

**Колыхалов Г. А., Кравченко Е. Г.**  
**G. A. Kolykhalov, E. G. Kravchenko**

## **ИНТЕРПРЕТАЦИЯ КВАНТОВ ЭНЕРГИИ И МАССЫ ФОТОНА С ПОЗИЦИЙ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ**

### **INTERPRETATION OF PHOTON ENERGY AND MASS QUANTA IN TERMS OF UNIVERSAL GRAVITATION LAW**

**Колыхалов Геннадий Антонович** – начальник научно-исследовательского отдела Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: kolykhalov40@mail.ru.

**Gennady A. Kolykhalov** – Head of Research Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: kolykhalov40@mail.ru.

**Кравченко Елена Геннадьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре). E-mail: ek74@list.ru.

**Elena G. Kravchenko** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur). E-mail: ek74@list.ru.

**Аннотация.** В работе представлены результаты вычислений квантов энергии и массы движущего фотона. Уточнена формула для подсчёта кванта времени. Показано, что вычисленный квант времени существенно меньше Планковского времени. Предложена модель, объясняющая с определённых позиций эффекты, происходившие в Планковский отрезок времени. Определена сила гравитационного взаимодействия между частицами (фотонами) с квантовой массой на квантовом расстоянии между ними. Установлена количественная связь между фундаментальными постоянными процессов разной природы (механическими и электрическими). Показано, что длина волны фотона с квантовыми значениями энергии и массы движения соизмерима с характерным размером Вселенной, её радиусом горизонта, что эквивалентно положительному ответу на вопрос о равенстве нулю массы покоя фотона.

**Summary.** The results of calculations of energy and mass quanta of a moving photon are presented in the paper. The formula for the calculation of the time quantum is specified. It is shown that the calculated time quantum is essentially smaller than the Planck time. A model explaining from certain positions the effects occurring in the Planck time interval is proposed. The force of gravitational interaction between particles (photons) with quantum mass at a quantum distance between them is determined. The quantitative connection between fundamental constants of processes of different nature (mechanical and electrical) has been established. It is shown that the wavelength of a photon with quantum values of energy and mass of motion is commensurate with the characteristic size of the Universe, its horizon radius, which is equivalent to a positive answer to the question about the equality to zero of the photon rest mass.

**Ключевые слова:** квант, фотон, хронон, размерность, энергия, масса, время, гравитация, сила, волна, взаимодействие, Вселенная.

**Key words:** quantum, photon, chronon, dimensionality, energy, mass, time, gravity, force, wave, interaction, universe.

УДК 539.122:52-423

В рамках исследования процессов, протекающих во Вселенной на всех её иерархических уровнях, включая и уровень элементарных частиц [1], к которым принадлежит и фотон, относящийся к классу так называемых бозонов, носителей фундаментальных сил природы [2], важная роль отводится теоретическим и экспериментальным исследованиям по определению кванта энергии и соответствующего ему кванта массы движущего фотона.

В соответствии с гипотезой, выдвинутой Луи де Бройлем, любая микрочастица, в их числе и фотон, обладает свойствами как волны, так и частицы, иначе нарушится принцип дуализма в квантовой механике. Эта гипотеза была экспериментально подтверждена советским учёным-физиком В. Фабрикантом [3].

В настоящее время ведутся дискуссии по поводу того, имеет фотон массу покоя или нет.

Сторонники отсутствия массы покоя у фотона утверждают, что если бы масса покоя была не нулевой, то в квантовой механике возникла бы проблема из-за потери в этом случае калибровочной инвариантности и не было бы гарантировано сохранения заряда [4]. При этом считается, что фотон может существовать, двигаясь только со скоростью света. Электрический заряд фотона равен нулю. Однако существуют и противоположные мнения [5].

Рассмотрим гипотезу, что фотон не обладает массой покоя, всегда находится в движении, его массу движения будем определять по формуле закона всемирного тяготения.

В связи с этим предположим, что во Вселенной в среде фотонов существуют фотоны с минимальным значением энергии (квант энергии) и эквивалентной ей минимальной массой (квант массы).

По результатам, полученным со спутника Charge Composition Explorer (1984 г.), было установлено [4], что верхний предел энергии  $E$  равен  $6 \times 10^{-16}$  эВ, что соответствует эквивалентной массе  $m = 1,07 \times 10^{-51}$  кг.

В 1998 г. Roderic Lakes, используя маятник Кавендиша, уточнил этот результат в лабораторном эксперименте по определению аномалии сил. Новое значение предела для энергии  $E$  оказалось равным  $7 \times 10^{-17}$  эВ, что эквивалентно массе  $m = 1,246 \times 10^{-52}$  кг. Изучение галактических магнитных полей дало ещё более низкий предел для энергии  $E$ , он равен  $3 \times 10^{-27}$  эВ, что соответствует массе  $m = 0,534 \times 10^{-52}$  кг. В работе [4] отмечается, что этот метод пока не считается вполне надёжным.

В рамках дальнейшей оценки нижнего предела энергии физик, академик Д. Д. Рютов [6] предлагает провести измерения плазмы на окраинах Солнечной системы, потом – межгалактической плазмы и, наконец, в масштабах всей Вселенной. Возможно, тогда и будет экспериментально установлен нижний предел энергии фотона и, соответственно, его массы.

Для определения силы взаимного притяжения двух одинаковых по массе фотонов воспользуемся законом всемирного тяготения, записанным в виде

$$\vec{F} = G \cdot \frac{m^2}{r^2} \cdot \vec{r}, \quad (1)$$

где  $\vec{F}$  – сила гравитационного взаимодействия между двумя фотонами;  $G$  – гравитационная постоянная;  $m$  – масса фотона;  $r$  – расстояние между взаимодействующими фотонами;  $\vec{r}$  – единичный вектор.

Выразим из приведённого соотношения (1), записанного в скалярной форме, гравитационную постоянную  $G$  и её размерность:

$$G = \frac{F \cdot r^2}{m^2} = \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} = \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}}{\text{с}} \right]. \quad (2)$$

В этом случае, исходя из размерности формулы (2), представим  $G$  в виде [7]

$$G = v^3 \cdot \frac{t}{m}, \quad (3)$$

где  $v = \frac{r}{t}$  – скорость, здесь  $r$  – расстояние между фотонами;  $t$  – время.

Учитывая, что фотоны движутся со скоростью  $v$ , равной скорости света  $c$ , т. е.  $v = c = 3 \cdot 10^8$  м/с, из формулы (3) выражаем массу фотона:

$$m = \frac{c^3}{G} \cdot t. \quad (4)$$

Отсюда видно, что минимальное значение массы фотона  $m$ , т. е. квант массы  $m = m_{\text{кв}}$ , определяется минимальным значением отрезка времени  $t$ , т. е. квантом времени  $t = \Delta t$ .

В настоящее время за квант времени в основном принимают Планковский период с длительностью  $0 < t_{\text{пл}} < 5,4 \cdot 10^{-44}$  с. Этот этап рассматривается в теории Большого взрыва как квантовый хаос, и законченной физической теории этого этапа пока не существует.

Однако можно предположить, что в этот период времени в области сингулярной точки или как в физическом, известном как Суперсимметрия (объединение всех взаимодействий), так и в информационном плане процессы, которые и создали все условия для рождения Вселенной и последующего её развития по заданной программе.

Планковское время является фундаментальной константой нашей Вселенной, т. к. построено на базе фундаментальных характеристик Вселенной, представленных значениями постоянной Планка, гравитационной постоянной и скоростью света.

При этом можно принять, что именно период Планковского этапа времени  $0 < t_{\text{пл}} < 5,4 \cdot 10^{-44}$  с является тем «инкубационным» отрезком времени, где были созданы все условия для рождения «разумной» Вселенной.

Более того, можно положить, что именно числовое значение Планковского времени  $t_{\text{пл}} = 5,4 \cdot 10^{-44}$  с есть дата рождения нашей Вселенной. При этом, однако, вопрос о кванте времени остаётся открытым.

Если предположить, что существует гораздо меньший отрезок времени, чем Планковский период, который можно принять за квант времени в нашей Вселенной, то, возможно, в будущем это даст учёным ключ к разгадке процессов, поэтапно протекавших в Планковский период времени и определивших дальнейшую судьбу нашей Вселенной.

Оценим квант времени  $\Delta t$ . В работе [8] рассматривается гипотетический квант времени – неделимая единица времени, называемая хрономом. Пьером Кардиолой в 1980 году была предложена конкретная модель хронона, описываемая формулой

$$\theta_0 = \frac{1}{6 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{m_0 \cdot c^3}, \quad (5)$$

где  $\theta_0$  – квант времени;  $\epsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $e$  – элементарный электрический заряд;  $m_0$  – масса электрона.

Применённая к массе электрона, она даёт значение для кванта времени:

$$\theta_0 \approx 6,97 \cdot 10^{-24} \text{ с.}$$

Однако если эту формулу применить к максимальной массе, в нашем случае массе Вселенной, равной  $m_0 \approx 10^{53}$  кг [9], то это даст минимальное значение времени, т. е. квант времени:

$$\Delta t \approx \frac{1}{6 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{10^{53} \cdot (3 \cdot 10^8)^3} \approx 5,6 \cdot 10^{-107} \text{ с.}$$

Уточним в формуле (5) значение коэффициента  $k$ , равного  $k = \frac{1}{6 \cdot \pi}$ .

Примем  $\theta_0 = \Delta t$ . Под массой  $m_0$  будем понимать массу любого количества вещества, будь то масса электрона, Вселенной или любая другая.

В рамках теории размерности [7] получим для определения коэффициента  $k$  выражение в фундаментальных единицах:

$$k = h \cdot c \cdot \frac{\epsilon_0}{e^2}. \quad (6)$$

Подставим в формулу (6) значения фундаментальных единиц, получим

$$k = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{8,85 \cdot 10^{-12}}{2,56 \cdot 10^{-38}} = 68,76 \approx 70.$$

В этом случае формула (5) приобретает вид

$$\theta_0 = \Delta t \approx 70 \cdot \frac{e^2}{\epsilon_0 \cdot m_0 \cdot c^3}. \quad (7)$$

Соответственно, зависимость (7) даёт значение для кванта времени:

$$\theta_0 = \Delta t \approx 70 \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{53} (3 \cdot 10^8)^3} \approx 0,75 \cdot 10^{-103} \approx 10^{-103} \text{ с}. \quad (8)$$

Что касается зависимости (6), то она устанавливает количественную связь между фундаментальными постоянными процессов разной природы (механическими и электрическими):

$$h \cdot c = 68,76 \cdot \frac{e^2}{\epsilon_0} \approx 70 \cdot \frac{e^2}{\epsilon_0}.$$

В рамках модели Большого взрыва можно сделать предположение, что Планковское время – это рубежная, временная граница перехода сплошной среды (плазмы) с экстремальными характеристиками давления, плотности и температуры из так называемого хаотического состояния вблизи сингулярной точки в упорядоченное её фрагментирование с образованием дискретных субстанций (частиц) на всех иерархических уровнях – от элементарных частиц до Мегагалактик – во всё последующее время формирования нашей Вселенной.

Подставим значения скорости света  $c$ , кванта времени  $\Delta t$ , определённое по формуле (8), и гравитационной постоянной  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$  в формулу (4), будем иметь для кванта массы фотона значение

$$m = m_{\text{кв}} = \frac{27 \cdot 10^{24} \cdot 10^{-103}}{6,67 \cdot 10^{-11}} = 4 \cdot 10^{-68} \text{ кг}. \quad (9)$$

В статье В. П. Севрюка [10] со ссылкой на работу [11] указывается, что А. Логунов и М. Мествиришвили ввели понятие гравитона с отличной от нуля массой покоя и оценили его значение величиной, равной  $64 \cdot 10^{-70} \text{ кг} = 0,64 \cdot 10^{-68} \text{ кг}$ . То есть полученный нами квант массы движущего фотона (9) близок по значению к минимальной массе, массе гравитона.

Квант энергии фотона будет равен

$$E = m \cdot c^2 = 4 \cdot 10^{-68} \cdot 10^{17} \text{ Дж} = 2,53 \cdot 10^{-32} \text{ эВ}. \quad (10)$$

Значения вычисленных квантов массы по формуле (9) и энергии по формуле (10) фотона на пять порядков ниже, чем значения, полученные при изучении галактических магнитных полей и равные  $E = 3 \cdot 10^{-27} \text{ эВ}$  и  $m = 5,34 \cdot 10^{-63} \text{ кг}$  соответственно.

Для сравнения: по информации, взятой с портала «Научная Россия» [12], учёные из Великобритании, Бразилии и Франции впервые установили верхний предел для массы  $m_{\text{н}}$  частицы самого лёгкого вида нейтрино, которая составляет  $m_{\text{н}} = 1,5 \cdot 10^{-37} \text{ кг}$ , что примерно в шесть миллионов раз меньше массы электрона. Что тогда говорить о кванте массы, полученной для фотона  $m_{\text{кв}} = 4 \cdot 10^{-68} \text{ кг}$ ? Это, по-видимому, самая мельчайшая частица в нашей Вселенной.

Минимальное расстояние между фотонами, т. е. квант длины, определится соотношением

$$r = \Delta l = c \cdot \Delta t = 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-103} = 3 \cdot 10^{-95} \text{ м}.$$

Если считать, что закон всемирного тяготения действует и на таких расстояниях, то тогда сила гравитационного взаимодействия между двумя одинаковыми фотонами определится значением

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{(4 \cdot 10^{-68})^2}{9 \cdot 10^{-190}} = 1,2 \cdot 10^{44} \text{ Н}.$$

Следует иметь в виду, что надёжное значение квантовой величины времени и квантовых значений энергии и массы фотона определяется точностью оценки величины видимой массы Вселенной, а она, по-видимому, меняется со временем.

Гипотетически можно предположить, что электроны и элементы ядра атома и другие элементарные частицы построены из фотонов с минимальными (квантовыми) значениями энергии и массы.

Определим длину волны кванта фотона  $\lambda$ , для чего воспользуемся зависимостью

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot c}.$$

Подставим сюда значения постоянной Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с, массы  $m = m_{\text{кв}} = 4 \cdot 10^{-68}$  кг, скорости света  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с, получим

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{4 \cdot 10^{-68} \cdot 3 \cdot 10^8} = 0,55 \cdot 10^{26} \text{ м.} \quad (11)$$

Эту длину волны называют комптоновской длиной волны.

Во Вселенной существует предельное расстояние, называемое радиусом горизонта  $R_h$ , в рамках которого мы можем получать информацию.

Наличие горизонта обусловлено конечностью максимальной скорости распространения сигналов, т. е. скоростью света  $c$  и возрастом Вселенной  $T$ . Радиус горизонта определяется формулой

$$R_h = c \cdot T$$

и составляет

$$R_h = c \cdot T = 3 \cdot 10^8 \cdot 4,32 \cdot 10^{17} \approx 1,3 \cdot 10^{26} \text{ м.} \quad (12)$$

Из формул (11) и (12) видно, что длина волны кванта фотона  $\lambda$  соизмерима с характерным линейным размером Вселенной  $R_h$ .

В работе [13] подчёркивается, что поскольку специфические эффекты в электродинамике с ненулевой массой фотона могли бы проявляться лишь на расстояниях, больших или порядка комптоновской длины  $\lambda$ , то из самого факта присутствия предельного информационного радиуса  $R_h$  следует, что неравенство  $\lambda > c \cdot T$  было бы эквивалентно положительному ответу на вопрос о равенстве нулю массы покоя фотона, поскольку ненулевая масса, удовлетворяющая этому неравенству, практически никак бы себя не проявляла.

**Выводы.** В работе представлены результаты вычислений квантов энергии и массы движущего фотона.

Уточнена формула для подсчёта кванта времени.

Показано, что вычисленный квант времени существенно меньше Планковского времени.

Сделано предположение, что Планковское время – это рубежная временная граница перехода сплошной среды вещества (плазмы) вблизи точки сингулярности во фрагментированное состояние с образованием дискретных субстанций (частиц) на всех иерархических уровнях – от элементарных частиц до Метагалактик – во всё последующее время жизни нашей планеты.

Определена сила гравитационного взаимодействия между частицами (фотонами) с квантовой массой на квантовом расстоянии между ними.

Показано, что длина волны фотона с квантовыми значениями энергии и массы движения соизмерима с характерным размером Вселенной, её радиусом горизонта, что эквивалентно положительному ответу на вопрос о равенстве нулю массы покоя фотона.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Физическая энциклопедия. В 5 т. Т. I. Ааронова-Боба эффект-Длинные линии / гл. ред. А. А. Прохоров, ред. кол. Д. М. Алексеев, А. М. Болдин, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Боровик-Романов и др. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 704 с.

2. Бозоны // Ядерная физика в Интернете. – URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e018.htm> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
3. Опыт Бибермана, Сушкина, Фабриканта о дифракции одиночных электронов // Википедия, свободная энциклопедия. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Фабрикант,\\_Валентин\\_Александрович#Опыт\\_Бибермана,\\_Сушкина,\\_Фабриканта\\_о\\_дифракции\\_одиночных\\_электронов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Фабрикант,_Валентин_Александрович#Опыт_Бибермана,_Сушкина,_Фабриканта_о_дифракции_одиночных_электронов) (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
4. Чему равна масса фотона? / перевод Е. Корниенко // Механизмы существования и сознания. – URL: [https://cyber-ek.ru/science/photon\\_mass.html](https://cyber-ek.ru/science/photon_mass.html) (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
5. Иванов, И. Время жизни фотона / И. Иванов // Элементы. – URL: [https://elementy.ru/problems/637/Vremya\\_zhizni\\_fotona](https://elementy.ru/problems/637/Vremya_zhizni_fotona) (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
6. Вьюрков, В. Как взвесить фотон / В. Вьюрков // ИФТТ РАН. – URL: [http://www.issp.ac.ru/journal/perst/Control/Inform/perst/2008/8\\_19/n.php?file=perst.htm&label=C\\_08\\_19\\_3](http://www.issp.ac.ru/journal/perst/Control/Inform/perst/2008/8_19/n.php?file=perst.htm&label=C_08_19_3) (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
7. Седов, Л. И. Методы подобия и размерности в механике / Л. И. Седов. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1967. – 428 с.
8. Хронон // Википедия, свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хронон> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
9. Метагалактика // Википедия, свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Метагалактика> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
10. Севрюк, В. П. Математическая теория единого поля материи и большого взрыва / В. П. Севрюк // Бюллетень научных сообщений. – 2013. – № 18. – С. 42-53.
11. Логунов, А. Основы релятивистской теории гравитации / А. Логунов, М. Мествиришвили. – М.: МГУ, 1985. – 204 с.
12. Астрофизики высчитали массу самого лёгкого нейтрино // Научная Россия. – URL: <https://scientificrussia.ru/articles/astrofiziki-vyschitali-massu-samogo-legkogo-nejtrino> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.
13. Чибисов, Г. В. Астрофизические верхние пределы на массу покоя фотона / Г. В. Чибисов // Успехи физических наук. – 1976. – Т. 119. – № 3. – С. 551-555. – URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mathnet.ru/links/83957d7b99ca69311c8a0d0eaf173f3e/ufn9845.pdf> (дата обращения: 28.10.2024). – Текст: электронный.