

Климец А. П.

ГЕОНЫ, ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПЛАНКОВСКАЯ ДЛИНА

e-mail: aklimets@mail.ru

Фотоны с энергией 10^{19} ГэВ могут образовывать геоны с массой Планка, которые представляют собой микрокосмические черные дыры и являются пределом наблюдаемости пространственно-временных процессов. Введение фотонных геонов позволяет устранить проблему ультрафиолетовых расходимостей в квантовой теории поля.

Ключевые слова: фотон, геон, черная дыра, ультрафиолетовые расходимости, темная материя.

1. Введение

В работе ([2], с. 525) геоны определяются следующим образом. Это метастабильное объединение энергии электромагнитных или гравитационных волн, сдерживаемых воедино собственным гравитационным притяжением.

При построении геонов используются следующие соображения. Гравитационное ускорение, необходимое для удержания излучения на круговой орбите радиуса R , по порядку величины составляет c^2/R . Ускорение, имеющее место вследствие гравитационного притяжения в сгустке лучистой энергии с массой M , по порядку величины равно kM/R^2 , где k — ньютоновская константа тяготения. Оба этих ускорения совпадают по порядку величины, когда радиус $R \sim kM/c^2$. При соблюдении этих условий можно получить сгусток излучения, которое удерживает себя собственным гравитационным полем ([9] с.64–66).

В данном случае геоны представляют собой неквантованную классическую массу, не имеющую отношения к физике элементарных частиц.

В настоящей работе будет рассмотрена система, состоящая из двух гравитационно взаимодействующих фотонов. Будет показано, что при некоторой определенной энергии такая система превращается в планковский геон — частицу с размером $l_{\text{пл}} = 10^{-33}$ см, массой $m_{\text{пл}} = 10^{-5}$ г и сложной внутренней структурой, которая может быть охарактеризована как микрочерная дыра в пространстве и времени. Вполне вероятно, что такие объекты могли возникать в первые доли секунды «Большого Взрыва», поэтому теоретический анализ образования планковских геонов представляет собой определенный интерес.

2. Качественный квантово-теоретический анализ образования геонов

Из общей теории относительности известно, что любая форма энергии, в том числе энергия безмассовых квантов, способна генерировать гравитационное поле. Отсюда следует, что два одиночных фотона могут между собой гравитационно взаимодействовать и, таким образом, образовать связанную систему — геон.

В рамках классической физики Ньютона потенциальная энергия $E_{\text{пот}}$ создаваемая гравитационными полями масс M и m , имеет вид

$$E_{\text{пот}} = -kMm/R \quad (1)$$

где k — постоянная тяготения Ньютона, M и m — гравитирующие массы, R — расстояние между массами.

Вспользуемся соотношением (1) (в классическом приближении) применительно к системе из двух гравитационно взаимодействующих фотонов одинаковой энергии. Можно показать [1, с. 25], что для фотонов вместо масс M и m нужно подставить величины импульсов фотонов, делённых на скорость света, т. е. P/c . Тогда (1) переписется следующим образом

$$E_{\text{пот}} = kP^2/c^2R \quad (2)$$

Задачу о движении двух фотонов, взаимодействующих только друг с другом, по аналогии с двумя взаимодействующими массивными частицами, можно свести к задаче о движении одного фотона. Приведенный импульс системы из двух одинаковых фотонов равен $P' = P/2$, где P' — приведенный импульс, P — импульс каждого из фотонов.

Тогда полная энергия геона (в первом приближении) принимает следующий вид

$$E = E_{кин} + E_{ном} = P'c - kP^2/c^2 R = Pc/2 - kP^2/c^2 R \quad (3)$$

где $E_{кин} = P'c$ — кинетическая энергия системы из двух фотонов; c в первом слагаемом — относительная скорость фотонов, равная скорости света.

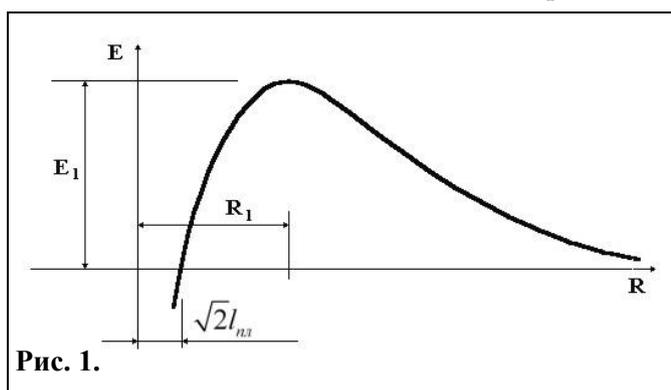
Уравнение (3) можно переписать следующим образом

$$E = Pc/2(1 - R_g/R) \quad (4)$$

где $R_g = 2kP/c^3$ — так называемый гравитационный радиус геона, который, как нетрудно видеть, отличается по форме от гравитационного радиуса обычных частиц, имеющего вид $R_g = 2kM/c^2$. Это связано с тем, что в геоне M необходимо заменить на P/c .

Отметим, что уравнения (3) и (4) справедливы не только для безмассовых частиц, но и для массивных ультрарелятивистских микрообъектов. Однако в настоящей работе мы акцентируем внимание только на свойствах безмассовых частиц, как более фундаментальной (с точки зрения автора) формы материи.

Уравнение (3) аналогично уравнению для полной энергии атома водорода. Из квантовой механики известно, что оценить энергию основного состояния атома водорода можно с помощью соотношения неопределенностей Гейзенберга.



Аналогичным образом мы поступим и в данном случае. Чтобы использовать уравнение (3) в квантовой теории (в качественном приближении), будем рассматривать величины P и R , входящие в уравнение (3), как неопределенности импульса и координаты. Отметим, что R в (3) характеризует размер области, занимаемой геоном. С другой стороны, R можно трактовать, как радиус кривизны траектории фотонов.

Согласно соотношению неопределенностей, величины P и R связаны друг с другом. Положим $P \cdot R = \hbar$, где \hbar — постоянная Планка. Используя это соотношение, исключим величину R из (3).

Получим

$$E(P) = Pc/2 - kP^3/\hbar c^2 = Pc/2(1 - 2P^2/P_{nl}^2) \quad (5)$$

где $P_{nl} = (\hbar c^3/k)^{1/2}$ — планковский импульс.

Функция $E(P)$ имеет максимум при некотором значении $P = P_1$. Обозначим ее через E_1 . Величину E_1 можно рассматривать как оценку энергии основного состояния геона, а величину $R_1 = \hbar/P_1$ — как оценку линейных размеров геона. Приравнявая нулю производную dE/dP находим, что

$$\begin{aligned} P_1 &= (\hbar c^3/6k)^{1/2}; \\ R_1 &= \hbar/P_1 = (6k\hbar/c^3)^{1/2}; \\ l_{nl} &= 10^{-33} \text{ см} \\ E_1 &= (\hbar c^5/54k)^{1/2} = 10^{19} \text{ ГэВ} \end{aligned}$$

Как видно из полученных оценок, геон, состоящий из двух гравитационно взаимодействующих фотонов, имеет планковские размеры и планковскую массу.

Используя соотношение неопределенностей, найдем из (3) зависимость $E(R)$. Имеем

$$E(R) = \hbar c/2R - \hbar^2 k/c^2 R^3 = \hbar c/2R(1 - 2l_{nl}^2/R^2) \quad (6)$$

где l_{nn} — фундаментальная планковская длина.

График зависимости $E(R)$ показан на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что свободных фотонов с энергией, большей 10^{19} Гэв в природе быть не может. На этом энергетическом уровне безмассовые кванты энергии взаимодействуют друг с другом, превращаясь в микроскопические чёрные дыры с размером 10^{-33} см.

Точка пересечения графика функции $E(R)$ с осью R на фиг. 1 соответствует горизонту событий, отстоящем от сингулярного состояния геона ($R=0$) на расстоянии $\sqrt{2}l_{nn}$. Отметим, что для внешнего наблюдателя уменьшение полной энергии геона с ростом импульсов фотонов выглядит, как уменьшение их частоты («покраснение»), что непосредственно связано с замедлением временных процессов вблизи горизонта событий.

Полное решение задачи о движении частицы в центральном поле можно получить, исходя не только из законов сохранения энергии, но и момента. В классической механике для полной энергии двух гравитационно взаимодействующих массивных тел мы имели бы следующее выражение

$$E = mR^2/2 + N^2/2mR^2 + U(r) \quad (7)$$

где m — приведенная масса, N — орбитальный момент импульса приведенной массы, $U(r)$ — потенциальная энергия взаимодействия частиц.

Для геона уравнение (7) переписывается следующим образом

$$E = P'c(1 - R_g/R + R_c^2/(2P')^2) \quad (8)$$

где P' — приведенный импульс фотонов, R_g — гравитационный радиус геона, $P_c = N/R$ — орбитальный импульс «приведенного» фотона.

Наличие центробежной энергии, обращаемой при $R \rightarrow 0$ в бесконечность как $1/R^2$ приводит обычно к невозможности проникновения движущихся частиц к центру поля ($R=0$), даже если последнее само по себе имеет характер притяжения. Таким образом, наличие центробежной энергии могло бы снять проблему сингулярного состояния геона.

Необходимость рассмотрения в этом параграфе взаимодействия фотонов в рамках ньютоновской физики обусловлено тем, что при таком подходе естественным образом появляется величина $R_g = 2kP/c^3$, которую можно трактовать как гравитационный радиус геона. В рамках же общей теории относительности сразу обосновать появление этой величины несколько сложнее. Тем не менее ясно, что для более полного анализа необходимо обратиться к общей теории относительности, описывающей сильные гравитационные поля.

3. Геоны в общей теории относительности

Рассмотрим движение «приведенного» фотона в центрально-симметричном гравитационном поле. Как и во всяком центральном поле, движение будет происходить в одной плоскости, проходящей через начало координат; выберем эту плоскость в качестве плоскости \bar{r} . Воспользуемся уравнением Гамильтона-Якоби, с учетом того, что масса частицы равна нулю

$$g^{ik} \partial S / \partial x^i \cdot \partial S / \partial x^k = 0, \text{ где } S \text{ — действие.}$$

Коэффициенты g^{ik} возьмем из решения Шварцшильда. Тогда получим уравнение движения «приведенного» фотона в центрально-симметричном гравитационном поле

$$e^{-\nu} E^2 - e^{\nu} (P_R)^2 c^2 - N^2 c^2 / R^2 = 0 \quad (9)$$

где $e^{\nu} = 1 - R_g/R$; $R_g = 2kP/c^3$ — гравитационный радиус геона, P_R — импульс каждого из фотонов; N — орбитальный момент импульса «приведенного» фотона; Nc/R — центробежная энергия «приведенного» фотона.

Разложим (9) в ряд по степеням $1/R$. Получим

$$E = P'c(1 - R_g/R + R_c^2/(2P')^2 + \dots) \quad (10)$$

Как можно видеть из этого разложения, в третьем приближении оно совпадает с уравнением (8).

Перепишем (9) следующим образом

$$E^2 = (1 - 2kP_R/Rc^3)^2 \cdot (P_R^2 c^2)/4 + (1 - 2kP_R/Rc^3)N^2 c^2 R^2 \quad (11)$$

Уравнение (11) является основным уравнением для полной энергии геона. Его точное решение будет иметь чрезвычайно важное значение для планковской физики. Обсудим найденное нами уравнение (11) с помощью простых качественных рассуждений. Наши выводы не будут претендовать на строгость и полноту и их можно расценивать скорее как разведку путей дальнейших исследований, чем как чётко сформулированные результаты. Решение уравнения (11), если его записать в операторном виде, требует довольно сложной математики. Поэтому вместо точного решения мы ограничиваемся качественным рассмотрением.

Пусть $2\pi R$ — длина n -ой боровской орбиты. По орбите движется «приведенный» фотон с дебройлевской длиной волны $\lambda_n = 2\pi\hbar/P_n$. На длине орбиты должно укладываться n раз длина волны «приведенного» фотона λ_n . Следовательно $2\pi R = n\lambda_n$.

Отсюда получаем боровское условие квантования орбит

$$P_n R = n\hbar$$

Или

$$P_n = n\hbar/R \quad (12)$$

где n — главное квантовое число.

Далее. Наблюдаемое значение квадрата момента импульса микрообъекта выражается формулой

$$N^2 = \hbar^2 l(l+1) \quad (13)$$

где l — целое число.

Если учесть, что полный момент импульса J «приведенного» фотона состоит из двух слагаемых: орбитального момента l и спинного момента s , которые складываются векторно, то (13) переписывается следующим образом

$$J^2 = \hbar^2 j(j+1) \quad (14)$$

где j — квантовое число полного момента импульса. При качественном анализе, подставляя в (11) вместо P_R величину $n\hbar/R$, вместо N^2 величину $\hbar^2 j(j+1)$, получим

$$E^2 = n^2 \hbar^2 c^2 / 4R^2 (1 - 2l_{nl}^2 n / R^2)^2 + \hbar^2 c^2 / R^2 (1 - 2l_{nl}^2 n / R^2) [j(j+1)] \quad (15)$$

где l_{nl} — фундаментальная планковская длина, которая здесь появляется автоматически благодаря найденному нами новому выражению для гравитационного радиуса геона.

Отметим, что если для одиночного фотона полный момент импульса j пробегает значения $1, 2, 3, \dots, j \neq 0$, то для системы из двух фотонов полный момент импульса j пробегает значения $0, 2, 3, 4, 5, \dots$. Значение $j=1$ невозможно ([3], с.33, с.47).

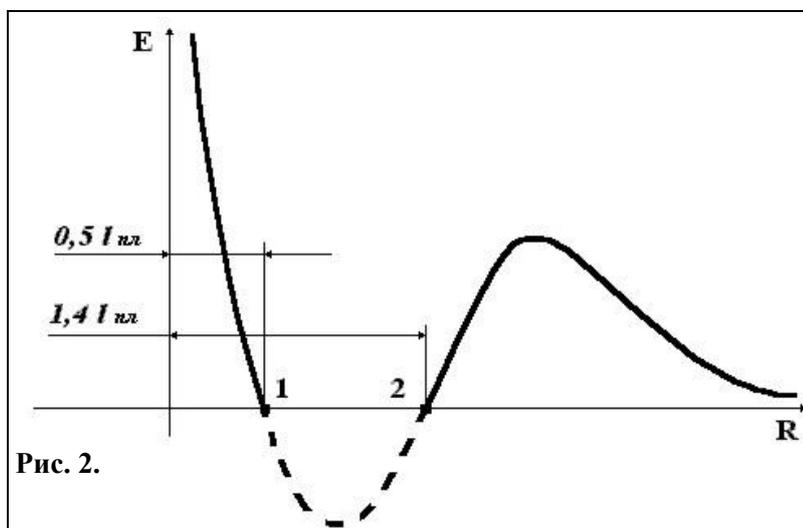


Рис. 2.

Полный момент импульса существенным образом влияет на график зависимости $E(R)$ полной энергии геона вблизи сингулярной точки $R=0$. Действительно, пусть $n=1, j=2$.

Тогда график функции $E(R)$ будет иметь вид как на рис.2.

На рис. 2 изображена только правая часть графика $E(R)$ при $R>0$. При $R<0$ левая часть графика симметрична правой его части. Кривая графика между точками 1 и 2 отсутствует (является мнимой), что характерно для любой черной дыры.

Из рис. 2 видно, что наличие

центробежной энергии Nc/R в корне меняет поведение геона вблизи сингулярной точки ($R=0$).

Геон в этом случае имеет не один, а два горизонта событий — внешний и внутренний (точки 1 и 2), разделенные промежутком $0,9 l_{nl}$. Сингулярное состояние достигается геонем при $R=0$. Однако из рис. 2 видно, что при приближении геона к сингулярному состоянию его полная энергия растет, что соответствует отталкиванию от сингулярности. Таким образом, область R , меньшая $0,5 l_{nl}$, соответствует антигравитации. Рост полной энергии геона и, соответственно, отталкивание от сингулярной точки обусловлено центробежной энергией геона.

В том случае, когда безмассовые кванты энергии обладают еще и зарядами, выражение для e^v из соотношения (9), согласно решения Райснера-Нордстрема, необходимо записать следующим образом

$$e^v = 1 - R_g / R + kQ^2 / c^4 R^2 \quad (16)$$

где Q — общий заряд геона.

Тогда уравнение (11) для полной энергии заряженного геона принимает вид

$$E^2 = (1 - R_g / R + kQ^2 / c^4 R^2)^2 (P_R)^2 c^2 + (1 - R_g / R + kQ^2 / c^4 R^2) P_u^2 c^2 \quad (17)$$

Вспомним теперь, что заряд частицы можно выразить через постоянную тонкой структуры b

$$Q^2 = b \hbar c$$

Отметим, что постоянная тонкой структуры или константа Зоммерфельда b при $v=c$ в планковских масштабах должна быть равна 1. Здесь гравитация также становится сильным взаимодействием. Так как заряженный безмассовый квант движется со скоростью света, то для него отсюда следует

$$Q^2 = \hbar c$$

Тогда

$$kQ^2 / c^4 R^2 = k \hbar / c^3 R^2 = l_{nl} / R^2 \quad (18)$$

При качественном анализе, подставляя в (17) вместо P_R^2 величину $n^2 \hbar^2 / R^2$, вместо P_u^2 величину $\hbar^2 / R^2 j(j+1)$, а вместо заряда Q^2 величину $\hbar c$, получим следующее уравнение

$$E^2 = n^2 \hbar^2 c^2 / 4R^2 (1 - l_{nl}^2 n / R^2)^2 + \hbar^2 c^2 / R^2 (1 - l_{nl}^2 n / R^2) [j(j+1)] \quad (19)$$

Это уравнение аналогично уравнению (15).

Отметим также, что в геоне при $j \geq 2$ выполняется так называемое правило космической этики: «нельзя обнаружить сингулярность», сформулированное Пенроузом. Для этого рассмотрим эволюцию графика $E(R)$ на рис. 3 в зависимости от величины полного момента импульса N .

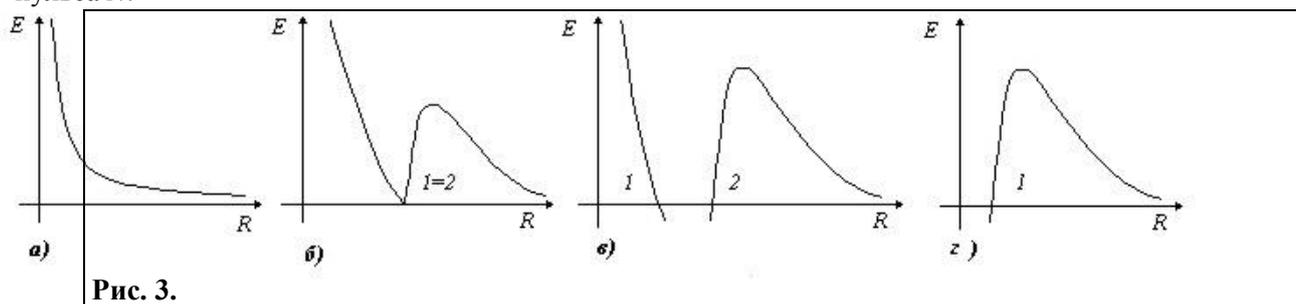


Рис. 3.

Действительно, сингулярность, открытая во внешний мир и доступная наблюдателю, на графике имела бы вид, как показано на рис. 3а. Рисунок 3б отражает ситуацию так называемого экстремального керровского отона (вращающейся черной дыры), когда оба горизонта событий (точки 1 и 2) совпадают. Рис. 3в отражает ситуацию с двумя разделенными горизонтами событий. Наконец, рис. 3г отражает ситуацию с одним горизонтом событий, когда полный момент импульса равен нулю, то есть вращения черной дыры нет. В случае вращающейся массивной черной дыры расстояние между горизонтами событий зависит от скорости вращения. Однако в геоне скорость фотонов на «круговой орбите» максимальная и равна скорости света, тем не менее здесь оба горизонта событий разделены промежутком $0,91 l_{nl}$, что и подтверждает правило, сформулированное Пенроузом.

Подчеркнем, что в данном параграфе, когда мы говорим о геоне, мы имеем в виду не просто объединение двух фотонов в некую систему наподобие атома водорода. Такая система, как видно из рис.2, в точке максимума является нестабильной и долго существовать не может. Когда мы говорим о геоне, то под этим словом мы имеем в виду прежде всего два фотона, сколлапсировавшие в чернотырное состояние. Именно такой объект, имеющий планковские размеры и массу, мы и называем планковским геоном и он нас интересует в первую очередь.

Отметим также, что теперь мы больше уже не имеем права писать выражение для инвариантного интервала dS без метрических коэффициентов g_{ik} , так как в планковских масштабах они не могут быть приравнены к единице даже в инерциальных системах отсчета.

Действительно, в случае решения Шварцшильда интервал имеет следующий вид

$$dS^2 = (1 - R_g/R)c^2 dt^2 - dR^2 / (1 - R_g/R) - R^2 (d\mu^2 + \sin^2 \mu d\zeta^2) \quad (20)$$

$$R_g = kM/c^2$$

Это решение описывает геометрические свойства пространства-времени, обусловленные точечной массой M , находящейся в начале «сферической» системы координат. На больших расстояниях, когда величиной R_g/R можно пренебречь по сравнению с единицей, выражение для интервала (20) переходит в интервал СТО, записанный в сферической системе координат, а именно

$$dS^2 = c^2 dt^2 - dR^2 - R^2 (d\mu^2 + \sin^2 \mu d\zeta^2) \quad (21)$$

Метрика Шварцшильда (20) описывает в хорошем согласии с экспериментом три известных эффекта: смещение перигелия орбиты планеты, отклонение луча света Солнцем и гравитационное красное смещение спектральных линий. Однако теперь мы видим, что в малых (планковских) масштабах интервал (21) неизбежно должен иметь вид

$$dS^2 = (1 - 2l_{nl}^2/R^2)c^2 dt^2 - dR^2 / (1 - 2l_{nl}^2/R^2) - R^2 (d\mu^2 + \sin^2 \mu d\zeta^2) \quad (22)$$

Из (22) видно, что даже в микромире вплоть до расстояний 10^{-30} см мы с большой точностью все еще можем пользоваться интервалом (21), т. е. вплоть до этих расстояний справедлива соотношения специальной теории относительности.

Уравнения (11) и (17) для полной энергии незаряженного и заряженного геонов можно исследовать не только качественно, но и подвергнуть строгому математическому анализу, заменив соответствующие величины их операторами и, возможно даже, линеаризовав эти уравнения по аналогии с уравнением Дирака. Эту сложную задачу автор не рассматривает и предлагает её для тех читателей, кто заинтересуется данной проблемой. Тем не менее изложенное выше качественное рассмотрение взаимодействия фотонов в планковских масштабах позволяет понять многие существенные стороны поведения материи на наиболее глубоком уровне физической реальности.

В связи с этим напомним, что, согласно Бору, физическая картина явления и его математическое описание дополнительные. Создание физической картины требует пренебрежения деталями и уводит от математической точности, а попытка точного математического описания явления затрудняет его ясное понимание. Выше нами описана физическая картина явления.

4. Заключение

В статье рассмотрена модель геона — объекта с линейным размером $l_{nl} = 10^{-33}$ см и массой $m_{nl} = 10^{-5}$ г. Здесь мы вплотную приблизились к области, где действуют законы планковской физики. Какие можно сделать выводы?

Фундаментальные планковская длина $l_{nl} = 10^{-33}$ см и планковская масса $m_{nl} = 10^{-5}$ г, видимо, могут появиться только в модели геона. Именно здесь константы \hbar , c , k объединяются естественным образом. В противовес феноменологическим концепциям теорий, где планковские величины насильно вводятся в 4-мерный континуум, в рамках модели геона l_{nl} и m_{nl} появляются автоматически, как следствие гравитационного взаимодействия безмассовых квантов энергии.

Планковские геоны могут претендовать на роль «истинно элементарных частиц». При этом, как явствует из статьи, «истинно элементарные частицы» в итоге оказываются микроскопическими черными дырами, что, вероятнее всего, решает проблему ультрафиолетовых расходимостей в квантовой теории поля. Действительно, как отмечалось в ([6], с. 469), многочисленные попытки ввести в рамках СТО фундаментальную длину, чтобы построить свободную от расходимостей теорию, неизбежно приводит к нарушению принципа причинности. Однако там же ([6], с. 479) было указано, что в рамках ОТО длина $l_{пл}$ лишала бы понятие пространства внутри сферы Шварцшильда его физического смысла, а R_g отделяло бы эту область от реального мира физических явлений, сохраняя в нем причинные связи в их первоначальном виде. Планковские геоны как раз и являются объектами с указанными свойствами.

Отмечалось также, что «...одна из наиболее ошутимых неприятностей в динамической (на основе гамильтонова формализма) квантовой теории поля состоит в возникновении расходящихся интегралов при решении квантово-полевых задач... Устранение расходимостей при помощи перенормировки масс и зарядов является некоторой удачной полумерой, которая всегда вызывала у физиков определенное чувство неудовлетворенности. Возникновение расходимостей, по всей вероятности, обусловлено использованием в современной теории поля метрики специальной теории относительности, что связано с пренебрежением в теории поля гравитационными эффектами. Последнее обстоятельство, по всей видимости, приводит к существенному пороку теории: к неприменимости ее для очень малых областей пространства и расходимостям при больших импульсах. Вполне возможно, что квантовую теорию поля следует строить на базе общей теории относительности, т. е. на базе общековариантного формализма. При этом необходимо решить вопрос о квантовании нелинейных уравнений поля, что представляет, как известно, определенную математическую трудность. Можно надеяться, что на этом пути удастся построить квантовую теорию поля, применимую для сколь угодно малых областей пространства и лишенных таких пороков, как расходимость. В такой теории можно будет найти соотношения между «затравочными» и экспериментальными массами и зарядами. Определив из этих соотношений «затравочные» массы и заряды, мы избавимся от необходимости выполнения процедуры перенормировки масс и зарядов.» ([5], с. 6–7).

С другой стороны, сегодня в теории струн утверждается, что квантовая теория поля не может быть фундаментальной физической теорией, то есть не может быть основой квантовой теории гравитации [8].

Подчеркнем, что мы считаем неправомерным рассматривать геоны в рамках решения Керра, так как это решение было разработано для тел, обладающих массой. Хотя в целом геон обладает массой, его составные части (фотоны) этим свойством не обладают.

Далее. Изложенные в § 2 и § 3 рассуждения по гравитационному взаимодействию двух фотонов можно перенести и на одиночный безмассовый квант энергии, взаимодействующий с собственным гравитационным полем. Полная энергия такого самодействующего фотона будет иметь не привычный нам вид $E = Pc$, а будет выглядеть следующим образом:

$$E^2 = P^2 c^2 (1 - kP/Rc^3)^2 + N^2 c^2 / R^2 (1 - kP/Rc^3)$$

что аналогично уравнению (11), но здесь R необходимо сопоставить с длиной волны λ фотона.

Тогда при энергии $E_{пл} = 10^{19}$ Гэв одиночный фотон должен превратиться в микроскопическую черную дыру (самоколлапсировать), но, видимо только в поле другой частицы (согласно закону сохранения импульса), так как планковская черная дыра имеет планковскую массу и поэтому не может двигаться со скоростью света.

При этом полный момент импульса фотона j не может принимать значения равные нулю в силу поперечного характера волновой функции фотона. Это автоматически исключает возможность достижения коллапсирующим фотоном сингулярного состояния из-за отталкивающего характера центробежной энергии $P_{цс}$. Поэтому одиночный фотон, взаимодействующий с собственным гравитационным полем, с физической точки зрения, более предпочтителен, чем система из двух фотонов, в которой возможно состояние $j = 0$.

Однако возможность самоколлапса, видимо, предполагает наличие внутренней структуры у фотона и, следовательно, его массы, что на самом деле не соответствует действительно-

сти. Тем не менее, исходя из общих соображений (наличие у фотона собственной гравитационной энергии), вариант самоколлапсирования одиночного безмассового кванта с энергией $E_{nl} = 10^{19}$ Гэв вполне реален. По крайней мере, автор статьи в этом не сомневается.

Замечательный факт заключается еще и в том, что благодаря особым свойствам электромагнитного поля одиночный физический фотон при перемещении в пространстве не образует виртуальных пар, независимо от величины его импульса. Поэтому даже фотон с планковской энергией эквивалентен «голому» фотону, то есть вокруг такого фотона нет «шубы» из виртуальных частиц.

Из вышесказанного ясно также, что при планковской энергии любой ультрарелятивистский микрообъект, в том числе обладающий массой, должен превратиться в микроскопическую черную дыру. Таким образом при планковской энергии вся физическая материя будет находиться в чернотырном состоянии. Отсюда непосредственно следует, что наша Метагалактика также возникла из чернотырного состояния материи. Такие теоретические объекты, как одномерные струны с длиной порядка длины Планка, в физику вводить, видимо, неправомерно. В планковских масштабах любой такой объект неизбежно превратился бы в планковскую черную дыру.

Сверхмалые расстояния можно «прощупать» с помощью высокоэнергичных безмассовых квантов энергии (фотонов и т. п.). Но так как при планковской энергии 10^{19} Гэв безмассовые кванты превращаются в микроскопические черные дыры (коллапсируют), то в этом случае больше не существует инструментария для исследования расстояний, меньших $l_{nl} = 10^{-33}$ см. Следовательно, **представление о расстояниях, меньших $l_{nl} = 10^{-33}$ см, то есть вне пределов их возможной физической верификации, беспредметно.** Это противоречило бы принципу наблюдаемости, согласно которому в науку нельзя вводить принципиально ненаблюдаемые величины, в данном случае расстояния, меньшие планковской длины.

Данный расчет делает «прозрачным» физическую и философскую сущность фундаментальной длины. Физически невозможно ни излучить, ни принять квант с такой длины волны. Это теоретическая нижняя граница возможного взаимодействия. В более общем плане фундаментальная длина выступает той теоретической границей познания, от которой получить какую-либо информацию уже принципиально невозможно. Ниже уже не «наша физика». Это очень глубокий прежде всего философский вывод о существовании теоретического нижнего предела для физики.

В связи с этим отметим следующее. Уравнение (3) в применении его к одиночному фотону (с учетом того, что $P \cdot R \approx \hbar$) можно записать таким образом

$$E = Pc - kP^2 / c^2 R = Pc - kc^3 P^3 / c^5 \hbar = Pc(1 - (Pc/E_{nl})^{1/2}) \quad (3'')$$

где $E_{nl} = (\hbar c^5 / k)^{1/2} = 10^{19}$ Гэв

Объединение электромагнитного, слабого и сильного взаимодействий происходит при энергии 10^{15} Гэв. Проанализируем, как ведет себя фотон при таких энергиях. Из (3'') имеем

$$E = 10^{15} (1 - (10^{15} / 10^{19})^2) = 10^{15} (1 - 10^{-8}) = 10^{15} \text{ Гэв}$$

Мы видим, что зависимость полной энергии фотона от его гравитационной составляющей при кинетической энергии фотона 10^{15} Гэв практически нулевая. Это будет сверхжесткий фотон, еще вполне способный строить пространственно — временные отношения между телами. При энергии же 10^{19} Гэв фотон свою способность к созданию пространственно-временных отношений уже теряет (как и любой другой безмассовый квант энергии), превращаясь в микроскопическую черную дыру с планковскими размерами 10^{-33} см. **Именно в этом смысле и можно, по нашему мнению, говорить о квантовании пространства-времени в планковских масштабах** (если вообще в данном случае можно пользоваться понятием «квантование пространства-времени»?).

Мы считаем также, что реальные планковские геоны с массой 10^{-5} г не «испаряются», а являются устойчивыми образованиями. Дело в том, что может «испариться» вся масса черной дыры, за исключением той её части, которая связана с энергией нулевых, квантовых колебаний вещества черной дыры. Такие колебания не повышают температуру объекта и их энергия не может излучиться. Остаточная масса составляет 10^{-5} г, независимо от того, какова была началь-

ная масса чёрной дыры ([7], с. 210). В таком случае планковские геоны могли бы служить «затравочными» ядрами других элементарных частиц. Наблюдаемые массы элементарных частиц, которые гораздо меньше планковской массы, могут быть следствием дефекта масс при образовании связанной системы из нескольких геонов (см. [6]).

В заключение отметим следующее. Большинство современных моделей Вселенной опираются на допущение, что в течение времени от планковского с $t_{pl} = 10^{-43}$ с до $t_u = 10^{-35}$ с (время, характерное для большого объединения) Вселенная развивалась по де Ситтеру и увеличила свои размеры от планковского (10^{-33} см) до гигантского размера, существенно превышающего размеры Метагалактики. В некоторых моделях размер «пузыря» достигает $10^{1000000}$ см. Если это действительно так, то ясно, что планковские геоны, возникающие при энергии $E_{pl} = 10^{19}$ Гэв, оказываются разбросанными на огромные расстояния и поэтому их экспериментальное обнаружение вряд ли возможно. Однако в последнее время появились указания на то, что инфляционный сценарий начальной стадии эволюции Вселенной, по-видимому, неверен [4]. Тогда можно было бы отождествить планковские черные дыры с темной материей.

Л и т е р а т у р а :

1. Klimetz A. P. FIZIKA В (Zagreb) **9** (2000) 1, 23-42.
2. Misner C., Wheeler J. Ann. of Phys., 2 № 6, (1957).
3. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М. и Питаевский Л. П. Релятивистская квантовая теория, часть 1. — Москва, Наука, 1968.
4. Глинер Э. Б., УФН **172** 221 (2002).
5. Кушниренко А. Н. Введение в квантовую теорию поля. — Москва, Высшая школа, 1983.
6. Марков М. А. Может ли гравитационное поле оказаться существенным в теории элементарных частиц? // В сб. «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». — Москва, Мир, 1979.
7. Марков М. А. О природе материи. — Москва, Наука, 1976.
8. Маршаков А. В. УФН **172** 977 (2002)
9. Уилер Дж. Гравитация, нейтрино, Вселенная. — Москва, Мир. 1970.

Klimetz A.P.

Geons, black holes and fundamental Planck length

The 10^{19} GeV energy photons are able to form the Planck mass geons, which are the microscopic black holes, i.e. the limit of the space-time processes observation. The photon geons introduction provides to eliminate the problem of the ultraviolet divergences in the quantum field theory.

Keywords: photon, black hole, ultraviolet divergences, dark matter.