

УДК 535.32

## ОБОЛОЧЕЧНЫЕ ОБЪЕКТЫ В МОДЕЛИ РАСШИРЕННОГО ПРОСТРАНСТВА И МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

В. А. Андреев, Д. Ю. Ципенюк<sup>1</sup>

*В рамках Модели расширенного пространства изучаются процессы, связанные с рождением фотонов в гравитационном поле. Эти фотоны обладают ненулевой массой. Она может быть как положительной, так и отрицательной, и ее абсолютная величина определяется энергией фотона и напряженностью гравитационного поля. Такие гравитационные эффекты описываются с помощью потенциала, который является скаляром по отношению к преобразованиям в пространстве Минковского, но в 5-мерном расширенном пространстве он служит пятой компонентой вектор-потенциала, который порождает одновременно и гравитационное и электромагнитное поля. Показано, что в такой модели возможно формирование оболочечных структур. Они обладают гало из темной материи, сформированное фотонами с положительной массой. Фотоны с отрицательной массой отбрасываются в свободное космическое пространство и создают там антигравитирующий вакуум с отрицательным давлением. Проведено сравнение оболочечных структур МРП с аналогичными объектами типа "гравстар", существующими в Общей теории относительности.*

<sup>1</sup>Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН.

В работе [1] в рамках развиваемой авторами Модели расширенного пространства (МРП) [2, 3] были рассмотрены гравитационные эффекты, такие как красное смещение частоты, отклонение света, радиационное эхо, смещение перигелия Меркурия. Было показано, что предсказания МРП для величин этих эффектов в первом приближении совпадают с предсказаниями Общей теории относительности (ОТО).

В последние годы астрономами обнаружены новые явления, которые не укладываются в традиционные представления о структуре Вселенной, основанные на ОТО. Суть этих явлений сводится, в основном, к следующим утверждениям [4 – 8]:

1) Основную часть массы Вселенной (более 90%) составляет темное вещество и темная энергия, которую ассоциируют с космическим вакуумом. 2) Это темное вещество не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним, но проявляет гравитационные свойства. 3) Космический вакуум обладает отрицательным давлением, или, иначе говоря, проявляет свойства антигравитации, которая и определяет текущую динамику расширения Вселенной. 4) Вокруг обычных массивных объектов существует гало из темной материи.

В данной работе развивается подход к объяснению этих явлений, основанный на МРП. Данная модель является обобщением теории относительности Эйнштейна на  $(1 + 4)$ -мерное пространство, где 5-й координатой служит интервал. Движение в дополнительном 5-м измерении соответствует изменению массы покоя частиц. При этом фотон, попадая во внешнее поле, приобретает ненулевую массу. Причем эта масса может иметь как положительный, так и отрицательный знак. Мы предполагаем, что инерционные свойства такой массы всегда положительны, а разные знаки относятся только к ее гравитационным проявлениям. У пары фотонов, рождающихся во внешнем поле, один имеет положительную массу, а второй – отрицательную. Согласно МРП темная масса – это фотоны, обладающие массой. Фотоны с положительной массой концентрируются вокруг массивных звезд и черных дыр и образуют их гало. Фотоны с отрицательной массой отбрасываются в свободное космическое пространство и создают там антигравитирующий вакуум с отрицательным давлением. Поэтому с нашей точки зрения темная материя в значительной части состоит из фотонов с положительной массой, а темная энергия порождается фотонами с отрицательной массой.

Различные способы сопоставления фотону ненулевой массы обсуждаются в обзоре [9]. Возможность существования тел с отрицательной массой обсуждалась и в ОТО [10].

В последнее время внимание привлекает новая гравитационная модель, т.н. гравстар, или гравитационная конденсатная звезда [11]. Она была предложена в качестве

альтернативы черным дырам. Этим объектам соответствует решение уравнений Эйнштейна, которое вне области, занятой массами, совпадает с решением Шварцшильда. Внутри нее имеется другое, несингулярное решение, так что вся метрика в целом получается несингулярной. Гравстар имеет структуру, схожую со структурой пузыря. Пузырь имеет плотную твердую оболочку, которая находится под напряжением из-за распирающего ее изнутри жидкого вещества. Именно с помощью такой модели и пытаются сейчас объяснить природу некоторых из наблюдаемых объектов. В данной работе мы покажем, что в рамках МРП также возможен сценарий, при котором из сгустка однородной материи формируется структура, обладающая более плотной оболочкой и менее плотным ядром. Для этого гравитационному полю приписывается некоторый показатель преломления  $n(r)$ . За счет этого показателя преломления скорость фотонов в гравитационном поле уменьшается, и у них появляется ненулевая масса. Различные возможности сопоставления гравитационному полю показателя преломления обсуждаются в работах [12, 13].

*Фотоны в гравитационном поле.* Энергия частицы, находящейся в центральном поле, состоит из двух частей: потенциальной и кинетической. В данной работе мы используем нерелятивистское приближение, поскольку нас интересует принципиальная возможность образования темной материи, а релятивистские поправки важны лишь для точных количественных расчетов. Рассмотрим процесс, в котором в результате той или иной реакции элементарных частиц, например реакция аннигиляции, рождается фотон. В таких реакциях рождается, как правило, несколько фотонов, но мы будем рассматривать все эти фотоны по отдельности. Мы предполагаем, что фотоны рождаются свободными, безмассовыми, и лишь затем, оказываясь во внешнем поле, приобретают массу.

В рамках МРП свободному фотону соответствует 5-вектор [2]

$$\left( \frac{\hbar\omega}{c}, \frac{\hbar\vec{\omega}}{c}, 0 \right). \quad (1)$$

Воздействия на него со стороны внешних полей описываются поворотами в расширенном пространстве  $G(1, 4)$ . Вид поворота и его величина определяются напряженностью поля и тем процессом, в котором участвует частица, т.е. тем, что у нее меняется: энергия, импульс или масса. В данном случае мы рассматриваем процесс, в котором энергия частицы не меняется, а происходит перестройка ее внутренней структуры, в частности, у нее возникает масса. Такой поворот описывается поворотом в плоскости

(XS). Он имеет вид [2]:

$$\left(\frac{\hbar\omega}{c}, \frac{\hbar\omega}{c}, 0, 0, 0\right) \rightarrow \left(\frac{\hbar\omega}{c}, \frac{\hbar\omega}{c} \cos \psi, 0, 0, \frac{\hbar\omega}{c} \sin \psi\right) = \left(\frac{\hbar\omega}{c}, \frac{\hbar\omega}{cn}, 0, 0, \frac{\hbar\omega}{cn} \sqrt{n^2 - 1}\right). \quad (2)$$

Угол поворота  $\psi$  определяется напряженностью внешнего поля, его значение и, соответственно, параметры массивного фотона задаются местом, в котором рождается этот фотон. При этом фотон приобретает массу

$$m = \frac{\hbar\omega}{c^2} \sin \psi = \frac{\hbar\omega}{c^2 n} \quad (3)$$

и скорость

$$v = c \cos \psi = \frac{c}{n}. \quad (4)$$

Мы предполагаем, что гравитационное поле, в котором рождаются фотоны, описывается решением Шварцшильда и ему соответствует показатель преломления [12]

$$n(r) = (g_{00})^{-1} = \left(1 - \frac{r_g}{r}\right)^{-1} \approx 1 + \frac{r_g}{r} = 1 + \frac{2\gamma M}{rc^2}. \quad (5)$$

В нерелятивистском приближении потенциальная  $U$  и кинетическая  $T$  энергии частицы с параметрами (3, 4) имеют вид:

$$T = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{\hbar\omega\sqrt{n^2 - 1}}{2n^3}, \quad U = -\frac{\gamma M m}{r} = -\frac{\gamma M \hbar\omega\sqrt{n^2 - 1}}{c^2 n r}. \quad (6)$$

Нас интересуют ситуации, когда общая энергия частицы  $E = T + U$  отрицательна. Именно такие частицы удерживаются потенциалом и не уходят на бесконечность. Вычислим энергию  $E$ :

$$E = \frac{\hbar\omega\sqrt{n^2 - 1}}{2n^3} - \frac{\gamma M \hbar\omega\sqrt{n^2 - 1}}{c^2 n r} = \frac{\hbar\omega\sqrt{n^2 - 1}}{2n} \left(\frac{1}{n^2} - n + 1\right). \quad (7)$$

Условие удержания частиц сводится к неравенству

$$n^3 - n^2 - 1 > 0. \quad (8)$$

Оно выполняется при условии  $n > 1.47$  или

$$r_{max} < 4.26 \frac{\gamma M}{c^2}. \quad (9)$$

Формула (9) дает максимальное значение радиуса, за которым рождающиеся частицы уже не удерживаются гравитационным полем.

Этот результат был получен в предположении, что вся масса  $M$  сосредоточена в центре, иначе говоря, частица является точечной. Рассмотрим ситуацию, когда гравитирующий объект (звезда)  $M$  имеет форму шара радиуса  $R$  и его масса  $M$  распределена в нем с однородной плотностью  $\rho$ .

Пусть фотон рождается в точке, находящейся на расстоянии  $r$  от центра звезды. Внутри этого радиуса содержится масса  $M(r) = \frac{4}{3}\pi\rho r^3$ . Энергия  $E$  такого фотона определяется по формуле (7) и имеет вид:

$$E = \frac{\hbar\omega\sqrt{n^2-1}}{2n} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{8\gamma\pi\rho r^2}{3c^2} \right) = \frac{\hbar\omega\sqrt{n^2-1}}{2n} \left( \frac{1}{(1 + \frac{8\gamma\pi\rho r^2}{3c^2})^2} - \frac{8\gamma\pi\rho r^2}{3c^2} \right). \quad (10)$$

Условие удержания родившегося фотона дает значение минимального радиуса, вне которого происходит удержание родившихся фотонов

$$r_{min} = \left( \frac{1.41c^2}{8\gamma\pi\rho} \right)^{1/2}. \quad (11)$$

Таким образом, область, внутри которой удерживаются родившиеся фотоны, расположена между двумя радиусами:  $r_{min}$  и  $r_{max}$ :

$$\left( \frac{1.41c^2}{8\gamma\pi\rho} \right)^{1/2} < r < 4.26 \frac{\gamma M}{c^2} = 5.67 \frac{\gamma\pi\rho R^3}{c^2}. \quad (12)$$

**Параметры космических объектов.** Рассмотрим несколько характерных космических объектов [14] и сравним их гравитационные параметры: массу  $M$ , радиус  $R$ , плотность  $\rho$ , гравитационный радиус  $r_g$ ,  $r_{min}$ ,  $r_{max}$ .

1) Солнце

$$M \approx 2 \cdot 10^{33} \text{ г}, R \approx 7 \cdot 10^{10} \text{ см}, \rho \approx 1.4 \text{ г/см}^3, r_g \approx 3 \cdot 10^5 \text{ см}, r_{min} \approx 2.45 \cdot 10^{13} \text{ см}, r_{max} \approx 5.7 \cdot 10^5 \text{ см}.$$

2) Белый карлик

$$M \approx 2 \cdot 10^{33} \text{ г}, R \approx 10^8 \text{ см}, \rho \approx 4.7 \cdot 10^8 \text{ г/см}^3, r_g \approx 3 \cdot 10^5 \text{ см}, r_{min} \approx 1.3 \cdot 10^9 \text{ см}, r_{max} \approx 5.7 \cdot 10^5 \text{ см}.$$

3) Нейтронная звезда (1)

$$M \approx 6 \cdot 10^{33} \text{ г}, R \approx 10^6 \text{ см}, \rho \approx 1.4 \cdot 10^{15} \text{ г/см}^3, r_g \approx 10^6 \text{ см}, r_{min} \approx 7.7 \cdot 10^5 \text{ см}, r_{max} \approx 1.7 \cdot 10^6 \text{ см}.$$

## 4) Нейтронная звезда (2)

$M \approx 6 \cdot 10^{33} \text{ г}$ ,  $R \approx 10^5 \text{ см}$ ,  $\rho \approx 1.4 \cdot 10^{18} \text{ г/см}^3$ ,  $r_g \approx 10^6 \text{ см}$ ,  $r_{\min} \approx 7.7 \cdot 10^5 \text{ см}$ ,  $r_{\max} \approx 1.7 \cdot 10^6 \text{ см}$ .

## 5) Гравстар (1)

$M \approx 10^{35} \text{ г}$ ,  $R \approx 1.5 \cdot 10^7 \text{ см}$ ,  $\rho \approx 7 \cdot 10^{12} \text{ г/см}^3$ ,  $r_g \approx 1.5 \cdot 10^7 \text{ см}$ ,  $r_{\min} \approx 10^7 \text{ см}$ ,  $r_{\max} \approx 3 \cdot 10^7 \text{ см}$ .

## 6) Гравстар (2)

$M \approx 10^{39} \text{ г}$ ,  $R \approx 10^{11} \text{ см}$ ,  $\rho \approx 2.3 \cdot 10^{20} \text{ г/см}^3$ ,  $r_g \approx 1.5 \cdot 10^{11} \text{ см}$ ,  
 $r_{\min} 1.9 \approx 10^3 \text{ см}$ ,  $r_{\max} \approx 2.8 \cdot 10^{10} \text{ см}$ .

Для того, чтобы у гравитационного объекта существовала область, внутри которой удерживались бы родившиеся фотоны, должны выполняться два условия:

$$r_{\min} < r_{\max}, \quad (13)$$

$$r_g < R < r_{\max}. \quad (14)$$

Из приведенных ранее данных видно, что в случае звезд типа Солнце и белого карлика условие (13) не выполняется. Для нейтронных звезд типа (1) условие (13) выполнено, условие (14) находится на пределе выполнения, поскольку у таких объектов их физический радиус  $R$  примерно совпадает с гравитационным  $r_g$ . Однако, поскольку гравитационный радиус вычисляется для массы, сосредоточенной в одной точке, а масса нейтронной звезды распределена внутри ее радиуса, то ее гравитационный радиус должен иметь меньшее значение. Поэтому мы считаем, что нейтронные звезды типа (1) можно отнести к числу объектов, для которых выполняются условия (13), (14).

Примерно те же аргументы, но с большими оговорками, можно привести и в случае нейтронных звезд типа (2) и гравстар все трех типов. Во всех этих объектах может произойти формирование оболочечной структуры. Для того, чтобы лучше понять этот процесс, изучим строение гравстар.

*Строение гравстар.* Модель гравстар была предложена в работе [11] в качестве альтернативы черным дырам. Это статическое сферически-симметричное поле с метрикой

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + \frac{dr^2}{h(r)} + r^2(d\theta + \sin^2\theta d\phi^2). \quad (15)$$

Предполагается, что материя представляет собой среду без внутренних натяжений, в которой плотность  $\rho(r)$  и давление  $p(r)$  связаны уравнением

$$\frac{dp}{dr} + \frac{\rho + p}{2f} \frac{df}{dr} = 0. \quad (16)$$

Нормировка  $\rho$  и  $p$  дана в [11].

При этих условиях уравнения Эйнштейна редуцируются к системе уравнений на коэффициенты  $h(r), f(r)$  метрики (15):

$$\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} [r(1 - h)] = 8\pi\gamma\rho, \quad \frac{h}{rf} \frac{df}{dr} + \frac{1}{r^2}(h - 1) = 8\pi\gamma\rho. \quad (17)$$

Для того, чтобы решить систему уравнений (16), (17), необходимо наложить дополнительную связь на величины  $\rho, p$ . В зависимости от вида этой связи возникает тот или иной тип решения уравнений Эйнштейна.

Предполагается, что вся материя сосредоточена в пространстве внутри радиуса  $r_2$ . Это области I и II на рис. 1. Поэтому в области III материя отсутствует и мы имеем

$$\rho = p = 0, \quad r_2 < r. \quad (18)$$

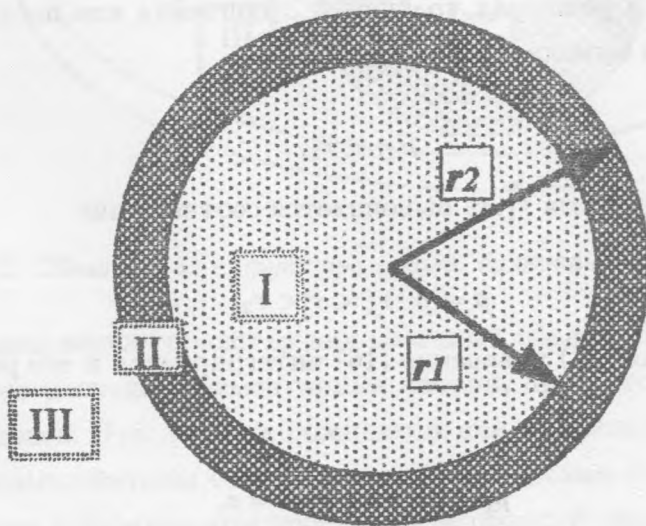


Рис. 1. Оболочечная структура гравстар.

Таким образом, вне радиуса  $r_2$ , в области III на рис. 1, метрика (15) имеет вид метрики Шварцшильда с коэффициентами

$$f(r) = h(r) = 1 - \frac{2\gamma M}{r}, \quad r \geq r_2. \quad (19)$$

При этом предполагается, что внешний радиус границы материи больше гравитационного радиуса, соответствующего массе  $M$ :

$$r_g = 2\gamma M < r_2. \quad (20)$$

Благодаря этому в модели гравстар метрика несингулярная и не возникает эффектов типа черных дыр.

Во внутренней области I гравстар располагается среда, для которой выполняется соотношение

$$\rho = -p, \quad 0 \leq r \leq r_1. \quad (21)$$

Такая связь между плотностью и давлением приводит к решению де Ситтера, которому соответствуют коэффициенты

$$f(r) = ch(r) = 1 - \frac{r^2}{R_D^2}, \quad 0 \leq r \leq r_1. \quad (22)$$

Здесь  $R_D$  – радиус кривизны мира де Ситтера. Также, как и масса  $M$  в решении Шварцшильда, он возникает в решениях уравнений Эйнштейна как постоянная интегрирования. Для него должно выполняться соотношение

$$R_D < r_1. \quad (23)$$

В области II между радиусами  $r_1, r_2$  выполняется соотношение

$$\rho = p, \quad r_1 < r < r_2. \quad (24)$$

При выполнении условия (24) уравнение (16) интегрируется и его решение принимает вид

$$p(r)f(r) = \text{const} = a. \quad (25)$$

Также оказывается удобным ввести новую неизвестную величину

$$w = 8\pi\gamma r^2 p \quad (26)$$

и переписать систему (16), (17) в терминах величин  $h, w$ :

$$\frac{dr}{r} = \frac{dh}{1-w-h}, \quad \frac{dh}{h} = -\frac{1-w-h}{1+w-3h} \frac{dw}{w}. \quad (27)$$



Величина  $w$  характеризует распределение массы вдоль радиуса  $r$ :

$$\gamma dm(r) = w(r) dr. \quad (28)$$

С помощью величины  $h$  можно вычислять расстояние  $l$  между точками  $r_1$  и  $r_2$ , расположенными на одном радиусе:

$$l = \int_{r_1}^{r_2} dr h^{-1/2}. \quad (29)$$

Коэффициенты  $h(r), f(r)$  сшиваются на границах областей  $r_1, r_2$ .

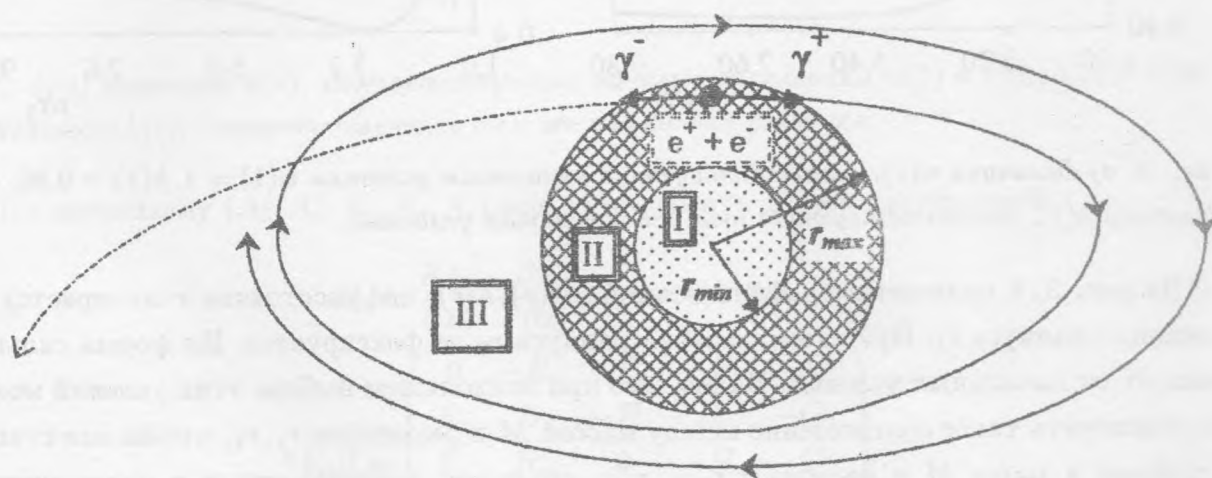


Рис. 2. Оболочечная структура с гало, возникающая в МРП.

Мы рассматриваем модель гравстар как конечный объект, который формируется в результате процессов распадов элементарных частиц, при которых возникает некоторое количество фотонов. Эти фотоны рождаются как с положительными, так и с отрицательными массами. Фотоны с отрицательными массами отбрасываются вдали от объекта и формируют в космическом пространстве области темной энергии, в которых выполняется условие (21). На рис. 2 изображена пара фотонов, родившаяся в результате аннигиляции электрона с позитроном. Они имеют массы разного знака. Фотоны с положительными массами, в зависимости от того, в какой области они рождаются, либо остаются в окрестности гравитационного объекта и образуют его гало из темной материи, либо улетают от него. Фотоны с отрицательными массами отбрасываются в свободное космическое пространство и инициируют динамику космологического расширения, управляемого антигравитацией. При определенных условиях в центральной

области объекта, при  $r < r_{min}$  возможно пленение фотонов с отрицательной массой и формирование пространства, в котором выполняется условие (21).

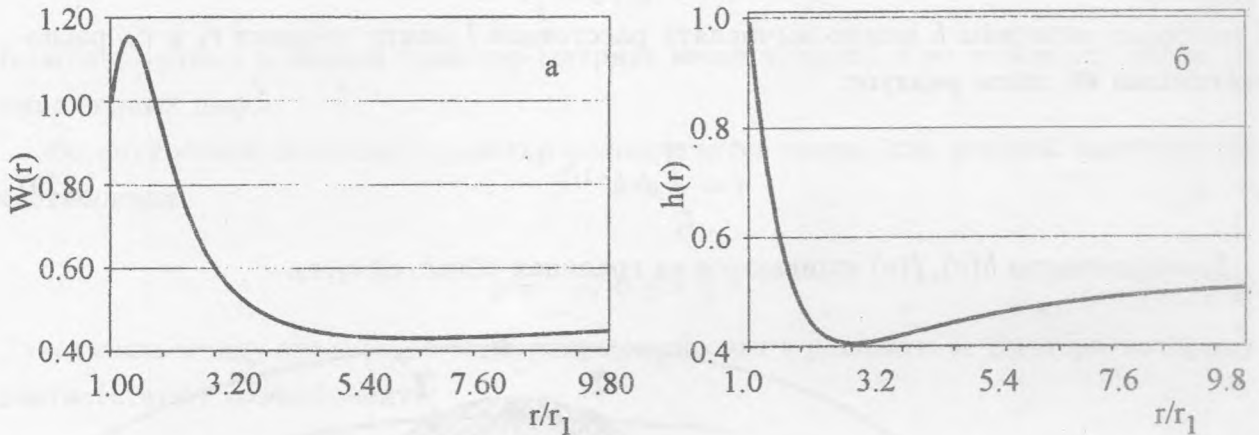


Рис. 3. а) Величина  $w(r)$ , соответствующая начальным условиям  $w(1) = 1, h(1) = 0.99$ . б) Величина  $h(r)$ , соответствующая тем же начальным условиям.

На рис. 3, 4 приведены графики величин  $w(r), h(r)$ , где расстояние  $r$  измеряется в единицах радиуса  $r_1$ . При этом значение радиуса  $r_2$  не фиксируется. Их форма сильно зависит от начальных условий. Видно, что при подходящем выборе этих условий можно обеспечить такое соотношение между массой  $M$  и размерами  $r_1, r_2$ , чтобы они стали близкими к массе  $M$  и радиусам  $r_{min}, r_{max}$  объектов, рассмотренных в предыдущем разделе. Решение уравнений (17), изображенное на рис. 3, соответствует случаю, когда в центральной части гравстар формируется область пространства де Ситтера, как это изображено на рис. 1 с  $r_1 > 0$ . Решение уравнений (17), изображенное на рис. 4, соответствует случаю, когда область II можно отсчитывать практически от нуля ( $r_1 \ll r_g$ ) и в центральной части гравстар не образуется области пространства де Ситтера. Вопрос о том, какая из этих возможностей реализуется в случае конкретных физических объектов, требует дополнительного изучения.

*Электромагнитное поле в МРП.* Фотонный вектор (1) описывает фотон в терминах механических характеристик: энергии, массы и импульса. Однако его можно описать и на языке потенциалов и напряженностей.

В расширенном пространстве  $G(1,4)$  5-потенциал электромагнитного поля имеет вид:

$$(\varphi, \vec{A}, A_4) = (A_0, A_x, A_y, A_z, A_s). \quad (30)$$

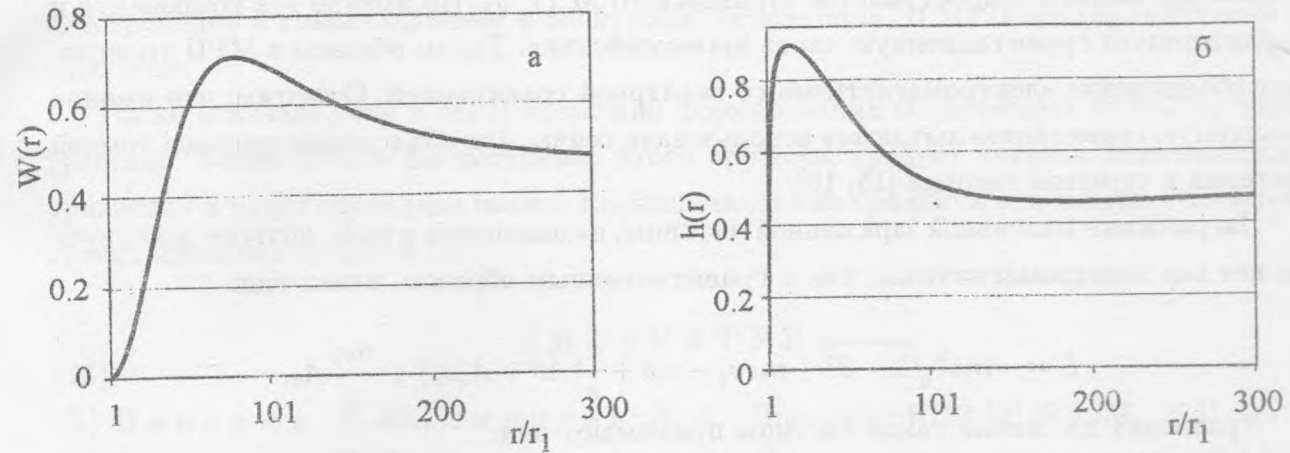


Рис. 4. а) Величина  $w(r)$ , соответствующая начальным условиям  $w(1) = 0.01, h(1) = 0.05$ . б) Величина  $h(r)$ , соответствующая тем же начальным условиям.

По потенциалу  $(A_0, A_x, A_y, A_z, A_s)$  можно построить тензор напряжений:

$$F_{ik} = \frac{\partial A_i}{\partial x_k} - \frac{\partial A_k}{\partial x_i}; \quad i, k = 0, 1, 2, 3, 4. \quad (31)$$

$$\|F_{ik}\| = \begin{pmatrix} 0 & -E_x & -E_y & -E_z & -Q \\ E_x & 0 & -H_z & H_y & -G_x \\ E_y & H_z & 0 & -H_x & -G_y \\ E_z & -H_y & H_x & 0 & -G_z \\ Q & G_x & G_y & G_z & 0 \end{pmatrix}. \quad (32)$$

Здесь:

$$Q = F_{40} = \frac{\partial A_4}{\partial x_0} - \frac{\partial A_0}{\partial x_4} = \frac{\partial A_s}{c \partial t} - \frac{\partial \varphi}{\partial s}, \quad (33)$$

$$G_x = F_{41} = \frac{\partial A_4}{\partial x_1} - \frac{\partial A_1}{\partial x_4} = \frac{\partial A_s}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial s}, \quad (34)$$

$$G_y = F_{42} = \frac{\partial A_4}{\partial x_2} - \frac{\partial A_2}{\partial x_4} = \frac{\partial A_s}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial s}, \quad (35)$$

$$G_z = F_{43} = \frac{\partial A_4}{\partial x_3} - \frac{\partial A_3}{\partial x_4} = \frac{\partial A_s}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial s}. \quad (36)$$

В рамках МРП возможно объединение гравитационного и электромагнитного взаимодействий [3]. Они описываются единым 5-потенциалом (30). Это вектор в расширенном пространстве  $G(1, 4)$ , а его пятая компонента  $A_s$  является скаляром по отношению

к преобразованиям в пространстве Минковского  $M(1, 3)$ . Но именно эта компонента и характеризует гравитационную часть взаимодействия. Таким образом в МРП происходит объединение электромагнетизма со скалярной гравитацией. Отметим, что именно скалярную гравитацию пытаются использовать сейчас для объяснения природы темной материи и скрытой энергии [15, 16].

Лагранжиан массивной заряженной частицы, находящейся в поле, которое действует на нее как электромагнитным, так и гравитационным образом, имеет вид:

$$L = -mc^2 \sqrt{1 - \beta^2} + mcv_s - e\varphi + \frac{e}{c}(\vec{A}\vec{v} + A_s v_s) + \frac{m\gamma}{e} A_s. \quad (37)$$

Уравнения движения такой частицы принимают вид:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = e\vec{E} + \frac{e}{c}[\vec{v}, \vec{H}] + \gamma \frac{m}{e} \text{grad} A_s, \quad (38)$$

$$\frac{dm}{dt} = \frac{e}{c} Q + \frac{e}{c^2}(\vec{v}, \vec{G}) + \gamma \frac{m}{e} \frac{\partial A_s}{\partial s}. \quad (39)$$

Наличие в лагранжиане члена

$$\frac{m\gamma}{e} A_s \quad (40)$$

приводит к тому, что потенциал  $A_s$  становится наблюдаемой величиной. Но для того, чтобы измерить его, следует учитывать не только электромагнитное, но и гравитационное взаимодействие.

Таким образом, в рамках МРП существует механизм, согласно которому в окрестности массивных гравитационных объектов может формироваться гало, состоящее из фотонов с положительными массами. Эти гало мы ассоциируем с темной материей. Фотоны с отрицательными массами концентрируются вдали от массивных объектов и образуют области темной энергии. Эти области характеризуются отрицательным давлением и проявляют свойства антигравитации, которая и вызывает ускоренное расширение той видимой части Вселенной, которая состоит из положительной материи. При прохождении пучков света, состоящих из фотонов с положительными массами, через области темной энергии, должен возникать эффект дефокусировки, противоположный эффекту фокусировки света в гравитационных линзах [17].

Гравитационное взаимодействие, приводящее к такому эффекту, описывается потенциалом, который является скаляром по отношению к преобразованиям в пространстве Минковского  $M(1, 3)$ . Но по отношению к преобразованиям в расширенном пространстве  $G(1, 4)$  он служит пятой компонентой вектор-потенциала, который порождает

одновременно и гравитационное и электромагнитное поля. В МРП они объединяются в одно поле.

Также показано, что в МРП возможно формирование оболочечных структур типа гравстар. Более точное рассмотрение этого процесса требует анализа динамических уравнений и будет проделано позже. Необходимо также сравнить эти модели с моделью гравитационных пузырей [18].

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Препринт ИОФАН N 4, М., 2001.
- [2] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 6, 23 (2000); arXiv:gr-qc/0106093, 2001.
- [3] Ципенюк Д. Ю., Андреев В. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, N 6, 3 (2002); arXiv:physics/0302006, 2003.
- [4] Чернин А. Д. УФН, **171**, 1153 (2001).
- [5] Ellis J. arXiv:astro-ph/0304183 v1, (2003).
- [6] Kratochvil J. et al. arXiv:astro-ph/0312183 v1, (2003).
- [7] Alam U., Sshni V., and Starobinsky A. A. arXiv:astro-ph/0302302 v3, (2003).
- [8] Alam U. et al. arXiv:astro-ph/0311364 v2, (2003).
- [9] Ривлин Л. А. Квантовая электроника, **33**, 777 (2003).
- [10] Bondi H. Rev. Mod. Phys., **29**, 423 (1957).
- [11] Mazur P. O. and Mottola E. arXiv:gr-qc/0109035, (2002).
- [12] Okun L. B. arXiv:hep-ph/0010120 v2, (2000).
- [13] Collins R. L. arXiv:hep-ph/0012504 v1, (2000).
- [14] Физическая энциклопедия (под. ред. А. М. Прохорова), (Москва, Советская Энциклопедия, 1998).
- [15] Zlatev I., Wang L., and Steinhardt P. I. Phys. Rev., **D59**, 123504 (1999).
- [16] Silbergleit A. S. arXiv:astro-ph/0208481 v1, (2002).
- [17] Гуревич А. В., Зыбин К. П., Сирота В. А. УФН, **167**, 913 (1997).
- [18] Berezin V. A., Kuzmin V. A., and Tkachev I. I. Phys. Rev., **D36**, 2919 (1987).