При этом вращение фотона-кольца следует из квантовой физики, а именно: существования у фотона спина равного единице [5]. Однако, с точки зрения концепции существования на субмикроскопическом уровне тонкой среды, в которой происходит образование, перемещение и распад микрочастиц, вопрос о причине вращения фотона остается открытым. При этом наш подход состоит в том, что оно возникает при образовании неравновесных диссипативных структур [11, 12].

### 3. Формирование динамической структуры фотона

Поскольку диссипативные структуры возникают лишь при наличии возмущающего воздействия и сопротивления этому воздействию со стороны среды, то следует допустить, что в нашем случае она имеет, хотя и весьма малую, но значимую для структурно-динамического формирования фотона вязкость [20]. На этом этапе поток энтропии возмущающего воздействия, испытывая сопротивление среды, трансформируется в оптимальную с точки зрения минимального производства энтропии динамическую (диссипативную) структуру. Такой структурой является вихревое кольцо, подобное кольцам табачного дыма в воздушной среде или кольцам, создаваемым дельфинами в водной среде. Как известно, исследованием гидродинамик возникновения и рассеяния подобных вихревых колец в течение длительного времени занимался Вильям Томсон (лорд Кельвин) [14]. Особенно ценно то, что он пытался построить модель вихревых колец с учетом необратимых процессов при их формировании и движении в среде. Необходимо отметить также, что Луи де Бройль уже в преклонном возрасте в заметке, представленной Академии наук Франции обращал внимание молодых исследователей на важность второго начала термодинамики для адекватного осмысления квантовой теории [4].

Сформировавшийся фотон-кольцо осуществляет своё дальнейшее движение с минимальным рассеянием энергии и массы, сохраняя целостность структуры. При этом из-за потери массы, согласно формулам (4) и (5), происходит постепенное увеличение его длины волны и размера. Как известно, согласно существующей в настоящее время космологической модели вселенной возрастание длины волны фотона по мере удаления его от источника интерпретируется также на основе её расширения и эффекта Доплера [22]. В результате, получается, что красное смещение линий спектра энергии фотона можно объяснить двояким образом: на основе модели расширения вселенной и его собственными диссипативными свойствами. Из этих двух точек зрения более предпочтительной при рассмотрении фотонов представляется вторая, так как она менее абстрактна и исходит из учета необратимого аспекта при их формировании, перемещении и поглощении.

Вернёмся теперь к вопросу об образовании структуры и степеней свободы фотона. Достижения современной теории необратимых процессов в неравновесных системах, позволяют решить этот вопрос на основе принципа минимального производства энтропии для неравновесных систем вдали от равновесия [3, 13]. В процессе возникновения фотона как устойчивой динамической структуры рассеяние энергии более значительно и сопоставимо с исходной энергией возмущения. Эта энергия затрачивается на

формирование стационарных состояний фотона, так что можно говорить о его квантостатистических характеристиках: например, о числе и плотности квантовых состояний. Изначально линейный поток энтропии возмущающего воздействия, встречая лобовое сопротивление среды, формирует тороидальный (кольцевой) вихрь с минимумом рассеяния энергии и производства энтропии. При этом трехсвязная топология тора к поступательному движению кольцевого вихря как целого добавляет еще две вращательные: по малой образующей окружности и по большой окружности с центром на оси тора. В результате, сложение этих трех движений приводит к замкнутой спиралевидной структуре фотона-кольца [8, 12].

#### **4. Диссипативная структура монохроматического излучения**

Принцип минимального производства энтропии позволяет также решить вопрос о структуре монохроматического электромагнитного излучения и понять природу корпускулярно-волнового дуализма. Ключевая идея заключается в том, что после возникновения фотона и его последующего движения в среде в смысле минимизации рассеяния энергия “выгоднее” объединится с фотонами, имеющими такую же длину волны или, в нашей интерпретации, размер. Действительно, в фотонном газе, состоящем из отдельных фотонов, возможны их столкновения между собой и с другими частицами среды, вызывающими рассеяние их энергии. При объединении одинаковых фотонов в самосогласованную динамическую структуру рассеяние энергии существенно уменьшается, так как исключаются потери энергии за счет взаимных столкновений фотонов. Как же может происходить такое объединение отдельных фотонов в целостную динамическую структуру?

Ответ на этот вопрос на самом деле достаточно прост и связан с трехсвязной топологией тороидального фотона, представляющего собой замкнутую на себя спираль. Прежде всего, необходимо, чтобы фотоны располагались один за другим, имели общую ось вращения и одинаково направленные моменты импульсов, совпадающие с направлением их поступательного движения. Затем взаимодействие соседних фотонов-колец приводит к их объединению в единую двойную спираль, рассеяние энергии которой значительно меньше, чем рассеяние энергии отдельных фотонов. С топологической точки зрения при объединении одинаковых фотонов получаем односвязный энергетический спектр энергии и когерентный характер их взаимодействия, в то время как в случае разъединённых фотонов – многосвязный спектр энергии и некогерентный характер взаимодействия [17]. На самом деле это соединение отдельных фотонов в двойную спиральную структуру происходит самопроизвольно из-за столкновений фотонов и наличия флуктуаций в среде. Управляющим законом при этом, как и на предыдущем этапе формирования отдельного фотона, является принцип минимального производства энтропии. Исходя из приведённой в предыдущем разделе модели замкнутой на себя спиральной структуры отдельного фотона, последующим её размыканием и объединением образуется единая двойная спираль с шагом определяемым размером самого фотона. В результате, получается, что монохроматическое излучение представляет собой не замкнутую на себя двойную вихревую спираль, которая оптимальна с точки зрения минимизации рассеяния запасенной в ней энергии при ее переносе [12, 15].

Замечательно, что изменение топологии энергетического спектра фотонов при их объединении в когерентную структуру в виде двойной спирали подтверждает также единую волновую природу электрического и магнитного полей. При этом векторный потенциал  $\vec{A}$ , формально введенный в электродинамику в качестве удобной математической величины для решения уравнений Максвелла, обретает вполне реальный и наглядный физический смысл. Кроме того, он является параметром вихревой части электромагнитного поля, а именно: его магнитной частью, определяемой вектором магнитной индукции [7, 24]

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A} = \vec{i} \text{rot}_x\vec{A} + \vec{j} \text{rot}_y\vec{A} + \vec{k} \text{rot}_z\vec{A}, \quad (7)$$

где

$$\text{rot}_x\vec{A} = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}, \quad \text{rot}_y\vec{A} = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}, \quad \text{rot}_z\vec{A} = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}.$$

В нашей модели речь идёт о вихре, возникающем в среде вследствие её возмущения и сопротивления, то есть о вращательном движении по образующей тора. Возникновение этого вихря обусловлено преобразованием поступательного движения в среде во вращательное. В частности, это означает, что вектор импульса, связанный с поступательным движением, преобразуется во вращательное движение, что согласуется с так называемым, вращательным движением дополнительного импульса [15,19].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1989. 723 с.
2. Вихман Э. Берклевский курс физики. Т. 4. Квантовая физика. 1977. 416 с.
3. Гленсдорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М: УРСС, 2003. 280 с.
4. Де Бройль Луи. Соотношение неопределённостей Гейзенберга и вероятностная интерпретация волновой механики. М.: Мир, 1986. С. 30-33.
5. Дирак П. Принципы квантовой механики. М.: Наука, 1979. 480 с.
6. Зельдович Я.Б. Теория вакуума, быть может, решает проблему космологии // Успехи физических наук, 1981, Т. 133, № 3. С. 479-503.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 2, 1988. С. 69-78.
8. Луи де Бройль. По тропам науки. М., 1962. С. 139-146.
9. Мартыненко А. П. Вакуум в современной квантовой теории // Сорософский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 5. С. 86-91.
10. Милнор Дж., Уоллес А. Дифференциальная топология. М.: Мир, 1968. 277 с.
11. Сайханов М.Б. Кинетическое моделирование диссипативных структур // Нелинейный мир, 2013, Т. 11, № 1. С. 44-50.
12. Сайханов М.Б. Структурно - динамическая модель фотона и монохроматического излучения // Нелинейный мир. 2014. Т. 12, № 6. С.48-54..

13. Сайханов М.Б. Топологическая природа инерционности неравновесной системы вдали от равновесия // Теоретическая и математическая физика. 2017, Т. 191, №1. С. 572-579.
14. Томсон-Кельвин В. О вихревых атомах. В книге Дж. Дж. Томсона “Электричество и материя”. Приложение 3. М.-Л., 1928. С. 184-198.
15. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 2, выпуск 6 “Электродинамика”. М.: Мир, 1966. 343 с.
16. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике: Т. 1, вып. 3: Излучение. Волны. Кванты. 1976. 496 с.
17. Bahrtdt J., Holldack K., Kuske P., Müller R., Scheer M., and Schmid P. First Observation of Photons Carrying Orbital Angular Momentum in Undulator Radiation // Physical Review Letters. 2013. V. 111, 034801.
18. Heeck J. How Stable is the Photon? // Physical Review Letters. 2013. V. 111021801.
19. Huguenin P. Observable magnetic vector potential // European Journal of Physics. 1981. V. 2, No 3. 165 p.
20. Sonnleitner M., Trautmann N., Barnett S.M. Atom Feel a Friction Force? // Physical Review Letters. 2017, V. 118, No 5, 053601.
21. Smith B. J., Raymer, M. G // Photon wave functions, wave-packet quantization of light, and coherence theory // New Journal of Physics. 2007, No 9. Pp. 1-37.
22. Tammann, G.A., Reindl, B. Cosmic expansion and: a retro- and pro-spective note // 2002, Astro-Physics, V. 2, 0208176.
23. Thomson J.J. The Structure of Light: The Fison Memorial Lecture. 1925.
24. Wu A C.T., Young Chen-Ning. Evolution of the concept of fundamental interactions descriptions // International Journal of Modern Physics. A 2006. V. 21, No16, Pp. 3235-3277.

#### REFERENCES

1. Berestetsky VB, Lifshits EM, Pitaevsky L.P. Quantum electrodynamics. М.: Nauka, 1989. 723 p.
2. Wichmann E. Berkleevsky course of physics. Т. 4. Quantum physics. 1977. 416 p.
3. Glensdorf P., Prigogine I. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations. М: URSS, 2003. 280 p.
4. De Broglie Louis. Heisenberg uncertainty relation and probabilistic interpretation of wave mechanics. М.: Mir, 1986. Pp. 30-33.
5. Dirac P. Principles of quantum mechanics. М.: Nauka, 1979. 480 p.
6. Zeldovich Ya. B. The theory of vacuum, perhaps, solves the problem of cosmology // Uspekhi Fizicheskikh Nauk, 1981, Т. 133, No. 3. Pp. 479-503.
7. Landau L.D., Lifshits E.M. Theoretical physics. Т. 2, 1988. Pp. 69-78.
8. Louis de Broglie. On the paths of science. М.: 1962. Pp. 139-146.
9. Martynenko A. P. Vacuum in modern quantum theory // Sorosophical educational journal. 2001.V. 7, No. 5. Pp. 86-91.

10. Milnor J., Wallace A. Differential topology. M.: Mir, 1968. 267 p.
11. Saykhanov M.B. Kinetic modeling of dissipative structures // Nonlinear World, 2013, V. 11, No. 1. Pp. 44-50.
12. Saykhanov M.B. Structural - dynamic model of photon and monochromatic radiation // Nonlinear World. 2014. V. 12, No. 6. Pp. 48-54.
13. Saykhanov M.B. The topological nature of the inertia of a nonequilibrium system far from equilibrium // Theoretical and Mathematical Physics. 2017, T. 191, No. 1. Pp. 572-579.
14. Thomson-Kelvin V. About vortex atoms. In the J.J. Thomson book, Electricity and Matter. Appendix 3. M.-L., 1928. Pp. 184-198.
15. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. T. 2, issue 6 "Electrodynamics". M.: Mir, 1966. 343 p.
16. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics: V. 1, no. 3: Radiation. The waves. Quanta. 1976. 496 p.
17. Bahrdt J., Holldack K., Kuske P., Müller R., Scheer M., and Schmid P. First Observation of Photons Carrying Orbital Angular Momentum in Undulator Radiation // Physical Review Letters. 2013. V. 111, 034801.
18. Heck J. How Stable is the Photon? // Physical Review Letters. 2013. V. 111021801.
19. Huguenin P. Observable magnetic vector potential // European Journal of Physics. 1981. V. 2, No. 3. 165 p.
20. Sonnleitner M., Trautmann N., Barnett S.M. Atom Feel a Friction Force? // Physical Review Letters. 2017, V. 118, No. 5, 053601.
21. Smith B. J., Raymer, M. G // Photon wave functions, wave-packet quantization of light, and coherence theory // New Journal of Physics. 2007, No 9. Pp. 1-37.
22. Tammann, G. A., Reindl, B. Cosmic expansion and: a retro- and pro-spective note // 2002, Astro-Physics, V. 2, 0208176.
23. Thomson J.J. The Structure of Light: The Fison Memorial Lecture. 1925.
24. Wu A C.T., Young Chen-Ning. Evolution of the concept of fundamental interactions descriptions // International Journal of Modern Physics. A 2006. V. 21, No. 16. Pp. 3235-3277.