Вестник ТвГУ. Серия "Физика". 2009. № 3. Выпуск 4. С. 80–83.

УДК 530.12:531.51

О ВОЗМОЖНЫХ СЦЕНАРИЯХ ЭВОЛЮЦИИ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОГО МАССИВНОГО ТЕЛА

Е.К. Петров, В.М. Самсонов

Тверской государственный университет,
кафедра теоретической физики

С учетом выражения, связывающего временную компоненту метрического тензора с гравитационным потенциалом φ, проанализированы возможные сценарии эволюции однородного шара и сферического слоя с внутренней полостью. Показано, что в полости, радиус которой отвечает условию $\varphi = -c^2$ (c – скорость света в вакууме), пространственно-временное многообразие вырождается, что согласуется с принципом относительности Лейбница.

В работе [1] был сделан вывод о том, что образование черной дыры, т.е. объекта, радиус которого R равен гравитационному радиусу

$$R_G = \frac{GM}{c^2},$$

возможно только при $t \to \infty$. Здесь t – время наблюдения, M – масса объекта, G – гравитационная постоянная, c – скорость света в вакууме. На горизонте событий сферического тела, т.е. на поверхности радиуса $r = R_G$, гравитационный потенциал φ принимает минимальное (для $r \geq R_G$) значение ($\varphi = -c^2$). При этом компонента метрического тензора $g_{00} = \left(1 + \varphi / c^2\right)^2$ становится равной нулю. Тем самым, время τ в локальной системе отсчета останавливается ($d\tau = \sqrt{g_{00}}\, dt = 0$). Соответственно, полна энергия пробной частицы [2]

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - v^2 / c^2}} \sqrt{g_{00}}\,, \tag{1}$$

также становится равной нулю, что эквивалентно исчезновению самой частицы (m_0 – масса покоя, v – скорость).

Рассмотрим далее поведение потенциала $\varphi(r)$ во внутренней области однородного шара радиуса R. Используя теорему Гаусса и соотношение $E_r = -d\varphi / dr$, связывающее проекцию напряженности гравитационного поля E_r с потенциалом, получим:

$$\varphi(r) = \frac{2}{3}\pi G\rho r^2 - 2\pi G\rho R^2, \qquad (2)$$

где ρ – плотность. Если положить $R = R_G$, то при $r = R$ формула (2) даст значение $\varphi = -c^2$, а по мере уменьшения r потенциал φ будет уменьшаться, т.е. увеличиваться по модулю (см. рис. 1). Однако значениям $\varphi < -c^2$ отвечает $\sqrt{g_{00}} = 1 + \varphi / c^2 < 0$, т.е. дает недопустимое значение корня, которому отвечали бы $E < 0$, а также разные знаки промежутков времени $d\tau$ и dt, определенные локальным и удаленным наблюдателями соответственно. Эти физически неадекватные результаты подтверждают вывод о невозможности образования черной дыры путем наращивания массы однородного сферически симметричного тела.

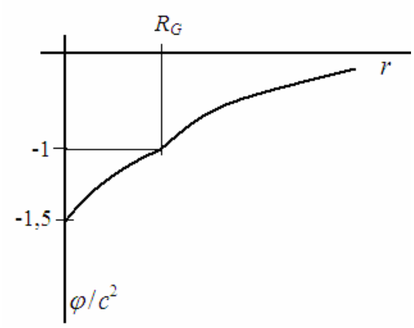

Рис. 1. Распределение потенциала в однородном шаре

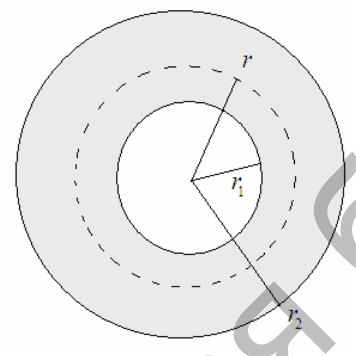

Рис. 2. К модели однородного шарового слоя с внутренней полостью

Перейдем теперь к рассмотрению другой модельной системы: однородного сферического слоя с внутренним радиусом r_1 и внешним радиусом r_2 (рис. 2.). При $r_1 \le r \le r_2$ гравитационный потенциал φ можно представить в виде

$$\varphi = \frac{2}{3}\pi G\rho\left(r^2 + \frac{2r_1^3}{r}\right) - 2\pi G\rho r_2^2, \qquad (3)$$

В центральной части объекта имеется полость радиуса r_1. В этой полости значение потенциала будет постоянным и равным $\varphi(r_1)$. Если теперь положить $\varphi(r_1) = -c^2$, то легко убедится, что при увеличении r ($r > r_1$)потенциал будет увеличиваться. Значение r_1^S, отвечающее $\varphi = c^2$, будет связано с внешним радиусом r_2 соотношением

$$r_2^2 = \frac{c^2}{2\pi G\rho} + \left(r_1^{(S)}\right)^2, \qquad (4)$$

Из последней формулы видно, что существует такое характерное (минимальное) значение r_2^{ch} внешнего радиуса r_2, которому соответствует $r_1^{(S)} = 0$, т.е. отсутствие полости или, точнее, начало ее зарождения.

Таким образом, если значению $\varphi = -c^2$ отвечает внутренний радиус r_1, то образование горизонта событий, определяемого условиями $\varphi = -c^2$, $g_{00} = 0$, $E = 0$, не приводит к каким-либо явным противоречиям и не препятствует наращиванию массы объекта M путем поглощения вещества и излучение из внешнего пространства ($r > r_2$). При $r_2 < r_2^{ch}$ возможен рост сплошного шара (без полости). Когда же внешний радиус r_2 достигает характерного значения $r_2^{(ch)} = 1{,}5RG$, то в центре сферы будет зарождаться полость. Согласно (4), рост r_2 должен сопровождаться ее ростом. Очевидно, процесс роста полости является обратимым: согласно (4), уменьшение r_2 («испарение» объекта) приведет к уменьшению $r_1^{(S)}$. Тогда внешняя область полости будет частично заполняться. Мы не будем касаться в этой работе возможных астрофизических и космологических интерпретацией рассмотренной модельной системы. Отметим лишь, что полость, радиуса $r_1^{(S)}$ будет обладать особыми свойствами: в ней теряют смысл понятия времени, расстояния и энергии. Иными словами, такая полость не может содержать материи.

В свое время И. Ньютон ввел представления об абсолютном пространстве и абсолютном времени [3], которые определяются безотносительно к наличию в пространстве материальных тел и протекающих в нем физических процессов. Теория относительности [2] внесла в эти представления важные коррективы: пространственные координаты и время образуют единое четырехмерное многообразие. Иными слова, расстояния и промежутки времени зависят от находящихся в пространстве тел, их движения и гравитационного взаимодействия.

На наш взгляд, более глубокое и смелое понимание принципа относительности было характерно для Г. Лейбница [4]. Он считал, что понятия пространства и времени не только относительны, но и лишены какого либо смысла в отсутствие материи и протекающих в ней процессов. Действительно, отсутствие материальных тел делает невозможным сравнение (измерение) их пространственных характеристик, а отсутствие явлений делает невозможным установление последовательности событий, т.е. использование понятия времени.

В развитие философских идей Г. Лейбница, можно заключить, что в полости, представленной на рис. 2, и отвечающей $r_1 = r_1^{(S)}$ понятия пространства и времени теряют смысл, т. е. пространственно-временное многообразие вырождается. Соответственно, такая полость не может рассматриваться на основе существующих представлений классической и релятивистской физики. Более того, она принципиально не обнаружима для внешнего наблюдателя ввиду непроницаемости и недостижимости поверхности радиуса $r_1 = r_1^{(S)}$ как с внутренней, так и с наружной стороны.

Список литературы

1. Самсонов В. М., Петров Е. К. // настоящее издание. С. 70-79.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. М.: Наука, 1973.
3. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.-Л., 1936. С. 30.
4. Штейнман Р. Я. Пространство и время. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. С. 20.