УДК 531.5 + 539.12 (575.2) (04)

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ С НУЛЕВОЙ ПОЛНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

О.П. Жидков – канд. физ.-мат. наук, доцент

The hypothesis that gravitational potential in any point of the universe equals the square of light velocity at the same point is discussed. The equation of relativistic particles motion from variation principle is received. Impossibility of "the black holes" formation and flow velocity increase of local time are analyzed.

В работе [1] сформулирована гипотеза: средний гравитационный потенциал φ_{BC} далеких звездных систем однородной в больших масштабах Вселенной определяет квадрат скорости света c_0^2 в межзвездной среде, т.е.

$$-\varphi_{BC} = c_0^2, \tag{1}$$

и приведены доводы в пользу этой гипотезы.

Гипотеза (1) возвращает нас к принципу Маха, согласно которому естественная инерциальная система отсчета (ИСО) связана с удаленными неподвижными звездами. Любой материальный объект движется с постоянной скоростью в поле с постоянным гравитационным потенциалом, а изменение этой скорости происходит только в областях пространства, в которых гравитационный потенциал отличается от среднего. Иначе, инерцию тела, т.е. движение с постоянной скоростью, обуславливает взаимодействие с далекими гравитирующими массами.

А. Эйнштейн во время создания общей теории относительности (ОТО) пытался включить принцип Маха в идеологию относительности: "…если я удалю какую-нибудь массу на достаточно большое расстояние от всех других масс Вселенной, то инерция этой массы должна стремиться к нулю" [2]. К сожалению, это направление в развитии ОТО не было им доведено до завершения.

В настоящее время высокая степень пространственной однородности во Вселенной, а следовательно, и постоянство ее среднего гравитационного потенциала подтверждена экспериментами по измерению анизотропии реликтового излучения. Однако высокая изотропность реликтового излучения говорит еще и о том, что звездные системы наблюдаемой части Вселенной в целом не вращаются, т.е. в принципе могут претендовать на роль абсолютной инерциальной системы отсчета.

Введение единого пространства-времени, геометрия которого псевдоэвклидова, составляет главное содержание специальной теории относительности (СТО). Это первым осознал Минковский. Математическое выражение для интервала

$$ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \tag{2}$$

не следует из каких-либо общих принципов. Оно само определяет основополагающий принцип современной физики – единство пространства и времени. Соотношение (2) является инвариантом в 4-мерном псевдоэвклидовом пространстве и не зависит от выбора системы координат.

В 80-х годах XX столетия А.А. Логуновым с сотрудниками разработана релятивистская теория гравитации (РТГ), в которой на основе представления о едином пространстве-времени, геометрия которого псевдоэвклидова, сформулированы основные физические законы в инерциальных и неинерциальных системах отсчета. РТГ объясняет все имеющиеся гравитационные эксперименты [3]. Так как метрика (2) пространства-времени псевдоэвклидова, то Вселенная расширяется бесконечно и она только “плоская”. Средняя плотность материи в ней ρ_0 равна критической ρ_{KP} плотности по Фридману: $\rho_0 = \rho_{KP} = 10^{-29}$ г/см^3. А один из основных результатов РТГ есть утверждение: суммарная плотность энергии вещества и гравитационного поля во Вселенной равна нулю, что согласуется с нашей гипотезой (1).

В развитие утверждения (1) нами постулируется взаимосвязь квадрата скорости света $c^2(r,t)$ с величиной гравитационного потенциала $\varphi(r,t)$ в любой пространственно-временной точке:

$$c^2(r,t) = -\varphi(r,t). \tag{3}$$

На основе гипотезы (1) в работе [1] получены выводы о независимости от величины гравитационного потенциала следующих мировых постоянных: заряда элементарных частиц q ($q = \pm e$, где $e = 4{,}8032 \cdot 10^{-10}$ СГС); гравитационной постоянной $G = 6{,}6720 \cdot 10^{-8}$ дин·см^2/г^2; постоянной тонкой структуры $\alpha = e^2/hc$, где $\alpha = 1/137$; гравитационной массы частицы $m = \gamma m_0$, где m_0 – ее масса покоя, $\gamma = 1\Big/\sqrt{1 - v^2/c^2}$, v – скорость частицы относительно инерциальной системы, связанной с “неподвижными” звездами. Связь постоянной Планка с гравитационным потенциалом следует из определения постоянной тонкой структуры:

$$\hbar = const\Big/\sqrt{-\varphi}, \tag{4}$$

где $const = e^2/\alpha$.

Согласно теории размерностей физических величин любой пространственно-временной масштаб можно определить через комбинацию величин c, $\hbar$, G. Последние задают так называемые планковские масштабы длины l_P и времени t_P:

$$l_P = \left(\frac{\hbar G}{c^3}\right)^{1/2} \approx 1{,}6 \cdot 10^{-33} \text{ см};$$

$$t_P = l_P/c \approx 5{,}3 \cdot 10^{-44} \text{ с}.$$

При расстояниях $l \gg l_P$ и временах $t \gg t_P$ квантовыми флуктуациями гравитационного поля и связанными с ним физическими величинами пренебрегают и считают поле классическим.

Масштабная единица длины $l_P = \sqrt{\hbar G/c^3}$, с учетом равенства $\hbar = const/c$, обратно пропорциональна квадрату скорости света:

$$l_P = (const\ G)^{1/2}\big/c^2.$$

Масштабный фактор l_P^0, связанный со средним гравитационным потенциалом Вселенной, $l_P^0 = (const\ G)^{1/2}\big/c_0^2$. Если измерять все расстояния на основе l_P^0, то вблизи массы M масштабный фактор уменьшится в $\left(c_0/c(r,t)\right)^2$ раз. Следовательно все расстояния, измеренные с помощью такого эталона, возрастут в $\left(c^2(r,t)/c_0^2\right)$ раз:

$$\Delta l(r) = \Delta l_0 \left(c(r)/c_0\right)^2, \tag{5}$$

где Δl_0 – длина отрезка в межгалактическом пространстве; $\Delta l(r)$ – длина этого же отрезка на расстоянии r от звезды массой M в той же ИСО.

Временной масштабный фактор t_P^0 в соответствие с определением изменяется пропорционально $1/c_0^3$; вблизи звезды $t_P \sim 1/c^3(r,t)$, следовательно

$$dt = dt_0 \left(\frac{c_0^3}{c^3(r,t)}\right). \tag{6}$$

В общем виде законы движения как частиц, так и волновых процессов представляются через принцип наименьшего действия. В механике (ньютоновской, релятивистской, квантовой) вводится интеграл действия $S = \int_{t_1}^{t_2} L dt$, где L – функция Лагранжа. Согласно принципа наименьшего действия, частица движется по траектории, вдоль которой вариация $\delta S = 0$. Для волновых процессов траектория луча такова, что разность фаз в конце и начале пути минимальна [4]. Согласно де-Бройлю, микрочастицы обладают волновыми свойствами и фаза волны де-Бройля ψ для частицы с энергией $E = \hbar\omega$ и импульсом $\bar{p} = \hbar\bar{k}$, где $\left|\bar{k}\right| = \frac{2\pi}{\lambda}$, задается равенством: $\psi = -\frac{1}{\hbar}\left(Et - \bar{p}\bar{r}\right)$. При этом вариация

$$\delta\psi = -\delta\int \frac{1}{\hbar}\left(Edt - \bar{p}d\bar{r}\right) = -\delta\int \frac{mc}{\hbar} ds = 0, \quad (7)$$

где $ds = \sqrt{c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2}$ – дифференциал интервала четырехмерного пространства-времени Минковского.

Так как комптоновская длина волны микрочастицы $\frac{\hbar}{mc}$ в гравитационном поле изменяется много медленнее изменения фазы волны де-Бройля, то вариационный принцип (7) принимает вид:

$$\delta\psi = -\delta\int ds = 0. \quad (8)$$

Отметим, что вариация действия в механике тоже сводится к равенству $\delta S = const\,\delta\int ds = 0$.

Для квадрата интервала (2) вблизи гравитационной массы в единицах масштабных факторов межзвездного пространства-времени с учетом равенств (5) и (6) имеем:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2 = c^2 dt_0^2 \left(\frac{c_0}{c(r)}\right)^6 - dl_0^2 \left(\frac{c(r)}{c_0}\right)^4. \quad (9)$$

Изменение ньютоновского гравитационного потенциала на расстоянии r от массы M равно $-GM/r$, тогда $c^2(r) = c_0^2 + GM/r$. Подставляя это значение для $c^2(r)$ в соотношение (9), приведем его к виду:

$$ds^2 = c_0^2 dt_0^2 \left(1 + \frac{GM}{rc_0^2}\right)^{-2} - dl_0^2 \left(1 + \frac{GM}{rc_0^2}\right)^2. \quad (10)$$

Величина $\varepsilon = GM/rc_0^2 << 1$, поэтому в первом порядке по ε квадрат интервала (10) совпадает с той же величиной при движении частицы в слабом гравитационном поле ОТО [2]:

$$ds^2 = c_0^2 dt_0^2 \left(1 - \frac{2GM}{rc_0^2}\right) - dl_0^2 \left(1 + \frac{2GM}{rc_0^2}\right). \quad (11)$$

Поэтому в слабых гравитационных полях равенство (10) приводит к совпадающим с ОТО результатам при расчетах отклонения луча света при прохождении его вблизи Солнца, смещении перигелия Меркурия, смещении частоты спектральных линий.

Но есть и существенные отличия от выводов ОТО. Для метрики (10) координатная скорость света вдоль направления dl_0

$$c_{коорд} = \frac{dl_0}{dt_0} = c_0 \left[1 + \frac{GM}{rc_0^2}\right]^{-2} \quad (12)$$

никогда не равна нулю, что диаметрально противоположно предсказанию ОТО о существовании так называемых черных дыр. Согласно уравнению (11) существует гравитационный радиус $r_g = 2GM/c_0^2$, который превышает или равен радиусу объема, занимаемого массой M, за пределы которого даже свет не может выйти.

Рассмотрим, как изменяется координатная скорость света в метрике пространства-времени центрально-симметричного гравитационного поля. Эта метрика из решения уравнений Эйнштейна впервые найдена Шварцшильдом:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c^2 dt^2 - r^2\left(\sin^2\theta\, d\varphi^2 + d\theta^2\right) - \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{rc^2}}. \quad (13)$$

Метрика (1) полностью определяет гравитационное поле в пустоте, создаваемое любым центрально-симметричным распределением масс [5].

Координатную скорость света в радиальном направлении $\frac{dr}{dt}$ находят, полагая в равенстве $ds^2 = 0$, $d\varphi = d\theta = 0$.

$$\frac{dr}{dt} = \left(1 - \frac{2GM}{rc^2}\right) c, \quad (14)$$

где c в ОТО есть абсолютная константа, задающая скорость распространения электромагнитных и гравитационных волн.

Когда источник гравитационного поля находится в объеме $\frac{4}{3}\pi r^3$ с радиусом $r \le r_g$, то на сфере с радиусом $r_g = 2GM/c^2$, называемом также горизонтом событий или радиусом Шварцшильда, координатная скорость света обращается в нуль. Иначе, чтобы пройти вдоль радиуса от точки r_1 до точки r_2, свету необходимо время:

$$t = \frac{1}{c}\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{1 - \frac{2GM}{rc^2}} = \frac{1}{c}(r_2 - r_1) + $$
$$+ \frac{2GM}{c^3}\ln\left(\frac{r_2 - 2GM/c^2}{r_1 - 2GM/c^2}\right).$$

При $r_1 \to r_g$ это время стремится к бесконечности, каким бы ни был радиус $r_2 > r_1$, т.е. свет никогда выйдет за пределы сферы Шварцшильда.

Существование материи столь высокой плотности, что объем, занимаемый массой M, имеет радиус $r \le r_g$, определяет состояние, называемое черной дырой.

Вычисление времени прохождения лучом света от точки r_1 до точки r_2 ($r_2 > r_1$), согласно соотношению (10) дает:

$$t_0 = \frac{r_2 - r_1}{c_0} + \frac{2GM}{c^3}\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right).$$

Полученное время t_0 всегда положительно и не равно нулю. Поэтому в рамках гипотезы (3) черные дыры не существуют.

Этот же результат нетрудно получить из следующих рассуждений. Пусть из точки с гравитационным потенциалом φ вблизи большой массы M вылетает фотон. Работа, которую ему необходимо совершить против сил тяготения, чтобы попасть в область с гравитационным потенциалом $\varphi_0 > \varphi$ $\left(|\varphi| > |\varphi_0|\right)$, равна $A = \frac{\hbar\omega}{c^2}(\varphi_0 - \varphi)$. Согласно гипотезы (3), на поверхности тела массы M скорость света $c^2 = -\varphi$, в точке с потенциалом $-\varphi_0 = c_0^2$. Поэтому $\varphi_0 - \varphi = c^2 - c_0$. Соответственно работа A, совершаемая фотоном для перехода в точку с потенциалом φ_0, равна

$$A = \hbar\omega\frac{c^2 - c_0^2}{c^2} < \hbar\omega,$$

т.е. энергии фотону всегда достаточно для преодоления гравитационного поля любой большой массы.

Эффект красного смещения спектральных линий в ОТО подобен тому же эффекту и в случае, когда скорость света и постоянная Планка зависят от величины гравитационного потенциала. Но причины этого явления совершенно разные. Согласно ОТО, собственное время изменяется различным образом в пространственных точках с различным гравитационным потенциалом: там, где он ниже, время течет медленнее. Поэтому с позиции земного наблюдателя частоты электромагнитных колебаний на Солнце уменьшаются, происходит красное смещение атомных спектров на Солнце при регистрации их на Земле.

Изменение частоты в гравитационном поле, согласно настоящей работе, обусловлено зависимостью скорости света и постоянной Планка от величины гравитационного потенциала. В работе [1] показано, что инертная масса частицы не изменяется при движении в гравитационном поле, поэтому в гравитационном поле для фотона $\hbar\omega/c^2 = const$. Если фотон перемещается из точки с гравитационным потенциалом φ_1 (на Солнце) в точку с гравитационным потенциалом φ_2 (на Земле), то его частота уменьшается, т.к. уменьшается скорость света и возрастает значение постоянной Планка.

Согласно вариационного принципа

$$\delta\psi = -\delta\int ds,$$

релятивистское уравнение движения частицы в гравитационном поле точечной массы M с учетом равенства (10) имеет вид:

$$\delta\psi = -\delta\int\sqrt{c_0^2 dt_0^2\left(1 + \frac{GM}{rc_0^2}\right)^{-2} - dl_0^2\left(1 + \frac{GM}{rc_0^2}\right)^2} = 0. \quad (15)$$

Для слабого гравитационного поля $\frac{GM}{rc_0^2} << 1$ и нерелятивистских скоростей частицы $v = \frac{dl_0}{dt_0}$, $v << c$, из соотношения (15) в первом приближении по $\frac{GM}{rc_0^2}$ нетрудно найти:

$$\delta\psi = -\delta\int\left(\frac{m_0 v^2}{2} + G\frac{Mm_0}{r}\right)dt_0 = 0 . \qquad (16)$$

Решение вариационного уравнения (16) соответствует нерелятивистскому движению частицы массы m_0 в потенциальном поле $U(r) \approx -G\frac{Mm_0}{r}$, т.е. закону Всемирного тяготения Ньютона.

Таким образом, соотношение (15), определяющее релятивистское уравнение для движения частицы в любом гравитационном (по абсолютной величине) поле, имеет правильный классический предел, что является еще одним подтверждением справедливости этого уравнения.

В заключение сравним, как изменяется собственное время $d\tau$ вблизи объекта с гравитационным потенциалом $\varphi = -GM/r$, согласно ОТО:

$$d\tau = \left(1 - \frac{|\varphi|}{c^2}\right)dt \qquad (17)$$

и в предлагаемой статье (см. (10)):

$$d\tau = \left(1 + \frac{|\varphi|}{c^2}\right)dt . \qquad (18)$$

Отметим, что в равенстве (10) ограничений на величину гравитационного потенциала φ нет.

ОТО предсказывает замедление собственного времени в гравитационном поле вплоть до нуля на горизонте событий с радиусом $r_g \geq r$, где r – радиус объекта массы M, создающего гравитационное поле.

Равенство (18) утверждает, что изменение $d\tau$ всегда, напротив, возрастает с ростом $|\varphi|$ и равно нулю только при $dt = 0$.

К сожалению, пока не проводилось ни одного прямого эксперимента для выяснения вопроса: замедляется или ускоряется ход собственного времени в гравитационном поле с его изменением?

Литература

1. *Жидков О.П.* Гравитация и мировые постоянные // Вестник КРСУ. – 2005. – Т. 5. – №1. – С. 111.
2. *Эйнештейн А.* Собр. научн. тр. – Т. 1. – М.: Наука, 1965.
3. *Логунов. А.А.* Лекции по теории относительности и гравитации. – М.: Изд-во МГУ, 1965.
4. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. – М.: Изд-во ФМЛ, 1963.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теория поля. – М.: Наука, 1967.