

УДК 524

© Мейерович Б. Э., 2025

## О СМЫСЛЕ ГИПОТЕЗЫ ЭЙНШТЕЙНА НА ПРИМЕРЕ МЕТРИКИ ШВАРЦШИЛЬДА И СИНХРОННОЙ МЕТРИКИ

Мейерович Б. Э.<sup>a,1</sup><sup>a</sup> Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина 2, Москва, 119334, Россия.

При относительном сравнении свойств метрики Шварцшильда и синхронной метрики проявляется глубокий смысл гипотезы Эйнштейна о выборе системы координат. В отсутствии сингулярности детерминант метрического тензора и сигнатура метрики не инвариантны (могут менять знаки) при изменении системы координат. В метрике Шварцшильда с фиксированными заранее знаками компонент метрического тензора имеют место проблемы сингулярности, неполноты системы отсчёта, ограничения массы гравитирующего объекта. Если, исходя из гипотезы Эйнштейна, выбрать синхронную систему координат, то этих проблем нет. Однако, существует мнение, что (за редким исключением) в синхронной системе отсчёта материя не может быть в статическом состоянии. В данной статье показано, что в синхронной системе отсчёта материя может находиться в статическом состоянии. Но только будучи сжатой собственным гравитационным полем до ультрарелятивистского предела  $p = -\varepsilon/3$ . Отрицательное давление  $p < 0$  означает, что материя стремится к сжатию, а не к расширению. Статическое состояние предельно сжатой материи может существовать без ограничения массы независимо от внутреннего строения объекта. Более того, на примере модели " $\lambda\psi^4$ " видно, что в синхронной системе отсчёта минимальный и максимальный размеры предельно сжатой материи зависят только от полной массы объекта.

*Ключевые слова:* ультрарелятивистский предел сжатия, синхронная система координат, уравнения Эйнштейна и Клейна-Гордона.

## REAL MEANING OF THE EINSTEIN'S HYPOTHESIS IN COMPARISON OF THE SCHWARZSCHILD METRIC WITH THE SYNCHRONOUS ONE

Meierovich B. E.<sup>a,1</sup><sup>a</sup> P.L.Kapitza Institute for Physical Problems RAN, Kosygina st., 2, Moscow, 119334, Russia.

When comparing the properties of the Schwarzschild metric and the synchronous one, the deep meaning of Einstein's hypothesis on the choice of a coordinate system is revealed. In the absence of a singularity, the determinants of the metric tensor and the signature of the metric are not invariant (they can change signs) when changing the coordinate system. In the Schwarzschild coordinates the signs of the metric tensor components are pre-fixed. As a result the problems (singularity, incompleteness of the reference system, limitations on the mass of a gravitating object) appear. If, based on Einstein's hypothesis, we choose a synchronous coordinate system, then these problems do not exist. However, there is an opinion that (with rare exceptions) in a synchronous reference frame, matter cannot be in a static state. In this article I show that in the synchronous frame of reference matter can be in a static state. But only if it is compressed to the ultrarelativistic limit  $p = -\varepsilon/3$  by its own gravitational field. Negative pressure  $p < 0$  means that matter tends to compress, and not to expand. The static state of extremely compressed matter can exist with no mass limitation, and regardless of the internal structure of the object. Moreover, in a synchronous frame of reference the minimum and maximum sizes of extremely compressed matter depend only on the total mass of the object.

<sup>1</sup>E-mail: meierovich@mail.ru

**Keywords:** ultrarelativistic compression limit, synchronous coordinate system, Einstein and Klein-Gordon equations.

PACS: 04.30, 98.62

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2025.4.82-89

## Введение

В гравитационном поле статического сферически симметричного объекта, согласно решению Шварцшильда [1], на гиперповерхности  $r = r_g$  компоненты метрического тензора  $g_{00}$  и  $g_{rr}$  "меняются знаками". В решении Шварцшильда имеет место сингулярность в центре. Это обстоятельство не осталось незамеченным Эйнштейном. Вот цитата из его статьи [2]: "Если окажется, что в каком-то месте четырехмерного континуума  $\det g_{ik}$  обращается в нуль, то это означает, что в этом месте бесконечно малый "естественный" объем соответствует конечному координатному объему. Мы полагаем, что этого нигде нет. В этом случае  $\det g_{ik}$  не может изменить свой знак; мы примем, в соответствии со специальной теорией относительности, что  $\det g_{ik}$  всегда имеет конечное и отрицательное значение. Это предположение является гипотезой о физической природе рассматриваемого континуума и, в то же время, правилом, касающимся выбора системы координат" (см. [2], под уравнением (18a)). Реальный смысл гипотезы Эйнштейна заключается в том, что при отсутствии сингулярности должно быть правилом выбирать ту систему координат, в которой определитель и сигнатура метрики не меняют знаков. Из свойства инвариантности уравнений Эйнштейна вовсе не следует, что знаки компонент метрического тензора  $g_{ik}$  можно фиксировать заранее при любой системе координат. Чтобы прояснить глубокий смысл гипотезы Эйнштейна, давайте сравним статическое равновесие массивного сферически симметричного объекта (скажем, чёрной дыры) в метрике Шварцшильда и в синхронной системе отсчёта. При сильном сжатии объекта энергетически наиболее выгодным состоянием материи является конденсат бозонов Бозе-Эйнштейна. Волновой функцией конденсата бозонов является скалярное поле ([3], §26). Лагранжиан  $L$  комплексного скалярного поля  $\psi$  состоит из кинетической части и потенциальной:

$$L = g^{ik} \psi_{,i} \psi_{,k} - U(\psi^* \psi). \quad (1)$$

В потенциале  $U(|\psi|^2) = (mc/\hbar)^2 |\psi|^2 + \frac{1}{2} \lambda |\psi|^4 + \dots$  член  $(mc/\hbar)^2 |\psi|^2$  - это основной источник гравитации. Член  $\frac{1}{2} \lambda |\psi|^4$  учитывает негравитационные взаимодействия бозонов и, в частности, придаёт конденсату упругость. В модели " $\lambda \psi^4$ " коэффициент  $\lambda = const$ . Волновая функция скалярного поля удовлетворяет уравнению Клейна-Гордона

$$(-\det g_{ik})^{-1/2} ((-\det g_{ik})^{1/2} g^{lm} \psi_{,l})_{;m} = -\frac{\partial U}{\partial |\psi|^2} \psi. \quad (2)$$

Уравнение Клейна-Гордона инвариантно относительно изменения знака определителя  $\det g_{ik}$ , так как  $(-1)^{1/2}$  в числителе и знаменателе сокращаются.

## 1. В метрике Шварцшильда

На протяжении ста лет, имея в виду гипотезу Эйнштейна, метрика Шварцшильда

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k = e^{\nu(r)} (dx^0)^2 - e^{\lambda(r)} (dr)^2 - r^2 [(d\theta)^2 + (\sin\theta)^2 (d\varphi)^2] \quad (3)$$

традиционно используется для анализа свойств гравитирующих статических сферически симметричных объектов [1]. Экспонентами

$$g_{00} = e^{\nu(r)} > 0, \quad g_{rr} = -e^{\lambda(r)} < 0 \quad (4)$$

в (2.1) заранее фиксируются знаки компонент метрического тензора  $g_{ik}$ . Компонентой

$$g_{22}(r) = -r^2 \quad (5)$$

в (2.1) Шварцшильд заранее фиксирует такую систему отсчета, в которой отношение длины окружности к диаметру равно  $\pi$ , независимо от расстояния  $r$  от центра. Решение уравнения Эйнштейна (формула (100.6) в [4]) в виде

$$e^{\lambda(r)} = (\kappa/r) \int_0^r T_0^0(x) x^2 dx = 1 - \frac{2k}{c^2 r} M(r) \quad (6)$$

ограничивает полную массу  $M = M(r_h)$ . Экспонента  $e^{\lambda(r)}$  не может быть отрицательной. Поэтому полная масса

$$M \leq (c^2/2k)r_h. \quad (7)$$

Здесь  $k = 6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 / (g \times s^2)$ ,  $\kappa = 8\pi k/c^4$ . То же самое решение что и (2.4), но без экспоненты  $e^{\lambda(r)}$ :

$$g^{rr}(r) = -1 + (\kappa/r) \int_0^r T_0^0(x) x^2 dx = -1 + \frac{2k}{c^2 r} M(r), \quad (8)$$

является **регулярным** при любой полной массе  $M$ . Внутри объекта при  $r < r_h$  с удалением от центра метрическая компонента  $g^{rr}(r)$  растёт. Вне объекта при  $r > r_h$  полная масса  $M$  остаётся постоянной, и компонента  $g^{rr}(r) = -1 + (2k/c^2 r)M$  возвращается обратно к -1 при радиусе  $r$  стремящемся к бесконечности. Следовательно,  $g^{rr}(r)$  имеет максимум при  $r = r_m$ . Если в максимуме  $g^{rr}(r_h)$  масса  $M(r_h) < (c^2/2k)r_m$ , то  $g^{rr}(r)$  не меняет знак и остаётся отрицательным при любом  $r$ . Если же  $M(r_h) > (c^2/2k)r_m$ , то  $g^{rr}(r)$  дважды меняет знак:  $g^{rr}(r) = 0$  при  $r = r_g < r_m$  и при  $r = r_h > r_m$ . В сферическом слое  $r_g < r < r_h$  компонента  $g^{rr}(r) > 0$ . Радиусы  $r_g$  и  $r_h$ , на которых  $g^{rr}(r) = 0$ , называются гравитационными радиусами. При равенстве  $M(r_m) = (c^2/2k)r_m$  радиусы  $r_g = r_m = r_h$  совпадают. Применительно к решению системы уравнений Эйнштейна и Клейна-Гордона метрика Шварцшильда (2.1) оказывается неполной. Неполнота метрики Шварцшильда была замечена Крускалом [5] в 1960-ом году. Фактически почти та же самая метрика (2.1), но использованная без экспонент (2.2), а просто

$$ds^2 = g_{00}(dx^0)^2 + g_{rr}(dr)^2 - r^2[(d\theta)^2 + (\sin\theta)^2(d\varphi)^2], \quad (9)$$

оказалась полной для регулярного решения системы уравнений Эйнштейна и Клейна-Гордона [6]-[7]. Однако, если масса  $M > (c^2/2k)r_m$ , то  $\det g_{ik}$  и  $g^{rr}$  становятся положительными в сферическом слое  $r_g < r < r_h$  внутри гравитирующего объекта. В уравнении Клейна-Гордона (1.2) с метрикой (2.7)

$$g^{rr}\psi'' + [(g^{rr})' + g^{rr}(\det g_{ik})'/(2\det g_{ik})]\psi' = [(g_{00}E^2 - (mc^2)^2)/(\hbar c)^2 - \lambda|\psi|^2]\psi \quad (10)$$

коэффициент при старшей производной обращается в нуль на гравитационных радиусах  $r = r_g$  и  $r = r_h$ . Это означает, что решения уравнения Клейна-Гордона с граничными условиями при  $r = r_g$  и  $r = r_h$  существуют, но не являются единственными. В метрике (2.7) это нарушение теоремы существования и единственности происходит на гравитационных радиусах. До появления моих статей [6] и [7], якобы следуя гипотезе Эйнштейна, область пространства, в которой  $\det g_{ik} > 0$ , считали нефизической. Пограничный гравитационный радиус  $r_h$  поверхности чёрной дыры называли горизонтом событий. Приведенные в [6] и [7] решения системы уравнений Эйнштейна и Клейна-Гордона с метрикой (2.7) являются регулярными. Значит, согласно гипотезе Эйнштейна, можно (и даже нужно) найти такую метрику, в которой решения тех же самых уравнений не будут менять знаки детерминанта  $\det g_{ik}$  и метрической компоненты  $g^{rr}$ .

## 2. В синхронной системе координат

В действительности знаки  $\det g_{ik}$  и  $g^{rr}$  не инвариантны относительно изменения системы координат. В классе регулярных решений можно перейти к метрике, в которой  $\det g_{ik}$  и  $g^{rr}$  будут отрицательными. Статическое регулярное решение системы уравнений Эйнштейна и Клейна-Гордона [6-7] не зависит от времени. Внутри центральной области  $0 \leq r < r_g$  (в которой  $g^{rr} < 0$ ) метрическая компонента  $g_{00}$  оказалась константой, не зависящей от радиуса  $r$ . Поэтому было естественно проверить, что будет в синхронной системе отсчёта. То есть положить  $g_{00} = 1$ , а вместо заранее фиксированного компонента  $g_{22} = -r^2$  в (2.7) оставить просто  $g_{22}$ :

$$ds^2 = (dx^0)^2 + g_{rr}(r)(dr)^2 + g_{22}(r)[(d\theta)^2 + (\sin \theta)^2(d\varphi)^2]. \quad (11)$$

В статическом гравитационном поле в синхронной системе отсчёта компонента тензора Риччи  $R_0^0 = 0$ . Поэтому удобно работать с уравнениями Эйнштейна в виде:

$$R_i^k = \kappa(T_i^k - \frac{1}{2}\delta_i^k T), \quad \kappa = \frac{8\pi}{c^4}k. \quad (12)$$

Считается, что "материя в пространстве не может, вообще говоря, покоиться в синхронной системе отсчёта" [4], §97. Исключением является случай "пылевидной" материи, когда частицы не взаимодействуют друг с другом. Нас интересует именно этот случай, ибо в предельно сжатом состоянии гравитация доминирует над всеми другими взаимодействиями частиц. Как известно ([4], формула (94.9)), тензор энергии-импульса обычной материи часто используется в виде  $T_i^k = (p + \varepsilon)u_i u^k - p\delta_i^k$ . В состоянии покоя 4-скорость  $u_i = \delta_i^0$ . При этом  $T_0^0 - T/2 = (\varepsilon + 3p)/2$ . В синхронной метрике в статике компонента тензора Риччи  $R_0^0 = 0$ . Из уравнения Эйнштейна (3.2)  $R_0^0 = \kappa(\varepsilon + 3p)/2 = 0$  следует, что в синхронной системе отсчёта материя может находиться в статическом состоянии, но только будучи сжатой собственным гравитационным полем до ультрарелятивистского предела  $p = -\varepsilon/3$ . Обратите внимание, что давление  $p > 0$  положительно, если материя стремится к расширению. А если материя стремится к сжатию, то давление  $p < 0$  отрицательно. В синхронных координатах гравитационные радиусы  $r_g$  и  $r_h$ , так же как и в метрике Шварцшильда, выделяются тем, что в решениях системы уравнений Эйнштейна (3.2) и Клейна-Гордона (1.2) с граничными условиями на гравитационных радиусах  $r = r_g$  и  $r = r_h$  нарушается теорема существования и единственности. В отличие от метрики Шварцшильда, в синхронных координатах метрическая компонента  $g^{rr}$  не обращается в нуль при  $r = r_g$  и  $r = r_h$ . В синхронной метрике (3.1) можно использовать экспоненциальные представления  $g_{rr}(r) = -e^{2F_1(r)}$ ,  $g_{22}(r) = -e^{2F_2(r)}$ . Подстановкой  $dx = (-g_{rr}(r))^{1/2}dr$ ,  $x(r) = \int_0^r (-g_{rr}(r))^{1/2}dr$ ,  $g_{22}(x) = g_{22}(r(x))$  интервал (3.1) становится зависимым только от одной метрической компоненты  $g_{22}(x)$ :

$$ds^2 = (dx^0)^2 - (dx)^2 + g_{22}(x)[(d\theta)^2 + (\sin \theta)^2(d\varphi)^2]. \quad (13)$$

Метрическая функция  $g_{rr}(r)$  остаётся произвольной. Этот произвол означает, что статическое состояние материи, сжатой собственным гравитационным полем до ультрарелятивистского предела, может, вообще говоря, существовать независимо от внутреннего состава объекта. В координате  $x(r) = \int_0^r (-g_{rr}(r))^{1/2}dr$  чёрная дыра рассматривается как состоящая из однородного по радиусу состава "усреднённых" массивных бозонов. Волновой функцией конденсата бозонов является скалярное поле [3]. В статическом состоянии с определенной энергией  $E$  на частицу волновая функция  $\psi_E(x^0, x) = e^{i\frac{E}{\hbar c}x^0}\psi(x)$  удовлетворяет уравнению Клейна-Гордона (1.2). В синхронной метрике (3.3) это уравнение имеет вид

$$\psi'' + 2(F_2)'\psi' = [(\frac{mc}{\hbar})^2 + \lambda|\psi|^2 - (E/\hbar c)^2]\psi. \quad (14)$$

В отличие от уравнения (2.8) в метрике Шварцшильда, в уравнении (3.4) коэффициент при старшей производной (равный единице) нигде не обращается в нуль. Лагранжиан скалярного поля  $L$

(1.1) не зависит от производных  $\frac{\partial g_{ik}}{\partial x^m}$ . Тензор энергии-импульса конденсата бозонов вычисляется по формуле  $T_{ik} = -g_{ik}L + 2\frac{\partial L}{\partial g_{ik}}$ . Находим:

$$T_0^0 = [E^2 + (m^2 c^4)/(\hbar c)^2 + \lambda|\psi|^2/2]|\psi|^2 + |\psi'|^2, \quad (15)$$

$$T_1^1 = [(-E^2 + (m^2 c^4)/(\hbar c)^2 + \lambda|\psi|^2/2)|\psi|^2 - |\psi'|^2], \quad (16)$$

$$T_2^2 = T_3^3 = [-E^2 + (m^2 c^4)/(\hbar c)^2 + \lambda|\psi|^2/2]|\psi|^2 + |\psi'|^2. \quad (17)$$

Поскольку в статической синхронной метрике  $R_0^0 = 0$ , из формул (3.5)-(3.7) и уравнений Эйнштейна (3.2) следует, что

$$T_0^0 - T/2 = [(2E^2 - (m^2 c^4)/(\hbar c)^2 - \lambda|\psi|^2/2)|\psi'|^2] = 0. \quad (18)$$

В модели " $\lambda\psi^4$ " в формуле (3.8) параметры  $E$ ,  $m$  и  $\lambda$  постоянные величины. Поэтому волновая функция предельно сжатого конденсата  $\psi$  тоже является константой:

$$\psi = const, \quad \psi' = \psi'' = 0. \quad (19)$$

Формулы (3.4) и (3.8) с учётом (3.9) позволяют определить гравитационный дефект массы бозона

$$E^2 = m^2 c^4/3, \quad (20)$$

а также найти баланс

$$\Lambda|\psi|^2 = -2/3 \quad (21)$$

упругости  $\Lambda = (\hbar/mc)^2\lambda$  и плотности  $|\psi|^2$  конденсата. Естественно, это те же параметры, что были получены ранее в метрике Шварцшильда (см. [7], формулы (16)). С учётом гравитационного дефекта массы (3.10) и баланса упругости с плотностью конденсата (3.11) тензор энергии-импульса (3.5)-(3.7) сводится к

$$T_0^0 \equiv \varepsilon = (\frac{mc}{\hbar})^2|\psi|^2, \quad T_k^i \equiv -\delta_k^i p = \frac{1}{3}(\frac{mc}{\hbar})^2|\psi|^2, \quad i > 0. \quad (22)$$

Это точно соответствует уравнению состояния  $p = -\varepsilon/3$  материи, сжатой собственным гравитационным полем до ультрарелятивистского предела.

В статическом интервале (3.3) отличными от нуля являются компоненты тензора Риччи

$$R_1^1 = 2((F_2')^2 + F_2''), \quad R_2^2 = R_3^3 = 2(F_2')^2 + F_2'' - e^{-2F_2}, \quad g_{22} = -e^{2F_2}. \quad (23)$$

Уравнения Эйнштейна (3.2) с тензором Риччи (3.13) и тензором энергии-импульса (3.12)

$$(F_2')^2 + F_2'' = -\kappa\varepsilon/3, \quad 2(F_2')^2 + F_2'' - e^{-2F_2} = -2\kappa\varepsilon/3 \quad (24)$$

определяют метрическую компоненту  $g_{22}(x) = -e^{2F_2(x)}$ . Два уравнения (3.14) не независимы. Если привести уравнения (3.14) к каноническому виду

$$(F_2')^2 = e^{-2F_2} - \kappa\varepsilon/3, \\ F_2'' = -e^{-2F_2},$$

то видно, что при  $\varepsilon = const$  второе уравнение - это производная от первого. Они оба сводятся к одному уравнению:

$$\frac{de^{F_2}}{dx} = [1 - \frac{\kappa\varepsilon}{3}(e^{F_2})^2]^{1/2}. \quad (25)$$

Уравнение (3.15) это наглядный пример для "Теоремы существования и единственности". Общее решение уравнения (3.15) состоит из двух частей. Во первых - это константа  $e^{F_2} = (3/\kappa\varepsilon)^{1/2}$ . Во вторых - это синусоида  $e^{F_2} = (3/\kappa\varepsilon)^{1/2} \sin((\kappa\varepsilon/3)^{1/2}(x - x_0))$ . Из условия регулярности в центре следует, что константа интегрирования  $x_0 = 0$ . Метрическая компонента

$$g_{22}(x) = -\frac{3}{\kappa\varepsilon} \sin^2(\frac{\pi}{2} \frac{x}{x_g}) \quad (26)$$

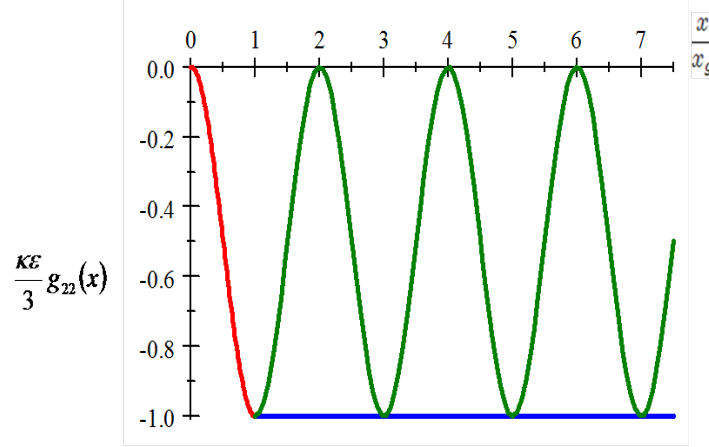
является регулярным решением уравнения (3.15), существующим при любом  $x \geq 0$  (синусоида на рисунке 1). Это решение является единственным только в центре  $0 < x < x_g$  (красная часть синусоиды на рисунке 1)

$$x_g = \frac{\pi}{2} \left( \frac{3}{\kappa \varepsilon} \right)^{1/2}. \quad (27)$$

$x_g$  – это внутренний гравитационный радиус. В области  $x \geq x_g$  два решения: (3.16) (зелёная часть синусоиды на рисунке 1) и

$$g_{22} = -\frac{3}{\kappa \varepsilon} \quad (28)$$

(синяя прямая линия на рисунке 1) периодически плавно касаются при  $x = x_g(1+2n)$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . С одним и тем же граничным условием  $g_{22}(0) = 0$  в интервале  $0 < x < x_g$ , ( $n = 0$ ) решение (3.16)



**Рис. 1.** Два решения уравнения (3.15): Синусоида (3.16) и прямая линия (3.18).

является единственным. В интервале  $0 < x < 3x_g$ , ( $n = 1$ ) существует два решения. В интервале  $0 < x < 5x_g$ , ( $n = 2$ ) – четыре решения, и так далее. (см. рисунок 2). В интервале  $0 < x < ((1+2n)x_g)$  существует  $2^n$  различных решений с одним и тем же граничным условием  $g_{22}(0) = 0$ .

В объёме с радиусом  $x < x_h$  полное число возможных функций  $g_{22}(x)$  равно  $2^n$ ,  $n = (x_h/x_g - 1)/2$ . Гравитационный радиус  $x_h$  поверхности чёрной дыры на много порядков превышает внутренний гравитационный радиус  $x_g$ . С учётом произвола метрической компоненты  $g_{rr}(r)$ , какая именно реализуется компонента  $g_{22}(x)$  из дискретного множества  $2^n$  вариантов, зависит от свойств материи внутри чёрной дыры.

Внутри чёрной дыры масса как функция радиуса  $M(x)$ ,  $x \leq x_h$  вычисляется по формуле

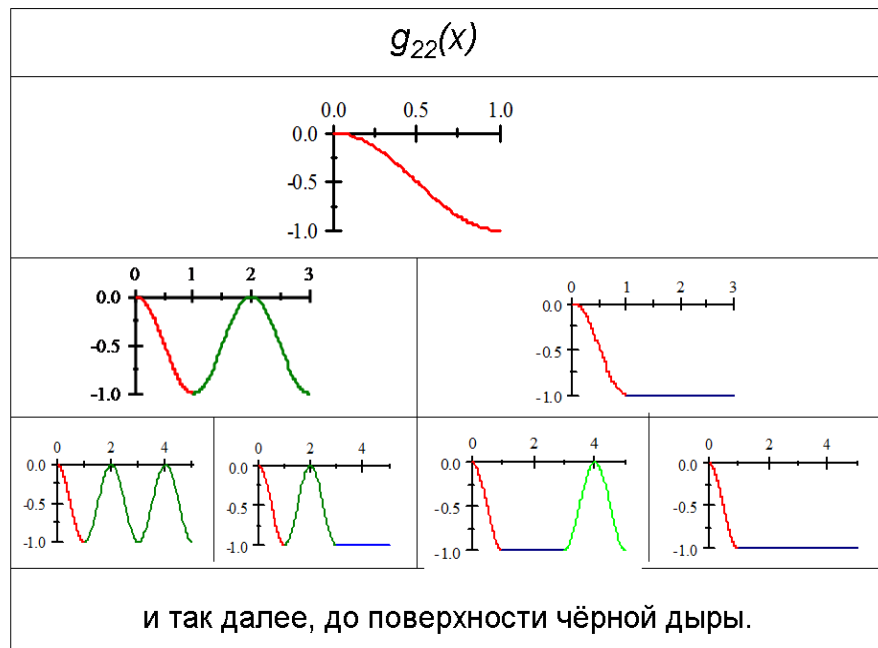
$$M(x) = (4\pi\varepsilon/c^2) \int_0^x |g_{22}(x)| dx, \quad x < x_h. \quad (29)$$

Гравитационный радиус  $x_h$  поверхности черной дыры на много порядков больше внутреннего радиуса  $x_g$ . При огромном количестве ( $2^n$ ,  $n = (x_h/x_g - 1)/2$ ) возможных вариантов метрической компоненты  $g_{22}(x)$ , радиус  $x_h(M)$  предельно сжатой черной дыры массы  $M$  ограничен в пределах

$$\frac{2k}{3c^2} M \leq x_h(M) \leq \frac{4k}{3c^2} M. \quad (30)$$

В модели " $\lambda\psi^4$ " минимальный  $\frac{2k}{3c^2} M$  и максимальный  $\frac{4k}{3c^2} M$  размеры предельно сжатой чёрной дыры зависят только от её массы  $M$ . Точные значения  $M(x_h)$  (3.19) и  $x_h(M)$  внутри диапазона (3.20) зависят от особенностей внутреннего состава чёрной дыры.

В нашей галактике Млечный Путь масса черной дыры составляет  $M_{MW} = 8.6 \times 10^{39} z$  [8]. Значит, радиус нашей чёрной дыры  $x_h(M_{MW})$  находится в промежутке от  $4, 25 \times 10^{11}$  до  $8, 5 \times 10^{11}$  см. В масштабе галактики это больше чем  $0, 45 \times 10^{-6}$  и меньше чем  $0, 895 \times 10^{-6}$  световых лет.



**Рис. 2.** Удвоение  $g_{22}(x)$  при каждом касании решений (3.16) и (3.18).

## Заключение

Понимание глубокого смысла гипотезы Эйнштейна о правиле выбора системы координат позволило выяснить, что в синхронной системе отсчёта материя может находиться в статическом состоянии, но только будучи сжатой собственным гравитационным полем до ультрарелятивистского предела. Статическое состояние предельно сжатой материи может существовать независимо от внутреннего состава объекта. Радиус  $r_h$  поверхности конкретной чёрной дыры зависит от её внутреннего состава в пределах (3.20), зависящих только от полной массы  $M$ . В синхронной метрике решение системы уравнений Эйнштейна и Клейна-Гордона сильно упрощается. Задача сводится к одному уравнению (3.15). Не возникает проблем сингулярности, неполноты системы отсчёта, ограничения массы гравитирующего объекта. Применительно к анализу статических объектов, в синхронной метрике детерминант и сигнатура метрики знаков не меняют.

## Список литературы

1. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 1916, vol. 7, pp. 189–196.
2. Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Ann. Phys.*, 1916, 49, p. 769.
3. Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. *Статистическая физика. Часть 2*. Москва: Физматлит. 2000. С. 448.
4. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. *Теоретическая физика. Теория поля*. М.: Наука, 1988, С. 512.
5. Kruskal M. D. Maximal extension of Schwarzschild metric. *Phys. Rev.*, 1960, vol. 119, p. 1743.
6. Meierovich B. E. Static state of a black hole supported by dark matter. *Universe*, 2019, vol. 5, p. 198.
7. Meierovich B. E. Guessing the Riddle of a Black Hole. *Universe*, 2020, vol. 6, p. 113.
8. Gillessen S., Eisenhauer F., Trippe S., Alexander T., Genzel R., Martins F., Ott T. Monitoring Stellar Orbits around the Massive Black Hole in the Galactic Center. *Astrophys. J.*, 2009, vol. 692, p. 1075.

## References

1. Schwarzschild K. Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 1916, vol. 7, pp. 189–196.
2. Einstein A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Ann. Phys.*, 1916, 49, p. 769.
3. Lifshitz E. M., Pitaevskiy L. P. *Statisticheskaya fizika. Chast 2*. Moscow: Fizmatgiz, 2000, p. 448 (in Russian).
4. Landau L. D., Lifshitz E. M. *Teoriya polya*. Moscow: Nauka, 1988, p. 512 (in Russian).
5. Kruskal M. D. Maximal extension of Schwarzschild metric. *Phys. Rev.*, 1960, vol. 119, p. 1743.
6. Meierovich B. E. Static state of a black hole supported by dark matter. *Universe*, 2019, vol. 5, p. 198.
7. Meierovich B. E. Guessing the Riddle of a Black Hole. *Universe*, 2020, vol. 6, p. 113.
8. Gillessen S., Eisenhauer F., Trippe S., Alexander T., Genzel R., Martins F., Ott T. Monitoring Stellar Orbits around the Massive Black Hole in the Galactic Center. *Astrophys. J.*, 2009, vol. 692, p. 1075.

## Авторы

**Мейерович Борис Эдуардович**, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник, Институт физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, ул. Косыгина 2, Москва, 119334, Россия.

E-mail: meierovich@mail.ru

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Мейерович Б. Э. О смысле гипотезы Эйнштейна на примере метрики Шварцшильда и синхронной метрики. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2025. № 4. С. 82–89.

## Authors

**Meierovich Boris Eduardovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading researcher, P.L.Kapitza Institute for Physical Problems RAN, Kosygina st., 2, Moscow, 119334, Russia.

E-mail: meierovich@mail.ru

### Please cite this article in English as:

Meierovich B. E. Real meaning of the Einstein's hypothesis in comparison of the Schwarzschild metric with the synchronous one. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2025, no. 4, pp. 82–89.