

Физически-состоятельные метрики с независимыми параметрами вместо стандартных метрик с нефизическими следствиями.

1. Заряженные источники

Захид Закир¹

Аннотация

Метрика вне шара с зарядом на поверхности, полученная из уравнений Эйнштейна-Максвелла, имеет три независимых параметра – заряд, радиус поверхности и гравитационный радиус шара, равный гравитационному радиусу вещества. Электростатическая энергия есть лишь вне шара и вносит вклад в метрику с тем же знаком, что и вещество. Поэтому рост заряда усиливает эффекты гравитации, увеличивая красные смещения, радиусы орбит и тени. При коллапсе, в системе покоя центра, поверхность застывает над гравитационным радиусом шара, а внутренние слои застывают над гравитационным радиусом вещества внутри них, т.е. сколлапсировавший шар становится не чёрной дырой, а фрозаром, объектом с гравитационно-застывшей структурой. Метрика фрозара следует из метрики шара при стремлении поверхности к гравитационному радиусу и поэтому включает два параметра вместо трёх. Заряд фрозара застывает над гравитационным радиусом и его полная масса, как и у шара, конечна. Наблюдаемые следствия метрики фрозара такие же, как и у шара. Напротив, в метрику Рейснера-Нордстрёма, используемой в теории чёрных дыр, входит полная масса на бесконечности, которая зависит от заряда и расходится, так как включает расходящуюся для точечного заряда энергию электрического поля. Игнорируя эту расходимость, полная масса перенормировалась заменой её на «наблюдаемую» массу. Потом, уже по ошибке, была упущена зависимость полной массы от заряда. Результатом такого двойного игнорирования был ряд нефизических следствий, обратных случаю шара. Утверждалось, что имеются два горизонта и рост заряда ослабляет гравитацию чёрной дыры, уменьшая гравитационный радиус и эффекты гравитации, такие как красные смещения, радиусы орбит и теней, т.е. всерьёз утверждалось, что положительная энергия электрического поля антигравитирует, что является физически абсурдным. Обсуждены и другие нефизические аспекты теории чёрных дыр.

Ключевые слова: заряженный шар, гравитационный радиус, метрика Рейснера-Нордстрёма, фрозар, чёрная дыра, эффекты гравитации, красное смещение, тень, отклонение света, коллапс

Содержание

1. Введение.....	1
2. Решение уравнений Эйнштейна для заряженного пылевого шара	3
3. Метрика вне заряженного фрозара и его свойства	6
4. Замедление времени и красные смещения вблизи заряженных источников.	8
5. Радиусы орбит частиц и тени фрозара.....	9
Заключение.....	10
Приложение. Нефизический характер теории чёрных дыр и её следствий	11
Литература	14

1. Введение

Решение уравнений Эйнштейна-Максвелла вне сферического источника с зарядом e была найдена в 1916-1918 гг. Рейснером [1], Вейлем [2] и Нордстрёмом [3] и включала полную массу источника на бесконечности (см. также [4]). Полученная метрика, названная метрикой Рейснера-Нордстрёма (РН), имела вид:

¹ Центр теоретической физики и астрофизики, Ташкент Узбекистан, zzakir@qgph.uz ORCID

$$g_{00}(r) = -g_{11}^{-1}(r) = 1 - \frac{\bar{r}_g}{r} + \frac{Q^2}{r^2}. \quad (1)$$

где $Q^2 = Ge^2 / c^4$, G - гравитационная постоянная и $\bar{r}_g$ - константа интегрирования.

Здесь $\bar{r}_g$ есть эффективный гравитационный радиус $\bar{r}_g = 2G\bar{M} / c^2$, связанный с полной массой на бесконечности $\bar{M}$, определяемой из соответствия в асимптотике с метрикой Шварцшильда. В теории чёрных дыр метрика РН (1) считалась решением для *точечного* источника с двумя *независимыми* параметрами $\bar{M}$ и Q [3-6] (Рис. 1). Это вело к нефизическим следствиям, таким как сложная структура пространства-времени с двумя горизонтами, а также предсказаниям, что рост Q ослабляет гравитацию, уменьшая гравитационный радиус и наблюдаемые эффекты гравитации, такие как красные смещения, радиусы орбит и теней [5,10]. Но $\bar{M}$ включает полную энергию электрического поля и растёт при росте Q . Упущение этого факта было ошибкой, которая и приводила к указанным нефизическим следствиям и предсказаниям.

Ситуации, когда положительная энергия электрического поля антигравитирует, была фундаментально недопустимой. Для исключения этого Эйнштейн был готов пойти даже на изменение знака энергии электрического поля в своих уравнениях и в 1935 г. он вместе с Розеном всерьёз предлагал это в [6]. В этой статье также утверждалось без доказательств, что $\bar{M}$ и Q в (1) являются независимыми константами.

Таким образом, физические следствия метрики РН (1) зависели от явного вида константы $\bar{r}_g$ с учётом её физического смысла. Корректное решение этой проблемы для шара с зарядом во всём объёме, но с взаимозависимыми параметрами, было дано ещё в 1960 г. В. Боннором [7] и П. Флоридесом [8] (Рис. 2). Они нашли зависимость $\bar{M} = M_b + e^2 / (2r_b c^4)$, где r_b - радиус поверхности шара, а M_b - полная масса шара без вклада энергии электрического поля вне его и этим показали, что рост заряда усиливает гравитацию вне шара (см. также [9]). Но зависимость M_b от плотности заряда внутри усложнило решение, так как гравитационный радиус $r_{gb} = 2GM_b / c^2$, входящий в модифицированную метрику, зависел от Q . В результате, один зависимый параметр в метрике, $\bar{r}_g$, был заменён другим, r_{gb} , тоже зависимым.

В данной статье метрика вне шара будет получена для более реалистичного случая, когда заряд есть только на поверхности (Рис. 3). В этом случае M_b не зависит от Q и метрика с тремя *независимыми* параметрами r_b , r_g и Q приобретает вид:

$$g_{00}(r) = -g_{11}^{-1}(r) = 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{Q^2}{r} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r} \right) = 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{Q^2}{r_b r} \left(1 - \frac{r_b}{r} \right), \quad r \geq r_b, \quad (2)$$

где $r_g = 2GM / c^2$ - гравитационный радиус вещества шара с массой M и $r_b > r_g$.

Ранее в статьях [11] изучались гравитационное поле и структура нейтрального пылевого шара согласно точному решению Оппенгеймера-Снайдера [12] и было показано, что в системе покоя центра коллапс ведёт к образованию фрозара, гравитационно-застывшего шара, поверхность которого застыла над гравитационным радиусом и $r_b \rightarrow r_g$ при $ct \gg r_g$. Каждый внутренний слой также застывает вблизи

гравитационного радиуса вещества внутри этого слоя. Метрика для заряженного фрозара следует из метрики для заряженного шара (2) при $r_b \rightarrow r_g$ (Рис. 4):

$$g_{00}(r) = -g_{11}^{-1}(r) \simeq \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right) = 1 - \frac{r_g + Q^2 / r_g}{r} + \frac{Q^2}{r^2}, \quad r > r_g. \quad (3)$$

В отличие от (2), эта метрика содержит лишь два независимых параметра - r_g и Q .

В обеих метриках (2) и (3) рост заряда усиливает гравитацию источника, что ведёт к корректной с физической точки зрения зависимости наблюдаемых эффектов от заряда. В частности, красные смещения, радиусы орбит и теней растут с ростом Q (Рис. 5,7).

Как показывают (2)-(3), игнорирование зависимости $\bar{M}$ от Q в теории чёрных дыр было не случайно, так как, расходимость электростатической энергии точечного заряда ведёт к расходящейся полной массе. Поэтому предложение в [9] учесть эту зависимость в виде $\bar{M} = M + e^2 / (4MGc^2)$ так и не привело к пересмотру метрики РН (1), так как для чёрной дыры как точечного источника нет физической причины для обрезания электрического поля на гравитационном радиусе.

В теории фрозаров заряд находится почти на r_g и даже если исходить из метрики РН (1), то вклад полной электростатической энергии в $\bar{M}$ будет $Q^2 / r_b \rightarrow Q^2 / r_g$, так что метрика фрозара (3) следует из метрики РН (1) при замене $\bar{r}_g$ по формуле:

$$\bar{r}_g = r_g + \frac{Q^2}{r_b} \simeq r_g + \frac{Q^2}{r_g}. \quad (4)$$

Это согласуется с предложениями в [7-9], что объясняется тем, что приведённые в них сугубо физические аргументы естественны именно в теории фрозаров.

В статье показывается, что учёт зависимости $\bar{r}_g$ от Q в виде (4) ведёт к корректным физическим следствиям. При этом для получения результатов расчёта наблюдаемых физических эффектов в теории фрозаров достаточно во всех соответствующих формулах с метрикой РН (1) сделать подстановку (4). Несмотря на такую простую формальную разницу, зависимости наблюдаемых эффектов от заряда в теории фрозаров становятся *обратными* результатам, которые предсказывались в теории чёрных дыр (Рис. 5-8).

Итак, метрики (2) и (3) для реалистичного случая шара с зарядом на поверхности, как в обычном, так и в сколлапсировавшем состояниях, и есть физически-состоятельные метрики с независимыми параметрами вне заряженного источника и этим завершается более чем вековая весьма драматичная история этой проблемы.

В разделе 2 статьи приведены уравнения для поля заряженного пылевого шара, а в разделе 3 даётся вывод метрики вне заряженного фрозара. В разделах 4 и 5 рассмотрены некоторые наблюдаемые эффекты в поле заряженного фрозара. В Приложении рассматривается нефизический характер теории чёрных дыр и её следствий.

2. Решение уравнений Эйнштейна для заряженного пылевого шара

Пространственно-временной интервал внутри и вне заряженного пылевого шара на гиперповерхностях одновременности $t = \text{const}$ можно привести к диагональному виду:

$$ds^2 = e^\nu c^2 dt^2 - e^\lambda dr^2 - r^2 d\Omega^2, \quad (5)$$

где $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2$. Для нейтрального шара метрика в (5) при $r \geq r_b$ даётся решением Шварцшильда $e^{v(r)} = e^{-\lambda(r)} = 1 - r_g / r$, где $r_g = 2GM / c^2$ - гравитационный радиус шара и G - гравитационная константа.

Заряженный шар как источник гравитации, в отличие от нейтрального, некомпактен, т. е. не локализован внутри поверхности r_b , где имеется всё его вещество с плотностью энергии ρ_M . Здесь возникает принципиально новый аспект – полная масса шара включает также и масс-эквивалент электростатической энергии в сфере радиуса $r > r_b$ и поэтому зависит от r и Q . Эта электростатическая энергия зависит также от плотности заряда внутри источника (Рис. 1) [7,8]. В случае точечного заряда (заряженной чёрной дыры) (Рис. 2) электростатическая энергия расходится, и поэтому полная масса также расходится.

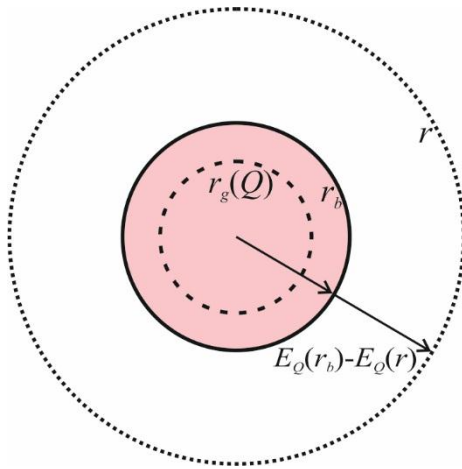


Рис. 1. Гравитационное и электрическое поля шара с объёмным зарядом [7,8].

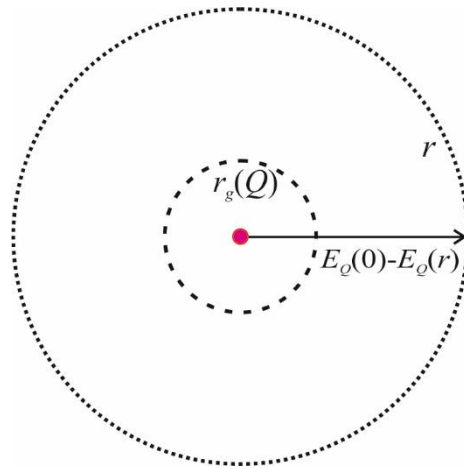


Рис. 2. Гравитационное и электрическое поля точечного заряда (чёрной дыры) [1-6].

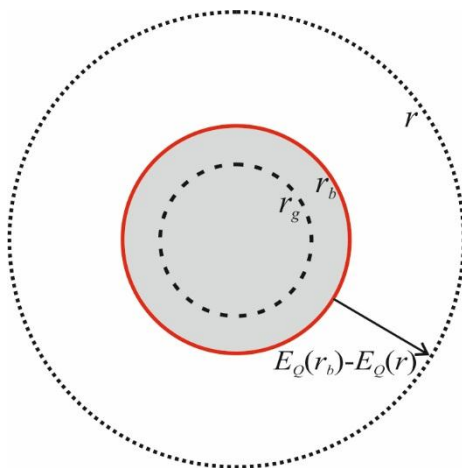


Рис. 3. Гравитационное и электрическое поля шара с зарядом на поверхности.

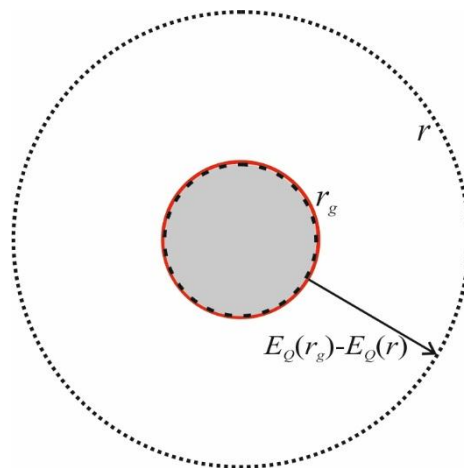


Рис. 4. Гравитационное и электрическое поля фрозара с зарядом на поверхности [11,14].

В случае реального заряженного шара с $r_b \gg r_g$ электростатическое равновесие наступает тогда, когда заряд соберётся на поверхности и это происходит очень быстро. Этот факт упрощает ситуацию с расчётом электростатической энергии, так как её плотность энергии ρ_e будет отлична от нуля лишь на поверхности и во внешней области ($r_b \leq r < \infty$). Теперь ρ_e даёт вклад лишь во внешнюю метрику, вещество с ρ_M даёт вклад лишь во внутреннюю метрику ($0 \leq r < r_b$), а на поверхности ($r = r_b$) обе метрики сшиваются (Рис. 3).

Уравнения Эйнштейна с таким раздельным вкладом двух областей принимают вид:

$$-e^{-\lambda} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{\nu'}{r} \right) + \frac{1}{r^2} = \kappa T_1^1 = \kappa \theta(r - r_b) \rho_e, \quad \kappa = 8\pi G / c^4, \quad (6)$$

$$-e^{-\lambda} \left(\frac{1}{r^2} - \frac{\lambda'}{r} \right) + \frac{1}{r^2} = \kappa T_0^0 = \kappa [\theta(r_b - r) \rho_M + \theta(r - r_b) \rho_e], \quad (7)$$

Во внешней области $r > r_b$, где $\rho_M = 0$, вычитание (6) из (7) даёт $\nu' + \lambda' = 0$, а значит $\nu = -\lambda + f$, $f' = 0$, что после переопределения $dt' = e^f dt$ даёт $e^\nu = e^{-\lambda}$.

Далее, уравнение (7) запишем в виде:

$$(re^{-\lambda})' = 1 - \kappa [\theta(r_b - r) \rho_M + \theta(r - r_b) \rho_e] r^2, \quad (8)$$

а интеграл в интервале $(0, r)$ сводим к двум независимым интегралам в интервалах $(0, r_b)$ и (r_b, r) . Затем, подставив для ρ_e и массы вещества шара M их выражения [1-5]:

$$\rho_e = \frac{e^2}{8\pi r^4}, \quad M = \frac{4\pi}{c^2} \int_0^{r_b} \rho_M r^2 dr, \quad (9)$$

приходим к решению для $e^{-\lambda}$:

$$e^{-\lambda} = 1 - \frac{\kappa}{r} \left(\int_0^{r_b} \rho_M r^2 dr + \frac{e^2}{8\pi} \int_{r_b}^r \frac{dr}{r^2} \right) = 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{Q^2}{r} \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r} \right). \quad (10)$$

Искомая внешняя метрика для заряженного шара, тем самым, приобретает вид:

$$e^\nu = e^{-\lambda} = 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{Q^2}{r_b r} \left(1 - \frac{r_b}{r} \right), \quad r \geq r_b > r_g. \quad (11)$$

На поверхности и вне шара $r \geq r_b > r_g$ эта метрика не имеет особенностей и включает три независимых параметра r_b, r_g и Q . При этом выражение в скобках в (11) положительно-определённое и вклад в метрику энергии электрического поля, пропорциональный Q^2 , имеет тот же знак, что и вклад энергии вещества шара. Поэтому увеличение заряда шара усиливает его гравитационное поле в точке $r > r_b$ за счёт роста энергии электрического поля внутри сферы радиуса r .

Отсюда следует, что наблюдаемые эффекты гравитации, в частности радиусы орбит и теней, красные смещения и углы отклонения частиц в поле заряженного шара

возрастают с ростом Q . Соответствующие формулы и графики приведены в разделах 4 и 5, включая и более простой случай фрозара с $r_b \simeq r_g$.

3. Метрика вне заряженного фрозара и его свойства

Выше была получена метрика (11) вне пылевого шара с радиусом поверхности $r_b > r_g$ и с поверхностным зарядом e (Рис. 3). Эта метрика содержит три независимых параметра r_b , r_g и Q , что и отличает её от метрики шара с объёмным зарядом [7,8], где один из параметров зависит от двух других: $r_g(r_b, Q)$.

При гравитационном коллапсе шара его поверхность, в системе покоя его центра, асимптотически стремится к r_g , т.е. $r_b \rightarrow r_g$ при $ct \gg r_g$. Такой сколлапсировавший шар, следовательно, становится фрозаром, объектом с полностью застывшей структурой [11] (Рис. 4). Каждый из внутренних слоёв шара также застывает около гравитационного радиуса вещества внутри этого слоя. Так как $r_b \simeq r_g$, то метрика фрозара содержит лишь два независимых параметра r_g и Q .

При этом частицы нейтрального вещества пылевого шара под его поверхностью падают радиально по геодезическим траекториям и поэтому это вещество коллапсирует с образованием незаряженного фрозара с массой M и поверхностью, стремящейся к гравитационному радиусу $r_b \rightarrow r_g$. В то же время частицы с зарядом на поверхности движутся не по геодезическим и на каждую них действует сила кулоновского отталкивания всего заряда шара, собравшейся на тонкой заряженной оболочке. Поэтому при коллапсе с образованием фрозара эта заряженная оболочка отстаёт от остального нейтрального вещества шара и застывает на немного большем расстоянии $r_b \rightarrow r_g + h$, с $h \ll r_g$. Таким образом, заряженный фрозар состоит из нейтрального фрозара, над застывшей поверхностью которого застыла на небольшом расстоянии заряженная тонкая оболочка [11]. Однако пока пренебрежём такой тонкой структурой заряженного фрозара.

При переходе сколлапсировавшего шара в состояние фрозара с $r_b \simeq r_g$ внешняя метрика шара (11) превращается во внешнюю метрику фрозара ($r > r_g$, $r > Q^2 / r_g$):

$$e^\nu = e^{-\lambda} \simeq 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{Q^2}{r_g r} \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right). \quad (12)$$

Вне фрозара пространственно-временной интервал (5), в результате, принимает вид:

$$ds^2 \simeq \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2. \quad (13)$$

Введя обозначение $\Delta = r^2 - (r_g + Q^2 / r_g)r + Q^2$, (12) и (13) запишем также в виде

$$e^\nu = e^{-\lambda} \simeq \frac{\Delta}{r^2} = 1 - \frac{r_g + Q^2 / r_g}{r} + \frac{Q^2}{r^2}. \quad (14)$$

$$ds^2 \simeq \frac{\Delta}{r^2} c^2 dt^2 - \frac{r^2}{\Delta} dr^2 - r^2 d\Omega^2. \quad (15)$$

Из (13) видно, что для внешних наблюдателей r_g оказывается гравитационным радиусом не только нейтрального вещества, но и заряженного фрозара в целом, т.е. при асимптотическом приближении поверхности $r_b \rightarrow r_g$ происходит гравитационное застывание процессов в терминах t . Это связано с тем, что вблизи поверхности вклад в метрику даёт энергия электрического поля из очень тонкого слоя $r_b - r_g = h \ll r_g$, что незначительно. Поэтому гравитационный радиус заряженного фрозара практически совпадает с гравитационным радиусом его вещества r_g , вследствие чего гравитационный радиус заряженного фрозара r_g явно фигурирует в его метрике (12).

Итак, метрика фрозара (12) включает лишь два параметра r_g, Q и эти параметры могут меняться независимо, т.е. метрика (12) является *метрикой с независимыми параметрами*. Напротив, метрика РН (1) является *метрикой с взаимозависимыми параметрами*, так как при $r > r_g$ её параметры $\bar{r}_g$ и Q связаны соотношением (4). Как будет показано в разделе 4, игнорирование этой зависимости в теории чёрных дыр привело к ряду физически абсурдных предсказаний.

Введя «зарядовый радиус» фрозара r_e :

$$r_e = \frac{Q^2}{r_g} = \frac{e^2}{2Mc^2}, \quad (16)$$

метрику фрозара (12) можно также записать в виде:

$$e^\nu = e^{-\lambda} \simeq \frac{\Delta}{r^2} = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(1 - \frac{r_e}{r}\right) = 1 - \frac{r_g + r_e}{r} + \frac{r_g r_e}{r^2}, \quad (17)$$

где $\Delta = r^2 - (r_g + r_e)r + r_g r_e$. Интервал (13) при этом принимает вид:

$$ds^2 \simeq \left(1 - \frac{r_g}{r}\right) \left(1 - \frac{r_e}{r}\right) c^2 dt^2 - \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \left(1 - \frac{r_e}{r}\right)^{-1} dr^2 - r^2 d\Omega^2 \quad (18)$$

В общем случае заряженного шара метрику (11) также можно записать через r_e :

$$e^\nu = e^{-\lambda} \simeq 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r} \frac{r_e}{r_b} \left(1 - \frac{r_b}{r}\right) = 1 - \frac{r_g}{r} \left[1 + \frac{r_e}{r_b} \left(1 - \frac{r_b}{r}\right)\right], \quad r \geq r_b \quad (19)$$

Для звёзд величина r_e очень мала, а для элементарных частиц очень мал r_g . Эти два радиуса равны $r_e = r_g$ тогда, когда $M^2 = e^2 / 2G$. Для частиц обычно $r_e > r_g$ и если эффективный «размер» частицы считать порядка r_e , т.е. $r_b = r_e$, то (19) переходит в:

$$e^\nu = e^{-\lambda} \simeq 1 - \frac{r_g}{r} - \frac{r_g}{r} \left(1 - \frac{r_e}{r}\right) = 1 - \frac{r_g}{r} \left(2 - \frac{r_e}{r}\right), \quad r \geq r_e > r_g \quad (20)$$

Для частиц планковской энергии с $r_g = \hbar / M_{pl} c$ и $r_e = e^2 / M_{pl} c^2$, полагая $r_b = r_g$, имеем $r_e / r_g = e^2 / \hbar c = \alpha$, где $\alpha \simeq 1/137$, и r_e заметно меньше r_g .

Метрика (14), или (17), в первом приближении, когда $r_g \ll r$ и $r_e \ll r$, имеет вид:

$$e^{\nu} = e^{-\lambda} \approx 1 - \frac{r_g + r_e}{r} = 1 - \frac{r_g + Q^2 / r_g}{r}. \quad (21)$$

Эта приближённая метрика полезна для описания эффектов на больших расстояниях.

4. Замедление времени и красные смещения вблизи заряженных источников.

Уравнения движения для частицы массы m в статическом гравитационном поле с метрикой вида (5) при условии $e^{\nu(r)} = e^{-\lambda(r)} = \Delta / r^2$ и их решения для геодезических траекторий, выраженные через Δ , хорошо известны (см. [4,5,10]). Метрика для фрозара (14), или (17), является лишь частным случаем с конкретным выражением для Δ , при этом результаты будут такими же, как и для метрики РН (1), но с константой интегрирования $\bar{r}_g = r_g + Q^2 / r_g$ (4). Поэтому в данном и следующем разделах приведём лишь результаты для зависимости от Q наблюдаемых эффектов, отсылая за деталями к литературе (см. [4,5,10,14]).

В точке $r > r_g$ вблизи фрозара уменьшение интервала собственного времени $\Delta\tau$ между двумя событиями по сравнению с интервалом мирового времени Δt между этими же событиями даётся выражением $\Delta\tau = \Delta t g_{00}^{1/2}(r)$. Явный вид фактора замедления времени $g_{00}^{1/2}(r)$, согласно (12), даётся выражением:

$$g_{00}^{1/2}(r) = e^{\nu/2} = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right)^{1/2} \approx 1 - \frac{1}{2r} \left(r_g + \frac{Q^2}{r_g}\right) + O(r^{-2}). \quad (22)$$

Как видим, вдали от фрозара замедление времени усиливается (т. е. фактор $g_{00}^{1/2}(r)$ уменьшается) с ростом Q квадратично. График зависимости вблизи фрозара, при радиусе $r = 3r_g$, показан на Рис. 5. Из этого графика видно, что качественно зависимость в случае фрозара такой же, как и у шара, но замедление времени у фрозара сильнее, чем у любого шара. Дело в том, что радиус поверхности фрозара $r_b \simeq r_g$ наименьший для шаров с данной массой, а значит, полная энергия электрического поля $Q^2 / 2r_b$ (при данном заряде) наибольшая.

Фотоны, испущенные в точке r вблизи фрозара с собственной частотой ω_0 принимаются удалённым наблюдателем с меньшей частотой ω и фактор красного смещения $1 + z = e^{-\nu/2}$, согласно (12) и (22), даётся выражением:

$$1 + z = \frac{\omega_0}{\omega} = e^{-\nu/2} = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1/2} \left(1 - \frac{Q^2}{r_g r}\right)^{-1/2}. \quad (23)$$

Таким образом, красное смещение фотонов растёт из-за вклада энергии электрического поля в гравитационное поле фрозара *на всём пути фотона*, а увеличение заряда фрозара увеличивает и величину красного смещения. На Рис. 5-6 приведены соответствующие графики с сравнением двух трактовок.

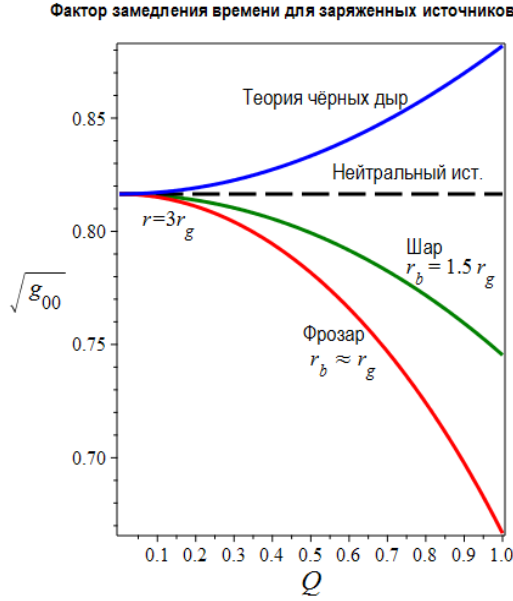


Рис. 5. Зависимость фактора замедления времени $g_{00}^{1/2}(r)$ от заряда для шара ($r_b = 1.5r_g$), фрозара ($r_b \approx r_g$) и чёрной дыры при $r = 3r_g$.

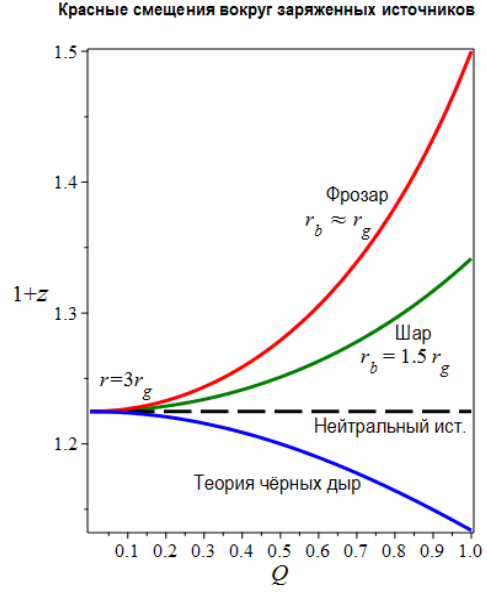


Рис. 6. Зависимость от заряда фактора красного смещения $1+z = g_{00}^{-1/2}(r)$ для шара, фрозара и чёрной дыры при $r = 3r_g$.

5. Радиусы орбит частиц и тени фрозара

Радиусы фотонной орбиты r_{ph} , низшей стабильной орбиты частицы ненулевой массы r_{ISCO} и тени фрозара λ_c даются теми же формулами, что и в случае метрики РН (1) [5,10], но с заменой $\bar{r}_g = r_g + Q^2 / r_g$ как в (3)-(4). Радиус фотонной орбиты r_{ph} поэтому равен:

$$r_{ph} = \frac{3}{4} \left(r_g + \frac{Q^2}{r_g} \right) \left(1 + \sqrt{1 - \frac{32Q^2}{9(r_g + Q^2/r_g)^2}} \right). \quad (24)$$

Радиус r_{ISCO} даётся выражением:

$$r_{ISCO} = \frac{1}{2} \left(r_g + \frac{Q^2}{r_g} \right) \left[2 + \xi + \frac{1}{\xi} \left(4 - \frac{12Q^2}{(r_g + Q^2/r_g)^2} \right) \right], \quad (25)$$

$$\xi = 4 \left[2 + \frac{8Q^4}{\bar{r}_g^4} - \frac{Q^2}{\bar{r}_g^2} \left(9 - \sqrt{\left(1 - \frac{2Q}{\bar{r}_g} \right) \left(5 - \frac{8Q}{\bar{r}_g} \right)} \right) \right]^{1/3}, \quad (26)$$

Радиус тени λ_c фрозара для удалённого наблюдателя равен:

$$\lambda_c = \frac{r_{ph}}{\sqrt{g_{00}(r_{ph})}} = \frac{3}{4} \left(r_g + \frac{Q^2}{r_g} \right) \cdot \frac{1 + \sqrt{1 - 32Q^2 / 9(r_g + Q^2/r_g)^2}}{\sqrt{(1 - r_g/r_{ph})(1 - Q^2/r_g r_{ph})}}. \quad (27)$$

Итак, при росте $|Q|$ гравитационный радиус фрозара практически не меняется: $r_g = \text{const}$, а из выражений (24)-(27) следует, что радиусы r_{ph} , r_{ISCO} и λ_c растут практически как Q^2 . Графики, построенные согласно (24)-(27), приведены на Рис. 7-8.

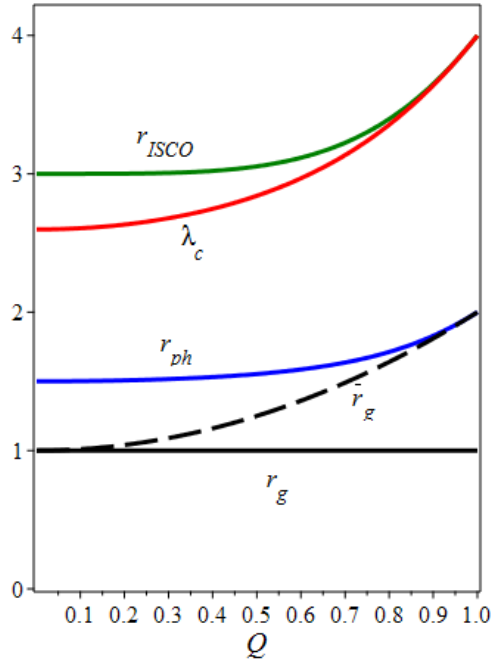


Рис. 7. Радиусы орбит и тени фрозара.

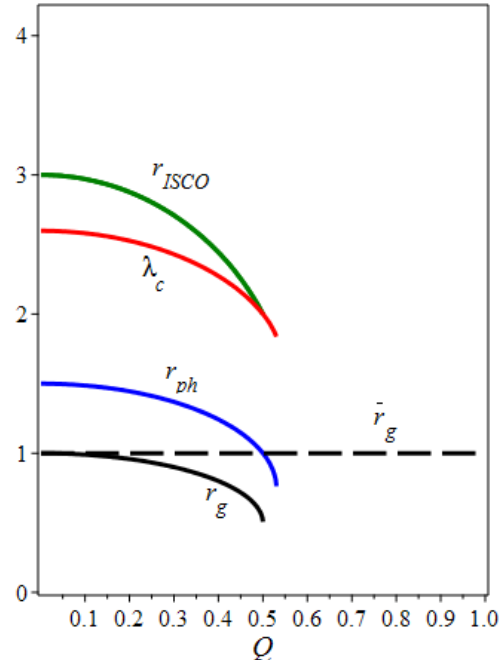


Рис. 8. Радиусы орбит и тени чёрной дыры [5,10].

Закключение

Метрика вне заряженного пылевого шара в системе покоя центра шара является статической и следует из уравнений Эйнштейна на гиперповерхностях одновременности $t = \text{const}$. Она была получена ранее [7,8] в предположении о некотором распределении заряда во всём объёме шара. При этом, вклад энергии электрического поля в метрику зависел от произвольной функции — плотности заряда внутри шара. Такое распределение заряда вводилось в надежде, что вклад электрического поля может остановить коллапс.

Как показано в данной статье, эти надежды были иллюзорными по двум причинам. Во-первых, в реальной сферической звезде заряды быстро соберутся на поверхности, а внутренность звезды, оставшись электрически нейтральной, продолжит коллапсировать. Поэтому в статье найдена метрика для шара с зарядом лишь на поверхности, что не только более реалистично, но и значительно проще, так как гравитационный радиус r_g перестаёт зависеть от заряда Q . Во-вторых, вклад энергии электрического поля в метрику, при корректном её учёте, имеет тот же знак, что и вклад вещества и поэтому не ослабляет, а усиливает гравитацию вне шара. Показано, что в результате усиливаются также и наблюдаемые эффекты гравитации, в частности, с ростом Q будут увеличиваться радиусы орбит и теней, красные смещения и углы отклонения частиц.

Поскольку в теории гравитации Эйнштейна коллапс пылевого шара ведёт к образованию фрозара, звезды с гравитационно-застывшей структурой и с поверхностью, стремящейся к гравитационному радиусу вещества [11,12,14], метрика фрозара следует из метрики шара при стремлении поверхности к гравитационному радиусу $r_b \rightarrow r_g$. При

этом вместо трёх параметров метрики шара r_b, r_g и Q , в метрике фрозара фигурируют лишь последние два параметра r_g и Q . Наблюдаемые следствия метрики фрозара такие же, как и для шара, но с $r_b \approx r_g$.

В теории чёрных дыр с метрикой РН для точечного заряда (1) игнорировалась зависимость $\bar{r}_g$ (или полной массы), фигурирующей в метрике РН, от заряда Q . Результатом этой ошибки были нефизические предсказания, будто имеются два горизонта событий, а рост заряда ослабляет гравитацию чёрной дыры, а значит уменьшает наблюдаемые эффекты гравитации, такие как красные смещения, радиусы орбит и теней [5,10] и т. д. Однако, даже после исправления указанной ошибки, т.е. учёта зависимости $\bar{r}_g(Q)$ как в (4), теория чёрных дыр остаётся внутренне противоречивой, так как отсутствие поверхности, где находился бы заряд, исключает обрезание электрического поля на нижнем пределе. Поэтому, поскольку для точечного заряда энергия электрического поля расходится, расходится и полная масса чёрной дыры. Всё это ещё раз подтверждает тот факт, что теория чёрных дыр является абстрактной математической моделью, далёкой от физической реальности, и не применима к астрофизическим объектам, поверхности которых при коллапсе останутся вне их гравитационных радиусов в любой момент космологического времени (см. Приложение).

Развитый в статье метод приведения метрики к независимым параметрам может быть применён также и к источникам с угловым моментом и это рассмотрено во второй статье [12]. Более подробное изучение следствий новой метрики и дальнейшие применения метода к другим метрикам будут приведены в книге [14].

Приложение. Нефизический характер теории чёрных дыр и её следствий

При росте заряда гравитационные радиусы шара и фрозара практически не меняются: $r_g = \text{const}$, а радиусы r_{ph} , r_{ISCO} и λ_c растут почти как Q^2 , что видно из Рис. 5-8. Графики зависимости, предсказанные в теории чёрных дыр, также показаны на Рис. 5-8, и они показывают примеры нефизических следствий для наблюдательных эффектов. С ростом Q , увеличивающего электростатическую энергию в сфере радиуса r , фактор замедления времени $g_{00}^{1/2}(r)$ становится ближе к единице и поэтому замедление времени ослабляется, а красные смещения уменьшаются. Уменьшаются также радиусы характерных орбит и тени чёрной дыры.

Все эти следствия означают предсказание антигравитирующего эффекта положительной электростатической энергии, что является физически неприемлемым. Тот факт, что они *полностью противоположны* предсказаниям не только для фрозара, но даже для обычного шара с зарядом на поверхности, является доказательством ошибочности этих предсказаний теории чёрных дыр.

В связи с этим ниже рассмотрим те причины, из-за которых возникли такие нефизические следствия. Затем покажем, что *иррационализм*, обнаружившийся в спокойном восприятии в течении полувека внутреннего противоречия в теории, когда одна энергия гравитирует, а другая энергия антигравитирует, был характерен и для самих основ этой теории.

Эффективный гравитационный радиус $\bar{r}_g$ компактного источника, масса которого равна полной массе заряженного источника $\bar{M}$, не соответствует тому значению окружного радиуса заряженного источника r_g , при котором зануляется временная

компонента метрики, т.е. не является его гравитационным радиусом. Поэтому в метрике РН (1) гравитационный радиус источника r_g , определяемый из условия $e^{v(r_{g+})} = 0$, не фигурирует явно. В теории чёрных дыр утверждается, что временная компонента метрики РН (1) зануляется при двух гравитационных радиусах $r_{g(\pm)}$ [3,5,10]:

$$r_{g(\pm)} = \frac{\bar{r}_g}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\bar{r}_g}{2}\right)^2 - Q^2}. \quad (28)$$

Если следовать (28), то абсолютная величина заряда оказывается ограниченной как:

$$|Q| \leq \frac{\bar{r}_g}{2}. \quad (29)$$

Как показывает анализ метрики шара с поверхностным зарядом и фрозара как его предельного состояния при коллапсе, в (28) физический смысл имеет лишь один корень $r_{g(+)}$. Согласно (28) при $Q \rightarrow 0$ ненулевое значение $\bar{r}_g$ равно $r_{g(+)}$ и, следовательно, последний и есть гравитационный радиус незаряженного вещества r_g . Переписав (28) в удобном виде и затем выразив $\bar{r}_g$ через $r_{g(+)}$, получаем:

$$\left(r_{g(+)} - \frac{\bar{r}_g}{2}\right)^2 = \left(\frac{\bar{r}_g}{2}\right)^2 - Q^2, \quad \bar{r}_g = r_{g(+)} + \frac{Q^2}{r_{g(+)}} \quad (30)$$

что, согласно (4) и (14), ещё раз доказывает отождествление $r_{g(+)} = r_g$.

Для пылевого шара, а также фрозара как его гравитационно-застывшего состояния, имеется лишь один гравитационный радиус r_g вещества с массой M , а энергия электрического поля, распределённая во всём пространстве вне источника, практически не даёт вклада в r_g . Константа $\bar{r}_g$, фигурирующая в метрике РН, есть лишь эффективный гравитационный радиус воображаемого компактного источника с массой, равной полной массе заряженного источника на бесконечности $\bar{M}$, включающего полную энергию электрического поля и выражается через r_g как в (4) или (30).

Утверждения теории чёрных дыр о *сложной структуре пространства-времени* сколлапсировавшего заряженного источника, связанные с наличием двух горизонтов событий, голой сингулярности и т.д. [3-6,10], таким образом, оказываются *мифами*, возникшими из-за пренебрежения физическим смыслом полной массы этого источника.

Предсказания, сделанные в рамках теории чёрных дыр на базе метрики РН (1) и приведённые на Рис. 5-8 являются поэтому результатом ошибочного предположения о постоянстве $\bar{r}_g$ при изменении Q , тогда как $\bar{r}_g$, согласно (4), растёт как Q^2 , а r_g , как гравитационный радиус нейтрального вещества, остаётся постоянным.

Хотя эта зависимость была выявлена очень давно, ещё в 1960 г. [7,8], а в 1971 г. была сделана попытка ввести её в теорию чёрных дыр в виде (4) [9], в этой теории она до настоящего времени игнорировалась. В основе этого неприятия лежит тот факт, что в (4) неявно предполагается обрезание электрического поля на гравитационном радиусе, тогда как для точечного заряда, представляющего заряженную чёрную дыру, нет физической причины для такого обрезания. В результате, продолжая игнорировать зависимость $\bar{r}_g$ от Q , утверждалось, что рост Q , добавляя положительную

электростатическую энергию, ослабляет гравитацию чёрной дыры и уменьшает гравитационный радиус, красные смещения, радиусы орбит и тени [5,10], что абсурдно.

Тот факт, что эта ошибка систематически повторялась в огромной литературе по теории чёрных дыр более полувека неудивителен ввиду абстрактно-математического характера самой этой теории, далёкой от физической реальности. В действительности в теории гравитации Эйнштейна, как это показывают графики мировых линий частиц в слоях пылевой (незаряженной) звезды [11], построенных в соответствии с точным решением Оппенгеймера-Снайdera [12], коллапс ведёт к образованию не чёрной дыры, а фрозара с застывшей внутренней структурой, такой, какой была эта структура перед застытием. Поверхность фрозара в системе покоя его центра не пересекает гравитационный радиус за конечное космологическое время, а его слоёв асимптотически стремятся к своим гравитационным радиусам, связанным с массой внутри каждого слоя.

Отметим в связи с этим, что, признавая чисто формально правомерность такого рассмотрения процесса коллапса нейтральной сферической звезды и его результата в виде застывшей звезды, сторонники теории чёрных дыр уверенно утверждают, будто эта картина «кажущаяся» и связана лишь с «неудачным» выбором временной координаты в виде мирового времени t . Далее утверждается, что при переходе к более «удачной» временной координате, к собственному времени τ , поверхность коллапсирующей звезды «легко» пересекает гравитационный радиус звезды в конечный момент τ_g . При этом считается неважным, что это соответствует моменту $t = \infty$ (!) космологического времени около звезды, хотя этот момент в реальном мире *никогда* не наступит. Далее описывается сценарий ньютоновской теории, где всё вещество звезды при $\tau > \tau_g$, т.е. уже при $t > \infty$ (!), быстро достигает центра $r = 0$, образуя сингулярность в центре и горизонт событий при $r = r_g$. Описав таким образом формирование чёрной дыры при $t > \infty$, тут же утверждается, что реальные сколлапсировавшие звёзды с $M > 3M_\odot$ в данный момент времени $t < \infty$ являются реально существующими чёрными дырами.

В астрофизической литературе иногда делалось осторожное уточнение, что у реальных коллапсаров горизонт «ещё не сформировался» и предлагалось называть их «астрофизическими чёрными дырами», отличая их от «настоящих» с горизонтом. Это есть скрытое признание того, что «горизонт» у реальных коллапсаров *не сформируется никогда*, а в каждый данный момент нашего времени они представляют собой звезду с застывшей структурой, т.е. фрозар.

Указанное выше раздвоение реальности не считалось противоречием. Более того, в литературе обсуждался и такой вопрос: а где взять те *полчаса после бесконечности*, когда образуется чёрная дыра? Ответом было ещё более иррациональное утверждение, что в этой теории кроме нашей реальности должны существовать и другие реальности и что в целом здесь мы имеем дело с *сюрреализмом* [15].

В действительности же за такими далеко идущими утверждениями, имеющими на первый взгляд глубокий смысл, лежат такие же ошибки, возникшие из-за небрежности к физическому смыслу используемых понятий и величин, какие обнаружились на примере заряженного источника. Главным из них является *ошибочное* утверждение в [16,17], с которого и началось широкое признание этой теории, будто в известной статье 1939 г. [12] Оппенгеймер и Снайдер доказали, что поверхность сферической пылевой звезды коллапсирует во внутрь гравитационного радиуса и быстро достигает центра. Как было показано в [11] (см. также [14]), во-первых, в статье [12] *такого утверждения нет*, а во-вторых там было *доказано как раз обратное*, а именно, что поверхность звезды застывает над r_g и была найдена асимптотика метрики для внутренних слоёв, а также решение для траекторий частиц в этих слоях, показывающие, что каждый слой также застывает над своим гравитационным радиусом, связанным с массой внутри этого слоя.

Более детальная критика теории чёрных дыр и доказательство её несостоятельности как физической теории приводятся в [14].

Литература

1. Reissner H. (1916) *Ann. d. Phys.*, **50**, 106.
2. Weyl H. (1917) *Ann. Phys.*, **359**(18), 117.
3. Nordström G. (1918) *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.*, **20**, 1238.
4. Jeffery G. (1921) *Proc. R. Soc. Lond.* **A99** (697) 123.
5. Bambi C. (2017) *Black Holes: A Lab. for Testing Strong Gravity*. Springer.
6. Einstein A., Rosen N. (1935) *Phys. Rev.*, **48**(1), 73.
7. Bonnor W. (1960) *Z. Phys.*, **160**, 59;
8. Florides P. (1960) *PhD Thesis*, U. London; (1962) *Math. Proc. Cambr. Phil. Soc.* **58**(1) 110; (1977) *Nuov. Cim.*, **A42**(3), 343.
9. Christodoulou D., Ruffini R. (1971) *Phys. Rev.*, **D4**, 3552.
10. Pugliese D., Quevedo H., Ruffini R. (2011) *Phys. Rev.* **D83**(2), 024021.
11. Zakir Z. (2018) *Astr. & Space Sci.* **363**: 30; (2020) *Квант. и грав. физ.*, **1**:006-7132; **1**:007-7133
12. Oppenheimer R., Snyder H. (1939) *Phys. Rev.* **56**(1), 455.
13. Закир З. (2022) *Квант. и грав. физ.*, **3**:017-7677.
14. Закир З. (2020) *Теория фрозаров. Релятивистский коллапс звёзд*. ЦТФА, Т.
15. Ne'Eman Y. (1994). *Found. Phys. Lett.* **7**(5), 483.
16. Wheeler J. (1964) in *Relativity, Groups and Topology*, G. & B. Publ.
17. Penrose R. (1965) *Phys. Rev. Lett.* **14**(3), 57.