

О квантовой природе закона всемирного тяготения

© Авторы, 2018

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2018

А.А. Абрашкин – д.ф.-м.н., профессор, кафедра математики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (г. Нижний Новгород); вед. науч. сотрудник, Институт прикладной физики РАН
E-mail: aabrashkin@hse.ru

Предложена модель первичного вакуума, состоящего из частиц с планковскими масштабами длины, времени жизни и массы, которые названы эфиронами. Отмечено, что квантовое гравитационное поле отождествляется с возбужденным состоянием эфирного бозе-конденсата. Дано определение Гравитона как квазичастицы волнового поля свободных эфиронов. Приведено объяснение формулы закона всемирного тяготения в рамках квантово-полевого подхода.

Ключевые слова: вакуум, закон тяготения Ньютона, гравитон.

The model of a primary vacuum consisting of particles named «etherons» of about the Planck scales in their geometry, life time and mass is suggested. A quantum gravity field is represented as an excited state of Bose condensate formed by etherons. The elementary particle named «graviton» is defined as a quasiparticle of the field of free etherons. An explanation of the equation of the law of gravitation in the frames of a quantum-field approach is given.

Keywords: vacuum, Newton's law of gravitation, graviton.

Закон всемирного тяготения был сформулирован Ньютоном в аналитическом виде, выражающим силу взаимодействия двух точечных масс [1]. Почти сразу же вслед за этим швейцарский математик Фабियो, а потом и француз Лесажа предложили механическую модель гравитации, в основе которой лежало предположение о существовании мельчайших материальных корпускул, пронизывающих все природные тела. Но уже современники ученых (и в их числе Ньютон), осознавая наивность и несостоятельность данной теории, отвергали ее. Впоследствии модель Фабियो-Лесажа подверглась сокрушительной критике со стороны Максвелла. Фейнман в своих знаменитых лекциях упоминает её как пример наивной и несостоятельной теории [2]. Никаких других объяснений механизма гравитации до сих пор не приводилось.

В настоящей работе предложен квантовый механизм действия гравитации.

Гравитационное поле (или гравитационный вакуум) отождествляется с возбужденным состоянием первичного вакуума, представляющим бозе-конденсат из виртуальных частиц с планковскими масштабами массы, длины и времени жизни. Эти частицы названы эфиронами. Волнам в ансамбле свободных эфиронов соответствуют квазичастицы, которые переносят импульс, но не переносят массы. Утверждается, что это и есть безмассовые гравитоны Стандартной модели элементарных частиц. Возникновение ньютоновской силы гравитационного взаимодействия между двумя массами объясняется как результат обмена гравитонами.

Модель физического пространства и эфироны

Будем отождествлять состояние начальной Вселенной с вакуумом, обладающим нулевой плотностью. Примем, что он заполняет пустое беспредельное пространство и состоит из виртуальных частиц одного типа. Положим, что они обладают планковской массой

$$m_{pl} = \sqrt{\hbar c/G} \approx 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ г}, \quad (1)$$

размером, равным планковской длине

$$l_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^3} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}, \quad (2)$$

и живут временной отрезок, совпадающий с планковским масштабом времени

$$t_{pl} = \sqrt{\hbar G/c^5} \approx 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ с}. \quad (3)$$

В этих соотношениях \hbar – постоянная Планка; c – скорость света; G – гравитационная постоянная.

Введенные частицы являются элементами первичной виртуальной («эфирной») среды, из которой впоследствии образовался материальный мир. Будем называть их эфиронами [3, 4].

История планковских величин изложена в работах [5–7]. Ученые разных стран в разное время независимо приходили к выводу, что планковские величины обозначают границу применимости общей теории относительности и квантовой физики. В настоящее время подавляющее большинство физиков разделяет мнение, что планковская длина и планковское время определяют минимальные масштабы длины и времени, которые можно измерить экспериментально. Они являются предельными: и пространственные, и временные масштабы не могут быть меньше данных значений. Но в таком случае эфирон является принципиально ненаблюдаемой частицей. Он рождается на короткое время и практически тут же умирает. Никакой прибор не в состоянии зафиксировать эту частицу. Пространство, заполненное эфиронами, будем называть физическим пространством. В отличие от абсолютного пустого пространства, рассматриваемого в классической физике, оно содержит в себе ненаблюдаемый эфиронный континуум.

Для планковской массы радиус Шварцшильда в два раза превышает планковскую длину, поэтому эфирон является виртуальной черной дырой. Его внутренняя структура принципиально недоступна исследованию. Вследствие крошечного времени жизни он не успевает создать внешнее гравитационное поле.

Помимо массы, эфирону можно приписать еще и скорость. Поскольку $l_{pl}/t_{pl} = c$, то эфирон движется со скоростью света. Специальная теория относительности запрещает стабильной частице, имеющей конечную массу покоя, двигаться со световой скоростью. Но эфирон – виртуальная частица. Планковские масштабы длины и времени выступают в качестве элементарных интервалов длины и времени, существующих в природе. Они обозначают границы установленным закономерностям природы и экспериментальным возможностям человека. Внутри этих границ теряют силу выводы специальной теории относительности. Поэтому движение ненаблюдаемого, «бесструктурного», массивного эфирона со скоростью света в течение элементарного временного отрезка на протяжении элементарной длины ничему не противоречит.

Возможность существования частиц с планковской массой обсуждалась ранее в теоретической физике. М.А. Марков предположил, что эта частица определяет верхний предел (максимальную величину) в спектре масс элементарных частиц, и потому предложил называть ее максимом [8–10]. Если сначала ученый полагал, что максимоны можно связать с кварками, то впоследствии отказался от этой идеи и утверждал, что данные частицы присутствуют на стадии коллапса материи при ее плотности, близкой к планковской. С. Хокинг также отмечал возможность существования гипотетических частиц планковской массы и образования ими сверхплотной материи на начальной стадии существования Вселенной [11, 12]. К.П. Станюкович независимо тоже пришел к идее существования частиц с планковскими масштабами [13], но называл их планкеонами (в честь Макса Планка). Для того, чтобы радиус Шварцшильда для частицы совпал с планковской длиной, он положил ее массу равной половине планковской массы. Он считал, что эти стабильные частицы, пусть и в достаточно малом количестве, но существуют повсеместно [14].

Вводимая автором частица определяется как виртуальная, и тем самым кардинально отличается и от максимона, и от планкеона. М.А. Марков, С. Хокинг и К.П. Станюкович для своих частиц воспользовались только двумя планковскими масштабами – массой и линейным масштабом (таблица). В отличие от них автор приписывает планковской частице конечное время жизни t_{pl} . Такие частицы составляют вакуум. Это сгустки энергии (массы), возникающие и умирающие практически мгновенно, и этим своим свойством они решительно отличаются от максимонов и планкеонов. К тому же, если максимон (или планкеон) всегда движется с досветовой скоростью, то скорость рассматриваемой (виртуальной планковской) частицы в точности равна скорости света c . Ввиду наличия столь существенных отличий ав-

Таблица. Модели частиц с планковскими масштабами

Частица, ученый, год	Масса	Размер	Время жизни, тип частицы	Скорость	Где гипотетически существует?
Максимон, Марков, 1965	m_{pl}	l_{pl}	∞ , стабильная	$< c$	Предельно плотные состояния материи
Хокинг, 1971	m_{pl}	l_{pl}	∞ , стабильная	$< c$	На начальной стадии Вселенной
Планксон, Станюкович, 1966	$\frac{1}{2}m_{pl}$	l_{pl}	∞ , стабильная	$< c$	Повсеместно
Эфирон, автор, 2008	m_{pl}	l_{pl}	t_{pl} , виртуальная	c	Вакуум

тору видится вполне оправданным введение нового термина «эфирон» – виртуальной частицы, обладающей всеми тремя планковскими масштабами.

Эфирон – единственная элементарная частица, все параметры которой определяются через величины мировых констант. Это указывает на его фундаментальное значение в теории элементарных частиц и физических взаимодействий.

Эфирон «размазан» на планковской длине. Его виртуальное проявление можно представить как рождение в течение планковского масштаба времени t_{pl} на масштабе l_{pl} сверхплотного состояния с планковской плотностью $\rho_{pl} \sim m_{pl}/l_{pl}^3 \sim 10^{94}$ г/см³. Но при этом величина ρ_{pl} не имеет никакого отношения к плотности космического вакуума, которую автор связывает с плотностью эфиронного конденсата (эфиронной «среды»).

Эфирон выступает реально существующим объектом, задающим пределы проникновению человека в микромир. Погрешность в измерении импульса эфирона Δp_e равна величине его импульса $p = m_{pl}c$, а погрешность в измерении положения Δr_e равно планковской длине. Произведение двух этих погрешностей в точности равно постоянной Планка:

$$\Delta p_e \cdot \Delta r_e = \hbar. \quad (4)$$

Принцип неопределенности для эфирона, таким образом, выполняется в виде строгого равенства. Это является следствием того, что эфирону приписаны определенная скорость и масштаб локализации.

Механизм квантовой гравитации

Рассмотрим бозе-конденсат эфиронов. Покажем, что он обладает свойствами квантового гравитационного поля, результатом действия которого является сила всемирного закона тяготения.

Пусть взаимодействие двух материальных частиц происходит в результате обмена квантами эфиронного поля – гравитонами. Являясь квазичастицами, гравитоны передают только импульс, и их, в полном согласии со Стандартной моделью, можно считать безмассовыми. Другое требование теории к гравитону – величина спина, которая должна равняться 2. Для этого положим, что эфироны имеют точно такой же спин. Волновая функция частицы со спином 2 есть неприводимый 4-тензор ранга 2 [15], удовлетворяющий дополнительному условию 4-поперечности. Каждая из пяти его независимых компонент удовлетворяет уравнению Клейна–Гордона–Фока [15], где в качестве массы частицы фигурирует планковская масса.

Уравнение Клейна–Гордона–Фока определяет дисперсионное уравнение гравитационных волн, которое записывается в виде

$$\omega^2 = c^2 k^2 + \frac{m_{pl}^2 c^4}{\hbar^2} = c^2 (k^2 + l_{pl}^{-2}) = c^2 k^2 + t_{pl}^{-2}. \quad (5)$$

Здесь ω – угловая частота; k – волновое число.

При записи (5) использовались соотношения (1)–(3). Квантовые гравитационные волны в отличие от классических волн ОТО обладают дисперсией. Однако в коротковолновом пределе $kl_{pl} \gg 1$ дисперсия отсутствует: $\omega^2 \approx c^2 k^2$. В гравитационном вакууме могут распространяться только волны с частотой больше планковской частоты $\omega_{pl} = t_{pl}^{-1} = 0,19 \cdot 10^{44}$ Гц. Их групповая скорость равна

$$v_g = \frac{d\omega}{dk} = \frac{c}{\sqrt{1 + (kl_{pl})^{-2}}}. \quad (6)$$

При $k \rightarrow \infty$ (малые длины волн) величина $v_g \rightarrow c$, а в случае $kl_{pl} \ll 1$ величина групповой скорости стремится к нулю (волны не распространяются). Таким образом, квантовые гравитационные волны отличаются чрезвычайно большой частотой и чрезвычайно малой (порядка планковской) длиной волны. Эти их свойства, очевидно, являются следствием большой массы эфиронов.

Коротковолновая часть спектра волнового пакета распространяется практически со скоростью света, которая и определяет скорость передачи гравитационного взаимодействия. Согласно принципу кор-

пускулярно-волнового дуализма, гравитационной волне можно поставить в соответствие частицу с импульсом \mathbf{p} и энергией ε , которые задаются формулами

$$\mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}, \quad \varepsilon = \hbar \omega. \quad (7)$$

Это не реальная частица, а волновое возбуждение: оно переносит импульс, но не массу и соответствует гравитону в Стандартной модели элементарных частиц – частице с нулевой массой. Гравитоны – элементарные волновые возбуждения гравитационного вакуума или квазичастицы с законом дисперсии (5).

Устанавливая соответствие между полем эфиронов и материальными частицами, примем, что частица с массой m_{pl} излучает гравитон, переносящий импульс и энергию, которые определяются соотношениями (5), (7). Будем учитывать при этом только положительные значения частоты ω , решения с отрицательными значениями энергии требуют специального рассмотрения. Кроме того, естественно принять, что планковская масса выступает квантом массы, и каждая частица возбуждает колебания гравитационного поля пропорционально своей массе m . Число квантов $N = m/m_{pl}$ будет не обязательно целым.

Покажем теперь, что, используя такой подход, можно объяснить механизм действия закона всемирного тяготения. Рассмотрим вначале взаимодействие двух точечных материальных частиц, обладающих планковскими массами и находящимися на расстоянии r друг от друга. Пусть первая из этих частиц возбуждает виртуальный гравитон, а вторая частица его поглощает. Неопределенность импульса Δp , который передастся от первой частице второй, равна

$$\Delta p = \frac{\hbar}{r}, \quad (8)$$

где по аналогии с формулой (4) использован знак строгого равенства. В самом деле, если принцип неопределенности для эфиронов выполняется в виде равенства, то и для квазичастиц (гравитонов), соответствующих их коллективным колебаниям, должен сохраниться знак равенства. Гравитон достигнет второй частицы через время $\Delta t = r/c$. Когда вторая частица поглотит его, то обмен гравитоном можно будет интерпретировать, как взаимодействие с силой

$$F_{pl} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\hbar c}{r^2}. \quad (9)$$

Это сила притяжения для двух частиц планковской массы. Она обратно пропорциональна квадрату расстояния, как и требует закон всемирного тяготения.

Рассмотрим теперь частицы с произвольными массами m_1 и m_2 . Выразим массы частиц через планковские массы:

$$m_1 = N_1 m_{pl}, \quad m_2 = N_2 m_{pl}. \quad (10)$$

Тогда сила, действующая на вторую частицу со стороны первой, будет определяться равенством

$$F_{21} = \frac{\hbar c}{r^2} N_1 N_2 = \frac{\hbar c}{m_{pl}^2} \frac{m_1 m_2}{r^2} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}. \quad (11)$$

Таким образом объяснили величину силы взаимодействия. Но почему она будет силой притяжения? Обратим внимание, что импульс квазичастицы (7) – вектор. В силу симметрии сила гравитационного взаимодействия точечных частиц направлена вдоль соединяющей их прямой. Следовательно, направление действующей силы определяется направлением вектора $\Delta \mathbf{p}/\Delta t$ или, согласно (7), направлением вектора $\Delta \mathbf{k}/\Delta t$. В силу закона дисперсии (6) короткие волны распространяются быстрее, но тогда вектор $\Delta \mathbf{k}/\Delta t$ направлен противоположно вектору \mathbf{r}_{12} , соединяющему массы m_1 и m_2 , и, следовательно, в векторной форме выражение (11) можно переписать так:

$$\mathbf{F}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r^3} \mathbf{r}_{12}.$$

Сила со стороны первой частицы на вторую, очевидно, будет силой притяжения.

- Все известные теории квантовой гравитации, как и электродинамика, игнорируют вопрос о конкретной структуре физического пространства (вакуума). В настоящей работе этот вопрос выходит на первый план. Первичный вакуум определяется как бозе-конденсат, состоящий из эфиронов – виртуальных частиц с планковскими масштабами. Свободные волновые колебания в эфиронном конденсате отождествляются с квантовыми гравитационными волнами. Они обладают дисперсией, распространяются на частотах, превышающих планковскую частоту, и имеют чрезвычайно малую (порядка планковской) длину волны

При объяснении формулы закона всемирного тяготения были использованы следующие положения: а) гравитоны – квазичастицы волнового эфиронного поля; б) принцип неопределенности для них выполняется в виде строгого равенства; в) планковская масса выступает квантом массы. Каждое из этих положений достаточно необычно, но объединенные вместе они дают эффективное решение проблемы.

Автор выражает признательность профессору Е.М. Громову за полезные обсуждения работы.

Литература

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии.
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 1. М.: Мир. 1976.
3. Abrashkin A.A. The model of dark matter and gravitational waves // Leopoldina Dark Energy Conference. Munich. 2008 // <http://www.mpe.mpg.de/events/dark-energy-2008>.
4. Абрашкин А.А. Модель вакуума как планковского бозе-конденсата // Нелинейный мир. 2009. № 7. С. 506–512.
5. Gorelik G.E. First steps of quantum gravitation and the Planck values // Einstein Studies. Boston. 1992. V. 3. P. 364–379.
6. Горелик Г.Е., Френкель В.Я. Матвей Петрович Бронштейн. М.: Наука. 1990. 272 с.
7. Томилин К.А. Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах. М.: Физматлит. 2006. 368 с.
8. Markov M.A. Can the gravitational field prove essential for the theory of elementary particles? // Progr. Theor. Phys., Suppl. extra number. Commemoration Issue for the 30th Anniversary of the Meson Theory by Dr. H. Yukawa. 1965. P. 85.
9. Марков М.А. Может ли гравитационное поле оказаться существенным в теории элементарных частиц? // В кн.: Альберт Эйнштейн и теория гравитации. М.: Мир. 1979. С. 467–478.
10. Марков М.А. Элементарные частицы максимально больших масс (кварки, максимоны) // ЖЭТФ. 1966. Т. 51. Вып. 3(9). С. 878–890.
11. Hawking S. Gravitational collapsed objects of very low mass // Month. Notic. Roy. astron. Soc. 1971. V. 152. P. 75–78.
12. Hawking S.W. Black holes in general relativity // Comm. Math. Phys. 1972. V. 25. P. 152.
13. Stanyukovich K. On the Problem of the Existence of Stable Particles in the Metagalaxy // The Abraham Zelmanov Journal. 2008. V. 1. P. 99–110.
14. Васильев М.В., Климонтович Н.Ю., Станюкович К.П. Сила, что движет миром. М.: Атомиздат. 1978. 160 с.
15. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.: Наука. 1989. 723 с.

Поступила 23 мая 2017 г.

Quantum origin of newton's law of gravitation

© Authors, 2018
© Radiotekhnika, 2018

A.A. Abrashkin – Dr.Sc. (Phys.-Math.), Professor, Department of Mathematics, National Research University Higher School of Economics (HSE);
Leading Research Scientist, Institute of Applied Physics of RAS
E-mail: aabrashkin@hse.ru

All of known theories of quantum gravity, as well as electrodynamics theory, evade an answer to the question on the particular structure of a physical space (vacuum). In the present work this question comes to the forefront. Initial vacuum is defined as the Bose condensate consisting of etherons – the virtual particles of the Planck scales. Free wave fluctuations in the etheronny condensate are identical to quantum gravity waves. They possess wave's dispersion, are able to propagate at the frequencies exceeding Planck frequency and have an extremely small (about Planck's) wavelength. The elementary particle named "graviton" is defined as a quasiparticle of the field of free etherons.

A possibility of existence of particles with Planck mass was discussed in theoretical physics earlier. M. A. Markov assumed that such a particle defines an upper limit (the maximal value) in the range of masses of fundamental particles and therefore suggested to name it "maximon". He claimed that an appearance of these particles follows a collapse of matter at its density close to the Planck's value. Steven Hawking also mentioned a possibility of existence of hypothetical particles of Planck mass forming an extra dense matter at an initial state of existence of the Universe. K. P. Stanyukovich independently came up with the idea of existence of particles

with Planck scales as well, but he named them "planckons" (in honor of Max Planck). He assumed the weight of this elementary particle to be equal to a half of Planck weight to satisfy the condition of equality of the Schwarzschild radius to the Planck length. And considered these stable particles to exist everywhere though in a rather trace amount.

The introduced here particle is defined as the virtual one and cardinally differs by that both from the maximon and the planckon. M. A. Markov, S. Hawking and K. P. Stanyukovich used only two Planck scales for their particles – the weight and the length scale (see the table). Unlike them we attribute the Planck particle with the finite lifetime as well. And assume such particles to form a void medium. They represent bundles of energy (masses) emerging and dying almost immediately thus vigorously differing from the maximon and the planckon in this property. Besides if the maximon or the planckon always move with the subluminal speed, the speed of the introduced here (virtual Planck's) particles exactly equals to the light speed. It seems quite justified for the author to introduce a new term in view of existence of so essential differences.

To explain the formula of the law of gravitation it was assumed that a) gravitons are quasiparticles forming the wave field of etherons; b) the uncertainty principle for gravitons is valid in the form of a rigorous equality and c) the Planck mass represents a quantum of mass. Each of these statements is rather unusual, but being combined together they give an efficient solution of the problem.

References

1. N'juton I. Matematicheskie nachala natural'noj filosofii.
2. Fejnman R., Lejton R., Sjends M. Fejnmanovskie lekci po fizike. T. 1. M.: Mir. 1976.
3. Abrashkin A.A. The model of dark matter and gravitational waves // Leopoldina Dark Energy Conference. Munich. 2008 // <http://www.mpe.mpg.de/events/dark-energy-2008>.
4. Abrashkin A.A. Model' vakuuma kak plankovskogo boze-kondensata // Nelinejnyj mir. 2009. № 7. S. 506–512.
5. Gorelik G.E. First steps of quantum gravitation and the Planck values // Einstein Studies. Boston. 1992. V. 3. P. 364–379.
6. Gorelik G.E., Frenkel' V.Ja. Matvej Petrovich Bronshtejn. M.: Nauka. 1990. 272 s.
7. Tomilin K.A. Fundamental'nye fizicheskie postojannye v istoricheskom i metodologicheskom aspektah. M.: Fizmatlit. 2006. 368 s.
8. Markov M.A. Can the gravitational field prove essential for the theory of elementary particles? // Progr. Theor. Phys., Suppl. extra number. Commemoration Issue for the 30th Anniversary of the Meson Theory by Dr. H. Yukawa. 1965. P. 85.
9. Markov M.A. Mozhet li gravitacionnoe pole okazat'sja sushhestvennym v teorii jelementarnyh chastic? / V kn.: Al'bert Jajnshtejn i teoriya gravitacii. M.: Mir. 1979. S. 467–478.
10. Markov M.A. Jelementarnye chasticy maksimal'no bol'shih mass (kvarki, maksimony) // ZhJeTF. 1966. T. 51. Vyp. 3(9). S. 878–890.
11. Hawking S. Gravitational collapsed objects of very low mass // Month. Notic. Roy. astron. Soc. 1971. V. 152. P. 75–78.
12. Hawking S.W. Black holes in general relativity // Comm. Math. Phys. 1972. V. 25. P. 152.
13. Stanyukovich K. On the Problem of the Existence of Stable Particles in the Metagalaxy // The Abraham Zelmanov Journal. 2008. V. 1. P. 99–110.
14. Vasil'ev M.V., Klimontovich N.Ju., Stanjukovich K.P. Sila, chto dvizhet mirom. M.: Atomizdat. 1978. 160 s.
15. Beresteckij V.B., Lifshic E.M., Pitaevskij L.P. Kvantovaja jelektrodinamika. M.: Nauka. 1989. 723 c.

Уважаемые читатели!

Предлагаем вашему вниманию статьи из журнала

«Наноматериалы и наноструктуры – XXI век», № 4 за 2017 г.:

Моделирование электродинамических характеристик двумерных графеновых решеток в терагерцевом диапазоне частот

(авторы: *Лерер А.М., Головачева Е.В., Грибникова Е.И., Иванова И.Н., Г.И. Приходько*)

Оптические свойства металл-полимерных пленочных наноструктур с сферическими наночастицами

(автор: *Алтунин К.К.*)

Просвечивающая электронная микроскопия композитов на основе углеродных нановолокон с наночастицами металлов

(авторы: *Басу В.Г., Жигалина О.М., Суфиянова А.Э., Пономарев И.И., Скупов К.М., Пономарев И.И., Разоренов Д.Ю.*)

Исследование механизмов электрической проводимости слоистых наноструктур на основе $PbZr_{0.52}Ti_{0.48}O_3$ методом наведенного тока

(авторы: *Антонович А.Н., Петрушин А.А., Подгорный Ю.В.*)

и другие.