doi: 10.14498/tech.2020.3.6

Электротехника

УДК 530.1

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КВАНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ГРАВИТАЦИОННЫМ ПОЛЕМ И ПРОБЛЕМА ГРАВИТОНА

А.Н. Волобуев[1], А.М. Штеренберг[2], П.К. Кузнецов[3]

[1] Самарский государственный медицинский университет
Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

[2] Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: volobuev47@yandex.ru; ashter53@mail.ru

Аннотация. *Рассмотрены проблемы, связанные с распространением гравитационного поля. Показан закон изменения частоты электромагнитного излучения в гравитационном поле. Исследована проблема квантования гравитационного поля. Найдена энергия гравитона двумя способами. Во-первых, на основе использования квантового гравитационного эйконала и лагранжиана гравитационного поля найдена энергия отдельного гравитона. Показано, что гравитон обладает массой, пропорциональной его частоте. Во-вторых, за счет отказа от симметричного тензора напряжений в составе тензора энергии-импульса найдена квантовая форма тензора энергии-импульса в уравнении Эйнштейна. Это позволило найти энергию отдельного гравитона. Оба способа нахождения энергии гравитона дали один и тот же результат. Показано, что решение уравнения Эйнштейна с использованием квантовой формы тензора энергии-импульса для определенного направления представляет собой сумму гравитационных волн и гравитона. Выяснено, что при приближении гравитона к массивным телам (двойным звездам), излучающим гравитационные волны, происходит резонансная перекачка энергии гравитационного поля этих тел в гравитоны с увеличением их массы и частоты. Это дает возможность регистрации гравитонов с помощью детектора, расположенного вблизи массивных тел. Сделано предположение, что темная энергия гравитационного поля представляет собой всю совокупность энергий гравитонов космического пространства.*

Ключевые слова: *электромагнитное излучение, гравитационный эйконал, метрический тензор, уравнение Эйнштейна, гравитационные волны, тензор энергии-импульса, регистрация гравитонов.*

Волобуев Андрей Николаевич (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Медицинская физика, математика и информатика».

Штеренберг Александр Моисеевич (д.ф.-м.н., проф.), заведующий кафедрой «Общая физика, геология и физика нефтегазового производства».

Кузнецов Павел Константинович (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Электропривод и промышленная автоматика».

Введение

Современная теория гравитации – общая теория относительности Эйнштейна – является основой для расчета различных явлений. Она является обобщением ньютоновской динамики, включая закон всемирного тяготения. Так же как и ньютоновская динамика, общая теория относительности – не квантовая теория. Уравнение Эйнштейна для гравитационного поля не имеет стохастической природы.

Проблема квантования гравитационного поля до сих пор не решена, хотя для ее решения было приложено много усилий [1–4].

Недавно была решена задача регистрации гравитационных волн [5], которые описываются уравнением Эйнштейна [6]. Это еще одно экспериментальное подтверждение справедливости общей теории относительности.

С физической точки зрения общая теория относительности предполагает, что масса искривляет пространство-время. Кривизна пространства-времени влияет на все частицы, движущиеся в пространстве, включая и те, которые создают эту кривизну. Кривизна пространства-времени в общей теории относительности отождествляется с возникновением некоторого гравитационного поля, благодаря которому взаимодействуют массовые частицы.

Гравитационные волны представляют собой распространяющиеся колебания кривизны пространства-времени, подобно тому, как волны на водной поверхности являются распространяющимися колебаниями по поверхности частиц воды.

Однако в представленной физической картине гравитации нет главного элемента – квантования гравитационных волн. Попытки решить проблему квантования гравитационных волн с помощью введения 5-мерного пространства-времени [7] вряд ли могут привести к успеху. По-видимому, теория 5-мерного пространства-времени в настоящее время имеет только историческую ценность. Путем сравнения расстояния от источника гравитационных волн, рассчитанного по затуханию экспериментально регистрируемых гравитационных волн и по красному смещению электромагнитного излучения, было установлено [8], что размерность нашего пространства-времени равна $\sim 4 \pm 0{,}1$. Таким образом, наше пространство-время описывается четырьмя координатами: временем и тремя пространственными координатами.

Кванты гравитационного поля называются гравитонами. Гравитоны представляют собой локальное сморщивание пространства-времени, которое распространяется со скоростью света по более гладкому пространству.

Предполагая в целом корректность уравнения Эйнштейна для гравитационного поля, мы исследуем некоторые особенности квантования гравитационных волн.

1. Фотон в постоянном однородном гравитационном поле

Прежде чем приступать к квантованию гравитационного поля, рассмотрим, как изменяется частота квантов электромагнитного излучения (фотонов) в постоянном однородном гравитационном поле. Исследование выполним в плоском пространстве-времени, носящем название пространства Минковского. Интервал в инерциальной системе отсчета имеет вид [6]

$$\begin{aligned} ds^2 &= c^2 d\tau^2 - dX^2 - dY^2 - dZ^2 = \\ &= g_{00}\left(dX^0\right)^2 - g_{11}\left(dX^1\right)^2 - g_{22}\left(dX^2\right)^2 - g_{33}\left(dX^3\right)^2, \end{aligned} \qquad (1)$$

где $X = X^1, Y = X^2, Z = X^3$ – декартовы координаты;

c – скорость света в вакууме;

$d\tau$ – интервал истинного времени между событиями, так что $cd\tau = X^0$, $g_{00} = 1, g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1$ – компоненты метрического тензора, сигнатура которого $(+,-,-,-)$.

Из (1) следует:

$$d\tau = \frac{1}{c}\sqrt{g_{00}}dX^0. \tag{2}$$

В гравитационном поле $g_{00} < 1$. Поэтому истинное (или собственное) время течет тем медленнее, чем меньше g_{00} в данной точке пространства ($\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ уменьшается; τ_2 в поле меньше, чем τ_2 вне поля). Часы в гравитационном поле отстают.

Компонента метрического тензора g_{00} в гравитационном поле уменьшается [6]:

$$g_{00} = \left(1 + \frac{\varphi_g}{c^2}\right)^2 \text{ или } \sqrt{g_{00}} = 1 + \frac{\varphi_g}{c^2}, \tag{3}$$

где φ_g – гравитационный потенциал поля, отрицательная величина, так что ускорение $\dot{\boldsymbol{V}} = -\mathrm{grad}\varphi_g$.

Для дальнейшего анализа мы используем концепцию эйконала. Эйконал – это фаза периодической функции, описывающей поле электромагнитной волны:

$$\phi = \boldsymbol{kq} - \delta\tau, \tag{4}$$

где $\boldsymbol{k}$ – волновой вектор эйконала;

$\boldsymbol{q}$ – координатный вектор эйконала (не обязательно декартовы координаты);

δ – циклическая частота эйконала.

Учитывая (2) и (4), можно найти частоту эйконала (частоту фотона в данной точке в истинном времени):

$$\delta = -\frac{\partial\phi}{\partial\tau} = -\frac{\partial\phi}{\partial X^0}\frac{\partial X^0}{\partial\tau} = -\frac{c}{\sqrt{g_{00}}}\frac{\partial\phi}{\partial X^0} \tag{5}$$

Если использовать мировое время t (вне гравитационного поля), так что $t = \frac{X^0}{c}$, то циклическая частота фотона, измеренная в мировом времени, равна $\delta_0 = -\frac{\partial\phi}{\partial t} = -c\frac{\partial\phi}{\partial X^0}$. Следовательно, согласно (5) с учетом (3) имеем:

$$\delta = \frac{\delta_0}{\sqrt{g_{00}}} = \frac{\delta_0}{1 + \frac{\varphi_g}{c^2}} \tag{6}$$

где δ_0 – частота фотона при отсутствии гравитационного поля.

Таким образом, частота фотона зависит от величины потенциала гравитационного поля. Так как потенциал гравитационного поля – величина отрицательная, то при приближении к телам, создающим поле, частота фотона δ растет, а при удалении – падает (красное смещение). Например, для тела массой M потенциал поля зависит от радиуса r по формуле $\varphi_g = -k\dfrac{M}{r}$, где $k = 6.67 \cdot 10^{-8}\ \dfrac{см^3}{г \cdot с}$ – гравитационная постоянная.

Если концепцию эйконала распространить на гравитационное поле, то соотношение (6) должно быть справедливо и для гравитационных волн.

Волновой вектор эйконала (или волновой вектор фотона) $\boldsymbol{k} = \dfrac{\partial\phi}{\partial\boldsymbol{q}}$, а 4-импульс в декартовых координатах равен $k_i = -\dfrac{\partial\phi}{\partial X_i}$. Но для 4-импульса справедлива формула $k_i k^i = k^0 k^0 - \boldsymbol{kk} = 0$. Следовательно, $\dfrac{\partial\phi}{\partial X_i}\dfrac{\partial\phi}{\partial X^i} = 0$ – т.н. уравнение эйконала.

Заметим, что эйконал – квантуемая величина. Квант эйконала равен:

$$S_0 = \hbar \tag{7}$$

где $\hbar$ – приведенная постоянная Планка.

2. Уравнение Эйнштейна для гравитационного поля

Гравитационное поле описывается уравнением Эйнштейна. Для записи уравнения Эйнштейна необходимо прежде всего математически описать кривизну пространства-времени. Для описания математической кривизны пространства-времени используется тензор кривизны (тензор Римана) [6]:

$$R_{iklm} = \left(\frac{\partial\Gamma^i_{km}}{\partial X^l} - \frac{\partial\Gamma^i_{kl}}{\partial X^m}\right) + \left(\Gamma^i_{nl}\Gamma^n_{km} - \Gamma^i_{nm}\Gamma^n_{kl}\right), \tag{8}$$

где Γ^i_{kl} – проекция производной от орта $\boldsymbol{e}_k$ по координате X^l на координатную ось X^i – символ Кристоффеля $\Gamma^i_{kl} e_i = \dfrac{\partial e_k}{\partial X^l}$. Символы Кристоффеля – это функции координат, выражающие изменение компонент вектора при его параллельном переносе.

Все индексы, нижние (ковариантные, обычно функциональные величины) и верхние (контравариантные, обычно координатные величины), принимают значения 0 (временной индекс), 1, 2, 3 (координатные индексы). Как обычно, суммирование ведется по повторяющимся в произведениях индексам.

Символы Кристоффеля можно выразить через метрический тензор по формуле $\Gamma^i_{kl} = \dfrac{1}{2} g^{im}\left(\dfrac{\partial g_{mk}}{\partial X^l} + \dfrac{\partial g_{ml}}{\partial X^k} - \dfrac{\partial g_{kl}}{\partial X^m}\right)$ [6]. Таким образом, тензор кривизны пространства-времени (8) определяется скоростью и быстротой изменения метрического тензора g_{ik} в пространстве-времени. В общем случае имеется 10 компонент метрического тензора – 4 с одинаковыми индексами (00, 11, 22, 33) и 6 с разными (01, 02, 03, 12, 13, 23, $C_4^2 = \frac{4 \cdot 3}{1 \cdot 2} = 6$).

Тензор кривизны – тензор четвертого ранга. Физическая кривизна пространства-времени может описываться только тензором второго ранга, т. к. тензор энергии-импульса, создающий эту кривизну, является тензором второго ранга. Поэтому перейдем с помощью операции свертывания в (7) к тензору второго ранга (тензору Риччи):

$$R_{ik} = g^{lm} R_{limk} = \left(\frac{\partial \Gamma^l_{ik}}{\partial X^l} - \frac{\partial \Gamma^l_{il}}{\partial X^k} \right) + \left(\Gamma^l_{ik} \Gamma^m_{lm} - \Gamma^m_{il} \Gamma^l_{km} \right). \tag{9}$$

Тензор Риччи симметричен: $R_{ik} = R_{ki}$.

Далее введем скалярную кривизну пространства-времени по формуле

$$R = g^{ik} R_{ik}, \tag{10}$$

где g^{ik} – контравариантный метрический тензор.

Используя тензор Риччи (9), скалярную кривизну пространства-времени (10), а также метрический тензор g_{ik}, Эйнштейн записал основное уравнение для гравитационного поля:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi k}{c^4} T_{ik}. \tag{11}$$

Левая часть этого уравнения называется тензором Эйнштейна $E_{ik} = R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R$ и характеризует геометрические свойства пространства-времени, в частности его кривизну. Правая часть уравнения включает в себя тензор энергии-импульса второго ранга, характеризующий источник, создающий кривизну пространства-времени:

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} T_{00} & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{20} & T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{30} & T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix}. \tag{12}$$

Уравнение Эйнштейна (11) можно записать в другом виде. Умножим уравнение (11) слева на контравариантный метрический тензор g^{ik}:

$$g^{ik} R_{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} g_{ik} R = \frac{8\pi k}{c^4} g^{ik} T_{ik}. \tag{13}$$

Учитывая $R = g^{ik} R_{ik}$ и $g^{ik} g_{ik} = 4$ (в четырехмерном пространстве-времени), найдем:

$$-R=\frac{8\pi k}{c^4}\mathrm{Sp}T_{ik}=\frac{8\pi k}{c^4}T\,, \tag{14}$$

где обозначено $\mathrm{Sp}T_{ik}=T$.

Подставив (14) в уравнение Эйнштейна (11), найдем:

$$R_{ik}=\frac{8\pi k}{c^4}\left(T_{ik}-\frac{1}{2}g_{ik}T\right). \tag{15}$$

За пределами тела, создающего гравитационное поле, тензор энергии-импульса равен нулю $T_{ik}=T=0$. В этом случае согласно (15) $R_{ik}=0$.

Нулевая величина тензора Риччи не означает, что отсутствует кривизна пространства-времени. Кривизна пространства-времени, которая характеризуется тензором Римана (7), сохраняется вдали от тел, создающих эту кривизну.

3. Действие системы гравитационное поле – частица

Квантование гравитационных волн проведем путем квантования объемной плотности действия в пространстве обобщенных координат:

$$s=\int l\sqrt{-g}dt=\int(T-U)\sqrt{-g}dt=\int T\sqrt{-g}dt-\int U\sqrt{-g}dt, \tag{16}$$

где $l=T-U$ – суммарный лагранжиан гравитационного поля, частицы и их взаимодействия [9];

$\sqrt{-g}$ – величина, определяющая зависимость нормировочного элемента объема от кривизны пространства-времени, g – определитель метрического тензора.

Рассмотрим лагранжиан l системы гравитационное поле – частица. Он имеет вид

$$l=T-U=(\rho-\rho_0)c^2-(\rho\phi_g-l_g), \tag{17}$$

где $T=(\rho-\rho_0)c^2$ – объемная плотность кинетической энергии частицы в гравитационном поле;

$U=(\rho\varphi_g-l_g)$ – объемная плотность потенциальной энергии частицы в поле (энергии взаимодействия частицы и поля), включающая лагранжиан самого поля [6]:

$$l_g=\frac{c^4}{16\pi k}R, \tag{18}$$

где R – скалярная кривизна пространства-времени;

ρ – плотность частицы в поле;

ρ_0 – плотность массы покоя частицы;

φ_g – гравитационный потенциал поля.

Лагранжиан подчиняется уравнению Лагранжа, которое имеет вид

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial l}{\partial \dot{\boldsymbol{q}}}\right)=\frac{\partial l}{\partial \boldsymbol{q}}. \qquad (19)$$

Для обобщенной скорости используем величину

$$\dot{\boldsymbol{q}}=\sqrt{2T} \qquad (20)$$

В этом случае выполняется известная формула для объемной плотности энергии:

$$w=\dot{\boldsymbol{q}}\frac{\partial l}{\partial \dot{\boldsymbol{q}}}-l=\sqrt{2T}\frac{\partial l}{\partial \sqrt{2T}}-T+U=\sqrt{T}\frac{\partial l}{\partial T}\frac{\partial T}{\partial \sqrt{T}}-T+U=T+U \qquad (21)$$

вследствие $\frac{\partial l}{\partial T}=1$.

Из формул (17) и (20) следует, что объемные плотности кинетической и потенциальной энергии частицы в гравитационном поле равны

$$T=\frac{\dot{\boldsymbol{q}}^2}{2}=(\rho-\rho_0)c^2,\ U=\rho\varphi_g-l_g. \qquad (22)$$

Таким образом, обе составляющие объемной плотности действия зависят плотности тела, которое создает кривизну пространства-времени. Поэтому квантованию в уравнении Эйнштейна (11) должна подлежать только правая часть уравнения, зависящая от массы, создающей гравитационное поле. Время – неквантуемая величина. По-видимому, неквантуемыми являются все параметры пространства-времени (скалярная кривизна, метрический тензор, тензор Риччи и т. д.). Квантованию может подлежать только тензор энергии-импульса.

При небольших скоростях V движения тел $T=\rho c^2\left(1-\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}\right)\approx\frac{\rho V^2}{2}$.

Принимая в качестве обобщенной координаты $\boldsymbol{q}$ пространственную координату, получаем в левой части уравнения (19):

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial l}{\partial \dot{\boldsymbol{q}}}\right)\approx\rho\boldsymbol{a}, \qquad (23)$$

где $\boldsymbol{a}$ – ускорение движения частицы плотностью ρ.

Правая часть уравнения (19) в соответствии с (22) и $l=T-U$ преобразуется к виду

$$\frac{\partial l}{\partial \boldsymbol{q}}=-\frac{\partial(\rho\varphi_g)}{\partial \boldsymbol{q}}+\frac{\partial l_g}{\partial \boldsymbol{q}}=\boldsymbol{f}+\frac{\partial l_g}{\partial \boldsymbol{q}} \qquad (24)$$

где $\boldsymbol{f}=-\frac{\partial(\rho\varphi_g)}{\partial \boldsymbol{q}}$ – объемная плотность гравитационной силы, действующей на частицу плотностью ρ со стороны других тел.

При использовании (18) находим, что величина

$$\boldsymbol{f}_g = \frac{\partial l_g}{\partial \boldsymbol{q}} = \frac{c^4}{16\pi k} \frac{\partial R}{\partial \boldsymbol{q}} \tag{25}$$

представляет собой объемную плотность силы, действующей на частицу за счет римановой кривизны пространства-времени R.

Несколько замечаний о гравитационном вакууме. Аналогично предположению об электромагнитном вакууме можно сделать предположение о существовании гравитационного вакуума.

В этом случае уравнение Эйнштейна (11) изменится [10]:

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R = \frac{8\pi k}{c^4} T_{ik} - g_{ik}\Lambda, \tag{26}$$

где Λ – космологическая постоянная.

Предположим, что массовые тела, создающие гравитационное поле в пространстве, отсутствуют: $T_{ik} = 0$ – гравитационный вакуум.

Умножим уравнение (26) слева на контравариантный метрический тензор g^{ik}:

$$g^{ik} R_{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} g_{ik} R = -g^{ik} g_{ik}\Lambda. \tag{27}$$

Учитывая $R = g^{ik} R_{ik}$ и $g^{ik} g_{ik} = 4$, найдем:

$$R_\Lambda = 4\Lambda. \tag{28}$$

Индекс в (28) означает, что величина полученной скалярной кривизны пространства-времени определяется только космологической постоянной Λ.

Таким образом, гравитационный вакуум создает принципиально неустранимую постоянную (в случае постоянства Λ) кривизну пространства-времени, которая по оценкам равна $R_\Lambda = 4 \cdot 10^{-55}\, см^{-2}$ [10]. Вакуумная кривизна пространства-времени вследствие $\frac{\partial R_\Lambda}{\partial \boldsymbol{q}} = 0$ согласно (25) не создает сил, действующих на массовые частицы.

4. Энергия гравитона и квантовый гравитационный эйконал

Квант гравитационного поля – гравитон, как квантовый эффект гравитационного излучения, может распространяться вдали от массивных тел. Он создает искривление риманова пространства-времени. Поэтому гравитон обладает массой. Масса гравитона равна

$$m = \frac{E}{c^2}, \tag{29}$$

где E – энергия гравитона;
c – скорость света.

След T тензора энергии-импульса в уравнении Эйнштейна связан со скалярной кривизной пространства-времени R соотношением (14).

Если гравитон распространяется в направлении оси X_1, то диагональные компоненты волновых пульсаций метрического тензора вследствие поперечности гравитационных волн следующие: $h_{11}=0$, $h_{22}=-h_{33}$ [10]. Такое же соотношение компонент должно быть и в тензоре энергии-импульса гравитона (12). Поэтому след тензора энергии-импульса гравитона равен

$$T=T_{00}=\frac{m}{\mathrm{V}}c^2=\frac{E}{\mathrm{V}}, \tag{30}$$

где V – нормировочный объем.

В соответствии с (14) скалярная кривизна пространства равна

$$R=-\frac{8\pi k}{c^4}\frac{E}{\mathrm{V}}. \tag{31}$$

Действие гравитационного поля равно [6]

$$S=\int l_g\sqrt{-g}d\Omega=\int l_g\sqrt{-g}d\mathrm{V}d\left(ct\right), \tag{32}$$

где $d\Omega=d\mathrm{V}d(ct)$ – элемент пространственно-временного объема.

Величину $\sqrt{-g}$ ввиду ее малого значения за счет гравитона полагаем равной единице. При использовании пространственно-временного объема в виде $d\Omega=d\mathrm{V}d(ct)$ лагранжиан гравитационного поля в отличие от (18) нужно брать в виде $l_g=\dfrac{c^3}{16\pi k}R$.

Подставляя эту форму лагранжиана в (32) и предполагая примерное постоянство скалярной кривизны в области гравитона, найдем:

$$S=\int l_g d\mathrm{V}d\left(ct\right)=\frac{c^4}{16\pi k}\mathrm{V}Rt+C, \tag{33}$$

где C – постоянная интегрирования, которая может зависеть от X_1.

Подставляя (31) в (33), имеем:

$$S=-\frac{1}{2}Et+C. \tag{34}$$

Далее аналогично электромагнитному полю, см. (7), введем в рассмотрение понятие кванта гравитационного эйконала $S=\hbar\phi$, где $\hbar$ – приведенная постоянная Планка, $\phi=rX_1-\omega t$ – его фаза, r – волновое число гравитона, ω – его собственная частота. Предполагаем функцию кванта гравитационного эйконала $S(X_1,t)$ достаточно близкой к линейной в слабом гравитационном поле [6, 11]. Отметим эквивалентность кванта гравитационного эйконала и действия системы гравитационное поле – частица. Обе величины подчиняются принципу минимума (принципу Мопертюи для действия или Ферма для эйконала) [6].

Приравнивая квант гравитационного эйконала и действие, находим:

$$S = \hbar \quad \hbar \quad t) = -\frac{1}{2}Et + C. \tag{35}$$

Из формулы (35) следует, что энергия гравитона равна

$$E = 2\hbar \tag{36}$$

а величина $C = 2\hbar r X_1$. Спин гравитона равен $\pm 2\hbar$.

Энергия релятивистской массовой частицы равна $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$. Поэтому формула (36) позволяет предположить, что в отличие от обычной частицы масса покоя гравитона равна нулю $m_0 = 0$, а импульс гравитона равен $p = \frac{E}{c} = \frac{2\hbar\omega}{c} = 2\hbar r$. Одно из отличий гравитона от фотона заключается в том, что масса фотона всегда равна нулю, а масса гравитона равна нулю только в покое. Однако, как и фотон, гравитон не может находиться в состоянии покоя.

Подставляя (36) в (29), находим $m = \frac{E}{c^2} = \frac{2\hbar\omega}{c^2}$, т. е. масса гравитона пропорциональна его частоте. Если для гравитона, по аналогии с фотоном, справедливо правило «красного смещения», то при удалении от массивных тел его частота, а следовательно, и масса должны уменьшаться вплоть до исчезновения гравитона (гравитонная темнота[1]). При приближении к массивным телам частота гравитона и его масса должны увеличиваться.

Если принять, например, частоту фонового теплового гравитационного излучения $\omega = 1.26 \cdot 10^{12} c^{-1}$ [10], то энергия гравитона равна $E = 2\hbar\omega = 2.66 \cdot 10^{-15}$ *эрг* $= 0.00166$ *эВ*.

Масса гравитона (29) фонового теплового гравитационного излучения $m = 2.96 \cdot 10^{-26}$ *г*.

Распространение гравитона происходит в направлении нормали к поверхности постоянного эйконала. При этом средний радиус кривизны поверхности постоянного эйконала (кривизны риманова пространства) в данном приближении (слабое гравитационное поле) много больше длины волны гравитона $\lambda = \frac{2\pi c}{\omega}$ [11].

5. Квантовая форма тензора энергии-импульса

Рассмотрим тензор энергии-импульса (12) более подробно. Считается, что в этот тензор как составляющий входит тензор напряжений:

$$\sigma_{ik} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_X & \tau_{XY} & \tau_{XZ} \\ \tau_{YX} & \sigma_Y & \tau_{YZ} \\ \tau_{ZX} & \tau_{ZY} & \sigma_Z \end{pmatrix}, \tag{37}$$

[1] Возможно, что во Вселенной имеются живые существа, видящие с помощью гравитонов, также как земные существа видят с помощью фотонов.

где T_{11}, T_{22}, T_{33} – нормальные напряжения, остальные компоненты $\sigma_{ik} = T_{ik}$ для $i \neq k$ – тангенциальные напряжения.

Компонента $T_{00} = \rho c^2$ – объемная плотность энергии массовой частицы или гравитона; T_{10}, T_{20}, T_{30} – компоненты плотности импульса, умноженные на скорость света *c*; T_{01}, T_{02}, T_{03} – компоненты плотности потока энергии, деленные на *c*.

В основу дальнейших исследований положим предположение об отсутствии возникновения напряженного состояния пустого пространства вследствие его кривизны.

В [12, 13] показано, что в жидкости или газе есть неопределенность в знаке тангенциальных напряжений. Более того, тензор напряжений только приближенно описывает напряженное состояние жидкости или газа. В жидкости или газе тензор напряжений отсутствует. Для расчета потоков жидкости или газа необходимо использовать векторную формулу, связывающую силу $d\boldsymbol{F}$ и скорость жидкости $\boldsymbol{V}$ [12, 13]:

$$d\boldsymbol{F} = \vec{\eta}\, d\boldsymbol{S} \times \mathrm{rot}\boldsymbol{V}, \tag{38}$$

где $d\boldsymbol{S}$ – площадь соприкасающихся слоев в потоке;

$\vec{\eta}$ – тензор вязкости второго ранга, диагональные компоненты которого являются молекулярной вязкостью, а недиагональные компоненты – турбулентной вязкостью.

В потоке жидкости или газа, например в направлении оси *X*, направление векторов в формуле (38) показано на рис. 1.

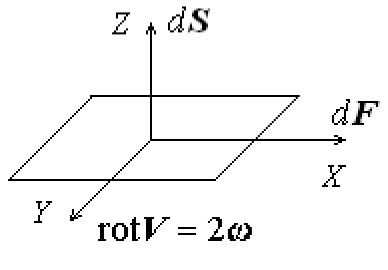

Рис. 1. Направление векторов в формуле (38)

Для наших целей в формуле (38) будем использовать циклическую частоту вращения среды $\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2}\mathrm{rot}\boldsymbol{V}$ [14], следовательно, формулу можно записать в виде

$$d\boldsymbol{F} = 2\vec{\eta}\, d\boldsymbol{S} \times \boldsymbol{\omega}. \tag{39}$$

Скалярный вариант формулы (39) имеет вид

$$\begin{aligned} dF_X\boldsymbol{i} + dF_Y\boldsymbol{j} + dF_Z\boldsymbol{k} = 2\eta\{(dS_Y\omega_Z - dS_Z\omega_Y)\boldsymbol{i} + (dS_Z\omega_X - dS_X\omega_Z)\boldsymbol{j} + \\ + (dS_X\omega_Y - dS_Y\omega_X)\boldsymbol{k}\} \end{aligned} \tag{40}$$

где $\boldsymbol{i}, \boldsymbol{j}, \boldsymbol{k}$ – орты координат 3-мерного пространства.

Предполагая пространство гомогенным, используем скалярный вариант тензора вязкости η.

При использовании формулы (38) неопределенность в знаке тангенциальных напряжений и некоторые другие проблемы, связанные с тензором напряжений [12], на которых мы не будем останавливаться, исчезают.

Запишем тензор энергии-импульса (12) в виде

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & \dfrac{dF_1}{dS_1} & \dfrac{dF_2}{dS_1} & \dfrac{dF_3}{dS_1} \\ T_{20} & \dfrac{dF_1}{dS_2} & \dfrac{dF_2}{dS_2} & \dfrac{dF_3}{dS_2} \\ T_{30} & \dfrac{dF_1}{dS_3} & \dfrac{dF_2}{dS_3} & \dfrac{dF_3}{dS_3} \end{pmatrix}, \qquad (41)$$

где проведено цифровое переобозначение индексов.

Учитывая (40), найдем:

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & \dfrac{2\eta(dS_2\omega_3 - dS_3\omega_2)}{dS_1} & \dfrac{2\eta(dS_3\omega_1 - dS_1\omega_3)}{dS_1} & \dfrac{2\eta(dS_1\omega_2 - dS_2\omega_1)}{dS_1} \\ T_{20} & \dfrac{2\eta(dS_2\omega_3 - dS_3\omega_2)}{dS_2} & \dfrac{2\eta(dS_3\omega_1 - dS_1\omega_3)}{dS_2} & \dfrac{2\eta(dS_1\omega_2 - dS_2\omega_1)}{dS_2} \\ T_{30} & \dfrac{2\eta(dS_2\omega_3 - dS_3\omega_2)}{dS_3} & \dfrac{2\eta(dS_3\omega_1 - dS_1\omega_3)}{dS_3} & \dfrac{2\eta(dS_1\omega_2 - dS_2\omega_1)}{dS_3} \end{pmatrix}. \qquad (42)$$

Тензор (42) – это тензор энергии-импульса в искривленном пространстве-времени. Для квантования тензора энергии-импульса прежде всего величину η выразим через планковские величины: планковскую длину $\left(\dfrac{\hbar k}{c^3}\right)^{\frac{1}{2}}$, планковское время $\left(\dfrac{\hbar k}{c^5}\right)^{\frac{1}{2}}$ и планковскую массу $\left(\dfrac{\hbar c}{k}\right)^{\frac{1}{2}}$. Вместо величины η будем использовать планковскую величину $\eta = \dfrac{\hbar}{\mathrm{V}}$, где V – нормировочный объем. Кроме того, нет причин предполагать площади в (42) различными, поэтому принимаем $dS_1 = dS_2 = dS_3$. В этом случае тензор (42) преобразуется к виду

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & \dfrac{2\hbar(\omega_3 - \omega_2)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_1 - \omega_3)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_2 - \omega_1)}{\mathrm{V}} \\ T_{20} & \dfrac{2\hbar(\omega_3 - \omega_2)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_1 - \omega_3)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_2 - \omega_1)}{\mathrm{V}} \\ T_{30} & \dfrac{2\hbar(\omega_3 - \omega_2)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_1 - \omega_3)}{\mathrm{V}} & \dfrac{2\hbar(\omega_2 - \omega_1)}{\mathrm{V}} \end{pmatrix}. \qquad (43)$$

Рассмотрим, например, как выглядит тензор энергии-импульса при распространении гравитационного излучения в направлении оси X_1. Гравитационные волны – поперечные, следовательно, вектор циклической частоты направлен вдоль оси X_1. В этом случае формула (43) принимает вид

$$T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & 0 & \frac{2\hbar\omega_1}{V} & -\frac{2\hbar\omega_1}{V} \\ T_{20} & 0 & \frac{2\hbar\omega_1}{V} & -\frac{2\hbar\omega_1}{V} \\ T_{30} & 0 & \frac{2\hbar\omega_1}{V} & -\frac{2\hbar\omega_1}{V} \end{pmatrix}. \tag{44}$$

Несимметричность тензора энергии-импульса T_{ik} связана с принципиальным отказом от использования симметричного тензора напряжений [12, 13].

В тензор энергии-импульса входят компоненты $\pm\frac{2\hbar\omega_1}{V} = \pm\varepsilon$, которые характеризуют объемную плотность энергии кванта гравитационного излучения, т. е. гравитон. Два знака спина отражают два направления поляризации: плюс – вектор циклической частоты ω_1 направлен вдоль направления распространения гравитона, минус – против направления распространения гравитона.

Несмотря на то, что мы ввели энергию гравитона в тензор энергии-импульса, это не означает, что тензор стал носить квантовый характер. Далее необходимо учесть идеи квантовой механики в матричной форме и добавить, по крайней мере, к тензорным компонентам с гравитационной энергией сомножитель $\exp\left(\frac{i}{\hbar}S\right) = \exp i(rX_1 - \omega_1 t)$ [15], где $S = \hbar\phi$ – квант гравитационного эйконала (35), $\phi = rX_1 - \omega_1 t$ – его фаза. Предполагаем функцию кванта гравитационного эйконала $S(X_1, t)$ достаточно близкой к линейной в слабом гравитационном поле.

В матричной форме квантовой механики ω_1 называется спектральной частотой и характеризует переход системы из одного квантового состояния в другое. Коэффициент $\exp\left(\frac{i}{\hbar}S\right)$ характеризует переход кванта гравитационного поля (гравитона) по квантовым состояниям в пространстве-времени. Заметим, что обычно при записи матриц в матричной форме квантовой механики экспоненциальные коэффициенты при компонентах матриц опускают [15]. Таким образом, тензор энергии-импульса получается в виде:

$$
T_{ik} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & 0 & \varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) & -\varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) \\ T_{20} & 0 & \varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) & -\varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) \\ T_{30} & 0 & \varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) & -\varepsilon \exp\left(\frac{i}{\hbar} S\right) \end{pmatrix} =
$$

$$
= \begin{pmatrix} \rho c^2 & T_{01} & T_{02} & T_{03} \\ T_{10} & 0 & \frac{2\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) & -\frac{\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) \\ T_{20} & 0 & \frac{2\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) & -\frac{2\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) \\ T_{30} & 0 & \frac{2\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) & -\frac{\hbar}{V} \exp i\left(rX_1 - \omega_1 t\right) \end{pmatrix}. \tag{45}
$$

Тензор энергии- импульса (45) носит квантовый характер.

6. Уравнение гравитона

Для нахождения уравнения гравитона подставим тензор энергии-импульса (45) в уравнение Эйнштейна в форме (15). Шпур тензора энергии-импульса (45) имеет вид $T = \rho_g c^2$, где ρ_g – массовая плотность гравитона. Следовательно, уравнение (15) – уравнение гравитона – приобретает вид:

$$
R_{ik} = \frac{8\pi k}{c^4}\left(T_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} \rho_g c^2\right). \tag{46}
$$

Рассмотрим уравнение гравитона в почти плоском пространстве при отсутствии массовой компоненты в тензоре энергии импульса (45), т. е. при $T = \rho_g c^2 = 0$. Это связано с тем, что гравитоны практически не искривляют пространство-время. Предположение $T = \rho_g c^2 = 0$ является приближением. Гравитационное излучение, которое представляет собой совокупность гравитонов, обладает массой и энергией.

Учитывая сказанное, используем уравнение для волновых пульсаций метрического тензора h_{ik} в виде [6]

$$
\frac{\partial^2 h_{ik}}{\partial X_\alpha \partial X_\alpha} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 h_{ik}}{\partial t^2} = \frac{16\pi k}{c^4} T_{ik}. \tag{47}
$$

Гравитационное излучение – поперечное, поэтому все компоненты тензора h_{ik} в уравнении (47) с индексами 1 при распространении гравитона в направлении X_1 исчезают. В тензоре h_{ik} остаются только компоненты h_{23} и $h_{22} = -h_{33}$ [10]. Заметим также, что в тензоре энергии-импульса (45) существует аналогичное соотношение, компоненты $T_{22} = -T_{33}$.

Для компоненты h_{23} волновое уравнение (47) приобретает вид

$$\frac{\partial^2 h_{23}}{\partial X_1^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 h_{23}}{\partial t^2} = -\frac{16\pi k}{c^4}\frac{2\hbar\omega}{\mathrm{V}}\exp i(rX_1 - \omega t). \tag{48}$$

Для компоненты h_{22} знак в правой части уравнения положительный, а для компоненты h_{33} – отрицательный. Индекс 1 при частоте опускаем. Обозначив $\chi = h_{ik}\mathrm{V}$, где $ik = 22, 23, 33$, найдем:

$$\frac{\partial^2 \chi}{\partial X_1^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = \pm\frac{32\pi k\hbar\omega}{c^4}\exp i(rX_1 - \omega t). \tag{49}$$

Коэффициент перед экспонентой в правой части (49) пропорционален удвоенной скалярной кривизне пространства-времени (31) за счет присутствия гравитона $|R| = \frac{8\pi k}{c^4}\frac{E}{\mathrm{V}} = \frac{8\pi k}{c^4}\frac{2\hbar\omega}{\mathrm{V}}$. Этот коэффициент исключительно мал вследствие $\gamma = \frac{32\pi k\hbar}{c^4} = 0.87\cdot 10^{-74}\,см\cdot c$, что указывает на почти плоское пространство-время.

Будем полагать, что уравнение (49) описывает гравитационные волны и гравитон как квантовый эффект некоторой гравитационной волны, который распространяется в гравитационном поле другой излучающей гравитационные волны системы (рис. 2). Поэтому общее решение уравнения (49) будем искать в виде:

$$\chi = C_1 f_1(rX_1 - \delta t) + C_2 f_2(t)\exp irX_1, \tag{50}$$

где C_1 и C_2 – постоянные интегрирования;

$f_1(rX_1 - \delta t)$ и $f_2(t)$ – любые функции;

δ – частота гравитационной волны, связанная со скоростью ее распространения соотношением $r = \frac{\delta}{c}$. Частота δ определяется характеристиками излучающей системы (см. рис. 2 и [6]). Она не равна собственной частоте гравитона ω, который может принадлежать другой волне.

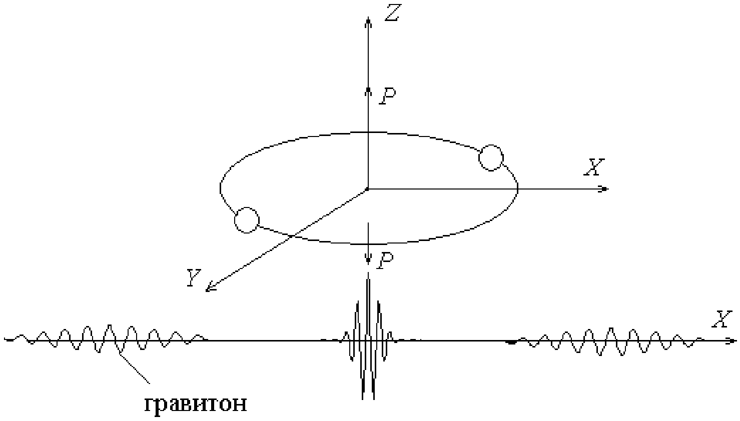

Рис. 2. Двойная звезда, излучающая гравитационные волны, и гравитон, пролетающий в поле двойной звезды

Первое слагаемое (50) описывает гравитационную волну, второе слагаемое – гравитон. Далее будем рассматривать в основном только гравитонное слагаемое.

Подставим (50) в уравнение (49), которое запишем в виде

$$\frac{\partial^2 \chi}{\partial X_1^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 \chi}{\partial t^2} = \pm\gamma\omega \exp i(rX_1 - \omega t), \tag{51}$$

где $\gamma = \dfrac{32\pi k\hbar}{c^4}$ – постоянная величина.

Первое слагаемое (50) удовлетворяет уравнению (51) без правой части. Поэтому после подстановки мы получим:

$$\frac{d^2 f_2}{dt^2} + \delta^2 f_2 \pm \frac{\gamma\omega c^2}{C_2}\exp(-i\omega t) = 0. \tag{52}$$

Частное решение уравнения (52), зависящее от собственной частоты гравитона ω, будем искать в виде

$$f_2 = A\exp(-i\omega t). \tag{53}$$

Подставляя (53) в (52), найдем амплитуду:

$$A = \pm\frac{\gamma\omega c^2}{C_2(\omega^2 - \delta^2)}. \tag{54}$$

Следовательно, согласно (50) решение уравнения (51) для гравитона имеет вид

$$\chi = \pm\frac{\gamma\omega c^2}{(\omega^2 - \delta^2)}\exp i(rX_1 - \omega t). \tag{55}$$

Учитывая обозначение $\chi = h_{ik}\mathrm{V}$, где $ik = 22, 23, 33$, а также $\gamma = \dfrac{32\pi k\hbar}{c^4}$ и (31), найдем:

$$h_{ik} = \mp\frac{32\pi k\hbar\omega e_{ik}}{c^2(\delta^2 - \omega^2)\mathrm{V}}\exp i(rX_1 - \omega t) = \pm\frac{2Rc^2 e_{ik}}{(\delta^2 - \omega^2)}\exp i(rX_1 - \omega t), \tag{56}$$

где $\boldsymbol{r}$ – волновой вектор гравитона в направлении его распространения;

e_{ik} – единичный тензор поляризации гравитона, подчиняющийся условиям [16]:

$$e_{ik} = e_{ki}, \qquad e_{ii} = 0, \qquad k_i e_{ik} = 0, \qquad e_{ik}e_{ik} = 1. \tag{57}$$

В отличие от электромагнитной волны, поляризация которой определяется вектором колебаний электрического поля, поляризация гравитона (и гравитационной волны) имеет принципиально тензорный характер. Третье условие (57) есть условие поперечности гравитонов (и гравитационных волн).

Верхний знак (55) и (56) соответствует величине h_{22}, а нижний знак – h_{23} и h_{33}. Величина h_{ik}, естественно, не зависит от нормировочного объема V.

Объемную плотность энергии системы массовая частица – гравитационное поле $w = T + U$ в соответствии с (22) можно записать в виде

$$w=(\rho-\rho_0)c^2+(\rho\varphi_g-l_g)=(\rho-\rho_0)c^2+\left(\rho k\frac{M}{r}-\frac{c^4}{16\pi k}R\right), \quad (58)$$

где $\varphi_g = k\dfrac{M}{r}$ – потенциал массы *M*, создающей гравитационное поле;

r – расстояние от массового центра.

Использован знак плюс для потенциала, чтобы удовлетворялась формула $f=-\dfrac{\partial(\rho\varphi_g)}{\partial r}$ связи между положительной гравитационной силой и потенциальной энергией.

Учитывая $R=-\dfrac{8\pi k}{c^4}T$ (14) или [6], где T – шпур тензора энергии-импульса, найдем:

$$w=(\rho-\rho_0)c^2+\left(\rho k\frac{M}{r}+\frac{T}{2}\right)=(\rho-\rho_0)c^2+\left(\rho k\frac{M}{r}+\frac{\rho_g c^2}{2}\right), \quad (59)$$

где $T=\rho_g c^2$, а величину ρ_g можно интерпретировать как массовую плотность гравитационного поля. Это может быть темная энергия космического пространства [17]. Вероятно, темная энергия гравитационного поля представляет собой всю совокупность гравитонов космического пространства.

7. Регистрация гравитона

Вид функции (56) позволяет сделать некоторые заключения. Вдали от массивного тела гравитон как квантовый эффект практически незаметен. Квантовые свойства практически не влияют на регистрацию гравитационных волн.

Однако функция (56) имеет интересную особенность. Рассмотрим ситуацию $\omega\to\delta$, т. е. приближения собственной частоты подлетающего из космического пространства гравитона к частоте гравитационной волны излучающей системы, которая определяется свойствами этой системы (см. рис. 2). Это приближение определяется формулой, аналогичной (6) для гравитона. Пульсационный компонент метрического тензора h_{ik} гравитона (который излучился иной системой) стремится к бесконечности. Наблюдается резонанс частоты гравитационной волны и собственной частоты гравитона, который находится в составе иной волны (см. рис. 2). Это явление может быть использовано для регистрации гравитонов.

Предположим, что два массивных космических тела (например, двойная звезда, см. рис. 2) вращаются вокруг общего центра масс. Эта система излучает гравитационные волны $h_{ik}=ae_{ik}\cos(rX_1-\delta t)$ с амплитудой *a* и постоянной частотой δ [6]. Если гравитон как квантовый эффект другой волны попадает в область таких космических тел, то его собственная частота ω растет согласно формуле (6) подобно частоте фотона. В соответствии с формулой (56) рост энергии гравитона происходит много быстрее $2\hbar\omega$, что указывает на резонансную перекачку энергии гравитационного поля через гравитационное излучение в гравитон. Энергия гравитона становится очень большой, и гравитон может быть зарегистрирован. Возможно, для этой цели будет необходимо установить детектор на массивное тело или вблизи него (на планету или искусственный спутник).

С помощью такого детектора можно зарегистрировать аномальный всплеск гравитации при прохождении гравитона.

При удалении от системы тел (см. рис. 2) гравитон возвращает энергию гравитационному полю системы тел, его частота падает (по типу красного смещения в гравитации). Поэтому энергия гравитационного поля массивных тел не изменяется при пролете около них гравитонов.

Заключение

На основе уравнения Эйнштейна для гравитации исследовано гравитационное излучение массивных тел. Записан лагранжиан системы гравитационное поле – массовая частица. Исследовано уравнение Эйнштейна с учетом космологической постоянной, которая определяет кривизну пространства гравитационного вакуума. Проведено квантование гравитационного поля двумя способами. В первом способе использована концепция кванта гравитационного эйконала. Найденная энергия отдельного гравитона оказалась пропорциональной его частоте, которая, в свою очередь, пропорциональна массе гравитона. Во втором способе на основе отказа от симметричного тензора напряжений в тензоре энергии-импульса уравнения Эйнштейна, замены соответствующих компонент силовыми величинами также найдена энергия гравитона. Оба способа нахождения энергии отдельного гравитона дали одинаковый результат.

Решение квантового уравнения Эйнштейна в определенном направлении показывает, что это решение представляет собой сумму двух слагаемых, первое из которых характеризует гравитационные волны, а второе – гравитон.

При приближении гравитонов к двойной звезде происходит резонансная перекачка энергии гравитационного поля системы массивных тел через гравитационное излучение этой системы в гравитоны, прилетающие извне, что увеличивает их массу и частоту. Это позволяет регистрировать гравитоны. При удалении гравитонов от двойной звезды их энергия возвращается обратно в гравитационное поле звезды. Частота гравитонов уменьшается по типу красного смещения для гравитации. Поэтому в целом гравитоны как квантовый эффект не влияют на гравитационное поле звезд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Бронштейн М.П.* Квантование гравитационных волн // ЖЭТФ. – 1936. – 6. – С. 195–236.
2. *Wheeler J.A.* Geons. Phys. Rev. 97. 1955. Pp. 511–536.
3. *Kiefer C.* Quantum Gravity. New York: Oxford Univ. Press, 2004. 308 p.
4. *Рубаков В.А., Тиняков П.Г.* Модификация гравитации на больших расстояниях и массивный гравитон // УФН. – 2008. – 178, 8. – С. 785–822.
5. *Corda C.* Interferometric Detection of Gravitational Waves: the Definitive Test for General Relativity // Int. J. of Modern Physics D. Vol. 18, No. 14. 2009. Pp. 2275–2282.
6. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. – М.: Наука, 1967. – 460 с.
7. *Калуца Т.* К проблеме единства физики // Альберт Эйнштейн и теория гравитации. – М.: Мир, 1979. – С. 529–534.
8. *Pardo K., Fishbach M., Holz D.E., Spergel D.N.* Limits on the Number Spacetime Dimensions from GW170817 // ArXiv.org 1801.08160v1, 24 Jan 2018. Pp. 1–7.
9. *Фрадкин Е.С.* Метод функции Грина в теории квантовых полей и квантовой статистике // Труды ФИАН. 29. – М.: Наука, 1965. – С. 7–138.
10. *Зельдович Я.Б., Новиков И.Л.* Теория тяготения и эволюция звезд. – М.: Наука, 1971. – 484 с.
11. *Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А.* Курс теоретической физики. Т. 2. – М.: ФИЗМАТГИЗ, 1962. – 820 с.
12. *Волобуев А.Н.* Основы несимметричной гидромеханики. – Самара: СамЛюксПринт, 2011. – 188 с.

13. *Волобуев А.Н.* Вектор и тензор напряжений Рейнольдса // Математическое моделирование. – 2011. – Т. 23. № 8. – С. 127–136.
14. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. Пер. с нем. – М.: Наука, 1974. – С. 63.
15. *Мотт Н., Снеддон И.* Волновая механика и ее применения. Пер. с англ. – М.: КомКнига, 2007. – С. 389.
16. *Peters P.C., Mathews J.* Gravitational Radiation from Point Masses in a Keplerian Orbit // Phys. Rev. 131. 1. 1963. pp. 435–440.
17. *Лукаш В.Н., Рубаков В.А.* Темная энергия: мифы и реальность // УФН. – 2008. – 178, 3. – С. 301–308.

Статья поступила в редакцию 11 июня 2020 г.

SOME FEATURES OF AN INTERACTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION QUANTUMS WITH A GRAVITATIONAL FIELD AND A PROBLEM OF GRAVITON

A.N. Volobuev[1], A.M. Shterenberg[2], P.K. Kuznetsov[3]

[1] Samara State Medical University
89, Chapaevskaya st., Samara, 443099, Russian Federation

[2] Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *The problems connected to propagation of a gravitational field are considered. The law of electromagnetic radiation frequency change in gravitational field is shown. The problem of a gravitational field quantization is investigated. Energy of a graviton is found by two ways. First, on the basis of use quantum gravitational eikonal and Lagrangian of a gravitational field the energy of a solitary graviton is found. It is shown that graviton has the mass proportional to its frequency. Second, due to refusal from symmetric stresses tensor in structure of an energy-impulse tensor the quantum form of the energy-impulse tensor in Einstein's equation is found. It has allowed found the energy of a solitary graviton. Both ways of an energy graviton finding has given the identical result. It is shown that the solution of the Einstein's equation with use of the quantum form of an energy-impulse tensor for the certain direction represents the sum of a gravitational wave and a graviton. It is found out that at approach of a graviton to the massive bodies (double stars) radiating gravitational waves there is a resonant pumping of the gravitational field energy of these bodies to the gravitons with increase in their mass and frequency. It enables registration of the gravitons with the help of the detector located near to massive bodies. The assumption is made that dark energy of a gravitational field is all set of the graviton energies of a space.*

Keywords: *electromagnetic radiation, gravitational eikonal, metric tensor, Einstein's equation, gravitational waves, energy-impulse tensor, registration of gravitons.*

REFERENCES

1. *Bronstein M.P.* Quantization of gravitational waves. ZhETF. 6.1936.S. 195–236.
2. *Wheeler J.A.* Geons. Phys. Rev. 97. 1955. Pp. 511–536.

Andrey N. Volobuev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Aleksandr M. Shterenberg (Dr. Sci. (Phys.& Math.)), Professor.
Pavel K. Kuznetsov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

3. *Kiefer C.* Quantum Gravity. New York: Oxford Univ. Press, 2004. 308 p.
4. *Rubakov V.A., Tinyakov P.G.* Modification of gravity at large distances and a massive graviton // Phys. 178, 8. 2008.S. 785–822.
5. *Corda C.* Interferometric Detection of Gravitational Waves: the Definitive Test for General Relativity // Int. J. of Modern Physics D. Vol. 18, No. 14. 2009. Pp. 2275–2282.
6. *Landau L.D., Lifshits E.M.* Field theory. Moscow: Nauka, 1967. 460 p.
7. *Kaluza T.* On the problem of the unity of physics. B Sat. Albert Einstein and the theory of gravity. M.: Mir, 1979. S. 529–534.
8. *Pardo K., Fishbach M., Holz D.E., Spergel D.N.* Limits on the Number Spacetime Dimensions from GW170817 // ArXiv.org 1801.08160v1, 24 Jan 2018. Pp. 1–7.
9. *Fradkin E.S.* Green's function method in the theory of quantum fields and quantum statistics. Proceedings of FIAN. 29. M.: Nauka, 1965. S. 7–138.
10. *Zeldovich Ya.B., Novikov I.L.* The theory of gravitation and the evolution of stars. Moscow: Nauka, 1971. 484 p.
11. *Levich V.G., Vdovin Yu.A., Myamlin V.A.* Theoretical physics course. T. 2. M.: FIZMATGIZ, 1962. 820 p.
12. *Volobuev A.N.* Fundamentals of asymmetric fluid mechanics. Samara: SamLuxPrint LLC, 2011. 188 p.
13. *Volobuev A.N.* Reynolds stress vector and tensor // Mathematical modeling. 2011. Vol. 23. No. 8. P. 127–136.
14. *Schlichting G.* Theory of the boundary layer. Per. with him. Moscow: Nauka, 1974. S. 63.
15. *Mott N.F., Sneddon I.N.* Wave mechanics and its applications. Per. from English. M.: KomKniga, 2007. S. 389.
16. *Peters P.C., Mathews J.* Gravitational Radiation from Point Masses in a Keplerian Orbit // Phys. Rev. 131.1.1963. pp. 435–440.
17. *Lukash V.N., Rubakov V.A*. Dark Energy: Myths and Reality // UFN. 178, 3. 2008. pp. 301–308.