

Вселенная как черная дыра¹

Р.К. Патриа (Канада)

Реферат подготовил М.Х. Шульман (shulman@dol.ru, www.timeorigin21.narod.ru)

298

NATURE VOL. 240 DECEMBER 1 1972

LETTERS TO NATURE

The Universe as a Black Hole

R. K. PATHRIA

*Department of Physics, University of Waterloo,
Waterloo, Ontario*

Received June 19; revised September 20, 1972.

С тех пор, как Эйнштейн применил общую теорию относительности к изучению структуры Вселенной как целого [1], космологи стремятся понять, является ли Вселенная геометрически открытой или замкнутой. Ни теория, ни наблюдения пока не могут ответить однозначно на этот вопрос. Некоторые авторы надеются, что Вселенная в конечном счете может оказаться замкнутой, хотя и неограниченной, системой. Это решило бы много проблем относительно природы и происхождения Вселенной, и привело бы в соответствие результатам многих наблюдений удаленных источников в радио-, оптическом и других волновых диапазонах [2]. В данной публикации автор демонстрирует, что Вселенная не только может быть замкнутой структурой (как видят ее обитатели в настоящую эпоху), но и может быть черной дырой, занимающей локализованную область пространства, которая не может распространяться неограниченно.

Объект с массой M является черной дырой, если он занимает область пространства, ограниченную поверхностью с площадью $4\pi R_s^2$, где R_s - радиус Шварцшильда объекта. По определению, радиус Шварцшильда характеризуется обращением в нуль элемента g_{44} метрического тензора g_{ik} и (обычно) задается равенством величине $2GM/c^2$. Для типичной звезды R_s имеет порядок $10^5 - 10^6$ см; для Вселенной в целом R_s должен составлять порядка 10^{28} см. Поскольку линейный размер Вселенной также оценивается величиной порядка 10^{28} см, возникает вопрос: является ли она черной дырой? Чтобы изучить этот вопрос, недостаточно анализа "изнутри" - автор исходит из того, что за пределами нашей Вселенной существует внешний мир, из которого возможен непредвзятый взгляд на нашу Вселенную. Оказывается, что оба эти взгляда не только взаимно согласованы, но и приводят к сходным выводам. Ниже представлены оба эти подхода.

Для изучения структуры пространства-времени Вселенной "изнутри" рассмотрим ее как распределенную систему с однородной плотностью $\rho(t)$ и радиусом кривизны $R(t)$. Геометрия пространства-времени в сопутствующей

¹ Согласно Википедии, это одна из двух пионерских работ с гипотезой о том, что наша Вселенная может быть черной дырой. Я благодарен проф. МГУ А.С. Чиркину, оказавшему мне любезное содействие в ознакомлении с текстом статьи. (Примечание переводчика).

системе отсчета определяется метрикой Робертсона-Уолкера [3,4]. Автор использует стандартное уравнение Эйнштейна при $p \ll \rho c^2$:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = c^2 \left(\frac{1}{3} \Lambda R^2 + \frac{C}{R} - \kappa \right) \quad (2)$$

где $\kappa (= +1, 0 \text{ or } -1)$ - индекс кривизны, Λ - космологическая константа, а параметр C равен

$$C = 8\pi G(\rho R^3)/3c^2 \quad (3)$$

Сделав ряд естественных предположений, можно получить неравенства

$$\left(\frac{1}{3} \Lambda R_{\max}^2 + \frac{C}{R_{\max}} - 1 \right) = 0 \quad (7)$$

и

$$\left(\frac{2}{3} \Lambda R_{\max} - \frac{C}{R_{\max}^2} \right) < 0 \quad (8)$$

где R_{\max} - максимальная оценка для $R(t)$.

Теперь рассмотрим подход “извне”. Поскольку расширение Вселенной является изотропным, пространство-время “снаружи” будет описываться статической метрикой Шварцшильда (куда добавляется космологический член [5,7]):

$$ds^2 = \frac{dr^2}{1 - \frac{2\mu}{r} - \frac{1}{3} \Lambda r^2} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2) - \left(1 - \frac{2\mu}{r} - \frac{1}{3} \Lambda r^2 \right) c^2 dt^2 \quad (13)$$

где

$$\mu = \frac{4\pi G}{c^2} \int_0^R \rho(r) r^2 dr = \frac{4\pi G}{3c^2} (\rho R^3) \quad (14)$$

Отсюда автор получает неравенства для радиуса Шварцшильда R_s :

$$\left(-1 + \frac{C}{R_s} + \frac{1}{3} \Lambda R_s^2 \right) = 0 \quad (16)$$

и

$$\left(-\frac{C}{R_s^2} + \frac{2}{3} \Lambda R_s \right) < 0 \quad (17)$$

идентичные (при условии $\kappa = +1$) неравенствам (7) и (8).

Проделав ряд преобразований и положив постоянную Хаббла равной $H_0 = 75$ (км/с)/Мпк, а параметр замедления равным $q_0 = 1$, автор получает в конечном счете оценку R_0 для радиуса Вселенной

$$R_0 \geq 1.1 \times 10^{28} \text{ см}$$

Далее, пишет автор, мы сталкиваемся с некоторыми вопросами: каким образом Вселенная стала черной дырой – вследствие гравитационного коллапса и последующего расширения? В космосе, обладающем как внутренней, так и внешней частью, может ли такая Вселенная быть уникальной? Если нет, то каков ее статус относительно других таких структур в этом космосе? Исследование этого и других связанных с ним вопросов, включая возможность существования иерархии черных дыр, очевидно, имеет большое значение.

Что касается нашей Вселенной, понятие радиуса Шварцшильда само по себе представляется весьма важным. Его соотношение с другими элементами физической реальности должно стать предметом обсуждения следующего сообщения.

Ссылки

- ¹ Einstein, A., *Berlin Sitzungsberichte*, 142 (1917). English translation in *The Principle of Relativity* (Methuen, London, 1923).
- ² *Nature (News and Views)*, 232, 440 (1971).
- ³ Robertson, H. P., and Walker, A. G., *Pub. Astron. Soc. Pacific*, 67, 82 (1955).
- ⁴ Pathria, R. K., *The Theory of Relativity* (Hindustan Publishing Corporation, Delhi, 1963).
- ⁵ Robertson, H. P., and Noonan, T. W., *Relativity and Cosmology* (W. B. Saunders, Philadelphia, 1968).
- ⁶ Sandage, A. R., *Observatory*, 88, 91 (1968).
- ⁷ Rindler, W., *Essential Relativity* (Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1969).