



Scan to know paper details and
author's profile

Age, Size, Dynamics of Energy, Matter, and Masses of Black Holes in the Model of Accelerated Expansion of the Universe, based on the Idea of a Hypothetical 4-dimensional Inverted Substance

Evgeny P. ORLOV

ABSTRACT

The consequences of the previously proposed model of accelerated expansion of the Universe based on the idea of a hypothetical 4-dimensional substance with an inverse population of energy levels are considered. Based on the data on the time and redshift of the beginning of recombination and the last scattering, taking into account the dependence of the redshift on time obtained in this model, the age of the Universe was found, which turned out to be ≈ 230 billion years. The dimensions of the Universe, which is a 4-dimensional spherical layer with a radius of 2400 Gpc, are determined. The dynamics of black hole mass growth is found to coincide with the observed data on the growth of black hole masses in elliptical galaxies, where there is no gas, the accretion of which could explain the growth of their masses. The dynamics of the masses of black holes in the considered model is compared with the dynamics of the masses in the model based on the standard model. It is shown that the dynamics of the growth of the energy of baryonic and dark matter coincides in form with the dynamics of the growth of the masses of black holes.

Keywords: 4D substance, 4D spherical layer, redshift, Type Ia supernovae, quasars, gamma-ray bursts, black holes, elliptical galaxies, baryonic and dark matter.

Classification: MSC: 62G08, 62G20, 62M10



Great Britain
Journals Press

LJP Copyright ID: 925661
Print ISSN: 2631-8490
Online ISSN: 2631-8504

London Journal of Research in Science: Natural and Formal

Volume 22 | Issue 7 | Compilation 1.0



Age, Size, Dynamics of Energy, Matter, and Masses of Black Holes in the Model of Accelerated Expansion of the Universe, based on the Idea of a Hypothetical 4-dimensional Inverted Substance

Evgeny P. ORLOV

ABSTRACT

The consequences of the previously proposed model of accelerated expansion of the Universe based on the idea of a hypothetical 4-dimensional substance with an inverse population of energy levels are considered. Based on the data on the time and redshift of the beginning of recombination and the last scattering, taking into account the dependence of the redshift on time obtained in this model, the age of the Universe was found, which turned out to be ≈ 230 billion years. The dimensions of the Universe, which is a 4-dimensional spherical layer with a radius of 2400 Gpc, are determined. The dynamics of black hole mass growth is found to coincide with the observed data on the growth of black hole masses in elliptical galaxies, where there is no gas, the accretion of which could explain the growth of their masses. The dynamics of the masses of black holes in the considered model is compared with the dynamics of the masses in the model based on the standard model. It is shown that the dynamics of the growth of the energy of baryonic and dark matter coincides in form with the dynamics of the growth of the masses of black holes. The rate of matter formation is compared with the rate of star formation. It is concluded that currently dark matter is practically not formed, and it was formed at the most rapid temps at a redshift of more than two.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены следствия из предложенной ранее модели ускоренного расширения Вселенной, основанной на представления о гипотетической 4-мерной субстанции с инверсной заселенностью энергетических уровней. На основе данных о времени и красном смещении начала рекомбинации и последнего рассеяния с учетом полученной в данной модели зависимости красного смещения от времени найден возраст Вселенной, который оказался ≈ 230 млрд лет. Определены размеры Вселенной, представляющей собой 4-мерный сферический слой с радиусом 2400 Гпк. Найдена динамика роста масс черных дыр, совпадающая с наблюдаемыми данными роста масс черных дыр в эллиптических галактиках, где отсутствует газ, акреция которого могла бы объяснить рост их масс. Проведено сравнение динамики масс черных дыр в рассматриваемой модели с динамикой масс в модели, основанной на стандартной модели. Показано, что динамика роста энергии барионной и темной материи по форме совпадает с динамикой роста масс черных дыр. Проведено сравнение скорости формирования материи со скоростью звездообразования. Сделан вывод, что в настоящее время темная материя практически не образуется, а наиболее быстрыми темпами она образовывалась при красном смещении больше двух.

Ключевые слова: 4-мерная субстанция, 4-мерный сферический слой, красное смещение, сверхновые типа Ia, квазары, гамма-всплески, черные дыры, эллиптические галактики, барионная и темная материя.

Author: Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 Москва, Россия.

I. ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] на основе представления о гипотетической 4-мерной субстанции с инверсной заселенностью энергетических уровней была предложена модель ускоренного расширения Вселенной, которая с большой точностью описывает диаграммы Хаббла для сверхновых типа Ia [2], квазаров [3] и источников гамма-всплесков [4]. Она также позволяет объяснить почему параметр Хаббла, определенный по реликтовому излучению, отличается от параметра Хаббла, найденного на основе лестницы расстояний [5, 6].

Как и в [7-10] в рассматриваемой модели, наша Вселенная заключена в 4-мерном сферическом слое, образованном перед расширяющимся 4-мерным шаром, внутри которого находится источник расширения. Однако, в отличие от работ [7-10], источник расширения имеет иную природу и геометрию. В [1] источник обусловлен вынужденными переходами с верхнего на нижний уровни энергии 4-мерной гипотетической субстанции, а 4-мерный сферический слой возникает на определенном этапе расширения ее шаровой области в результате фазового перехода в твердое состояние (механизм фазового перехода не рассматривается, поскольку не влияет на результаты работы). Как показано в [1] твердый 4-мерный сферический слой оказывает сильное влияние на динамику расширения Вселенной в силу своей гигантской по сравнению с обычными твердыми телами упругостью, обеспечивающей распространение в нем волн деформаций со скоростью света.

Такой слой удерживает волны деформаций вещества этого слоя возбуждаемые в нем в процессе «бомбардировки» внутренней поверхности слоя квантами излучения, образующимися при вынужденных переходах с верхнего на нижний уровни энергии 4-мерной гипотетической субстанции. Собственные волновые функции, описывающие деформации вещества слоя или, другими словами, моды слоя сопоставляются в зависимости от числа полуволн, укладывающихся в направлении нормали к слою, тем или иным элементарным частицам. Твёрдый сферический слой для этих частиц-волн и образуемых ими макрообъектов выступает как вакуум, который практически не оказывает сопротивления их движению. Мода, отвечающая минимальной энергии, сопоставляется с электроном, поэтому толщина сферического слоя равна половине комптоновской длины волны электрона и несопоставима мала по сравнению с его радиусом и доступными нам для наблюдения космическими расстояниями. В силу этого 4-мерный сферический слой в этих же масштабах может рассматриваться как неограниченный плоскопараллельный слой [11, 12], образованный упомянутой твёрдой субстанцией, а пространство внутри него может рассматриваться как 3-мерное плоское пространство. Подчеркнём, что даже такая грубая модель потенциала, удерживающего волны в слое, как бесконечно глубокая потенциальная яма, способна как показано в [13-15] точно описывать как кинематику, так и динамику релятивистских эффектов.

Отметим, что данная модель не противоречит модели Большого взрыва. Отличие лишь в том, что электроны, протоны и нейтроны возникают в процессе образования 4-мерного сферического слоя как моды этого слоя и с момента их возникновения начинается первичный нуклеосинтез [16, 17]. Момент образования 4-мерного сферического слоя можно рассматривать как момент образования нашей Вселенной как пространства, заполненного различными видами материи.

В [1] было показано, что в данной модели величина 13.8 млрд лет характеризует не возраст Вселенной, а время распространения света от тех галактик, ускорение удаления которых имеет минимальное значение. На основе недавно обнаруженной кривизны Вселенной [18] были даны оценки радиуса 4-мерного сферического слоя и возраста Вселенной. Эти оценки носят весьма приблизительный характер. Как показано ниже найти эти характеристики Вселенной с большей

точностью можно, используя полученные в [1] формулы для зависимости красного смещения и радиуса 4-мерного сферического слоя от времени, прошедшего с момента образования Вселенной, которое определяется по моменту времени и красному смещению начала первичной рекомбинации и моменту времени и красному смещению последнего рассеяния.

II. ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ И РАДИУС СФЕРЫ ПОСЛЕДНЕГО РАССЕЯНИЯ

Зависимость красного смещения от времени распространения излучения от источника в рассматриваемой модели описывается формулой

$$z(x) = H_0 t_0 \frac{x}{1+x} \exp \left\{ \frac{H_0 t_0}{2\pi} \frac{T_0}{R_0} [x - \ln(1+x)] \right\} \quad (1)$$

где $x = (t - t_e)/t_0$; H_0 – параметр Хаббла; t – настоящий момент времени; t_e – момент времени, в который происходит излучение источника; t_0 – момент времени, когда возник 4-мерный сферический слой, то есть наша Вселенная; R_0 – радиус 4-мерного сферического слоя в момент его возникновения t_0 ; $T_0 = ct_0$. Все параметры, входящие в формулу определены в [1] из сравнения полученных зависимостей с диаграммами Хаббла для суперновых Ia, квазаров и гамма-всплесков: $H_0 = 67.7$ км/с/Мпк; $t_0 = 27.7$ млрд лет; $H_0 t_0 = 1.92$; $R_0 = 2.24$ Гпк; $T_0 = 8.5$ Гпк; $H_0 t_0 T_0 / (2\pi R_0) = \beta/4$, где $\beta = 4.64$ [1]. Момент времени t_e это момент, который наблюдается в прошлом из настоящего времени. Разность настоящего и наблюдаемого моментов времени будем обозначать буквой τ .

Как известно, в модели Большого взрыва [16] приблизительно через двадцать минут после возникновения 4-мерного сферического слоя первичный нуклеосинтез завершается и вещество во Вселенной представляет собой ионизированную электрон-фотон-протонную плазму, очень плотную и горячую. Энергия теплового движения столь велика, что любые нейтральные атомы, едва образовавшись, почти сразу распадаются в соударениях на протоны и электроны. Фотоны взаимодействуют с первичной плазмой, излучаясь при ускоренном движении заряженных частиц и рассеиваясь на них.

По мере расширения Вселенной плазма остывает. В какой-то момент фотоны рассеявшись в последний раз, становятся свободными и равномерно устремляются во все стороны, сформировав то, что называется реликтовым излучением [19]. Таким образом, наблюдаемое сегодня реликтовое излучение образовалось во время перехода первоначальной высокотемпературной плазмы в состояние газа нейтральных частиц – атомов водорода и гелия.

Область космоса, в которой образовалось реликтовое излучение, называют поверхностью последнего рассеяния [16]. Она окружает нас со всех сторон и может быть представлена в виде сферы радиуса R_f . Внутри поверхности последнего рассеяния Вселенная является прозрачной. Поверхность последнего рассеяния образовалась при температуре плазмы около 3000 К и примерном возрасте Вселенной 380000 лет [20]. Красное смещение для поверхности последнего рассеяния составляет $z_f \approx 1090$ [21]. Но до момента последнего рассеяния была эпоха остывания первоначальной плазмы и следующая за ней эпоха рекомбинации. Начало эпохи рекомбинации соответствует 200000 лет от t_0 и $z_r = 1400$ [22]. Указанные выше значения времен определены в стандартной космологической модели. В рассматриваемой модели зависимость разности настоящего и наблюдаемого моментов времени τ от красного смещения, отличается от зависимости в стандартной модели и описывается формулой (1), рис. 1. Видно, что при рассматривании процессов, протекавших в прошлом, производная

где $x = \tau/t_0$, уменьшается, то есть время замедляется. Красному смещению $z = z_f$ соответствует момент времени $T_f = 214.4$ млрд лет, а $z = z_r$ соответствует момент времени $T_r = 221$ млрд лет. Считая, что промежуток времени $T_r - T_f = 6.65$ млрд лет пропорционален промежутку времени в стандартной модели $(3.8 - 2.0) \cdot 10^5 = 1.8 \cdot 10^5$ лет, а $T - T_r$, где T – возраст Вселенной, пропорционален промежутку времени $2.0 \cdot 10^5$ лет, получаем, что $T - T_r = 7.4$ млрд лет. Отсюда находим возраст Вселенной $T = 221 + 7.4 = 228.4 \approx 230$ млрд лет. Этому значению, как следует из формулы

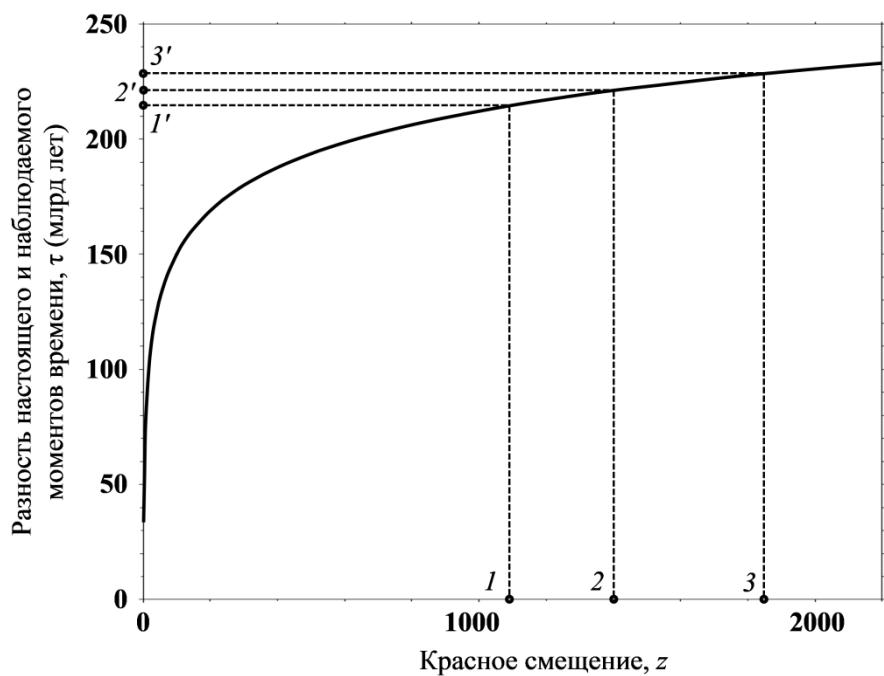


Рис. 1: Зависимость разности настоящего и наблюдаемого моментов времени τ от красного смещения. Точка 1 ($z = 1090$) отвечает моменту времени последнего рассеяния 214.4 млрд лет (точка 1'); точка 2 ($z = 1400$) отвечает началу эпохи рекомбинации 221 млрд лет (точка 2'); точка 3 ($z = 1850$) отвечает моменту возникновения 4-мерного сферического слоя, то есть Возрасту Вселенной 228.4 млрд лет (точка 3').

$$Z = H_0 t_0 \frac{T/t_0}{(1+T/t_0)^{1+\beta/4}} \exp\left(\frac{\beta T}{4t_0}\right),$$

полученной из (1) при замене $t_e = t_0$, $t - t_0 = T$ и $z = Z$, соответствует красное смещение $Z \approx 1850$, что проиллюстрировано графиком на рис. 1.

Найденный здесь возраст Вселенной 230 млрд лет на 15% меньше полученной ранее в [1] оценки по кривизне пространства Вселенной. Если отсчитывать возраст от момента зарождения 4-мерного шара, то $T^* = T + t_0 \approx 258$ млрд лет.

В [1] получена формула для расстояния, которое фотоны проходят от источника излучения до точки наблюдения в зависимости от времени распространения фотонов

$$D(x) = c t_0 \hat{O}_0^x \exp \left\{ \frac{H_0 t_0}{2p} \frac{c t_0}{R_0} \ln \left(1 + \frac{x}{c t_0} \right) \right\} \sqrt{1 + \frac{\alpha H_0 t_0}{2p} \frac{x^2}{1 + x^2}} dx.$$

Это позволяет найти радиус сферы последнего рассеяния. В данной модели этот радиус искривлен, так как соответствующее ему расстояние лежит на гиперповерхности 3-мерной сферы. Используя приведенную формулу, в которой полагаем $x = T_f/t_0$, получаем величину радиуса сферы последнего рассеяния

$$R_f = D(T_f/t_0) = T_0 \int_0^{T_f/t_0} \exp \left\{ \frac{\beta}{4} \left[x' - \ln(1+x') \right] \right\} \sqrt{1 + \left(\frac{H_0 t_0}{2\pi} \frac{x'}{1+x'} \right)^2} dx' \approx 5.6 \times 10^3 \text{ Гпк.}$$

III. РАЗМЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ

Зная возраст Вселенной, можно получить сведения о ее размерах. Полагая в формуле для радиуса 4-мерного сферического слоя

$$R(t) = R_0 \exp \left\{ \frac{\beta}{4} \left[\frac{t-t_0}{t_0} - \ln \left(1 + \frac{t-t_0}{t_0} \right) \right] \right\},$$

полученной в [1], $t - t_0 = T$, находим радиус Вселенной $R = R(t_0 + T) \approx 2.4 \cdot 10^3$ Гпк, что примерно в раза меньше сделанной в [1] оценки

Полученный результат позволяет объяснить, почему даже на таких огромных расстояниях как до самых далеких галактик UDFj-39546284 и GN-z11 мы видим плоскую Вселенную. Как показано в [1] расстояние до этих галактик составляет примерно $D_g \approx 80$ Гпк. Для объяснения найдем отклонение касательной к 3-мерной сфере в точке расположения нашей Галактики от сферической поверхности в точке расположения наблюдаемой галактики, которая удалена на расстояние D_g . Угол между направлениями из центра 3-мерной сферы в нашу Галактику и в далекую галактику $\alpha = D_g/R$. Отклонение касательной в точке наблюдения от источника излучения $\delta = R(1/\cos\alpha - 1) \approx R\alpha^2/2$. Подставляя сюда α , получаем $\delta/R \approx (D_g/R)^2/2 \approx 0.55 \cdot 10^{-3} \ll \Omega_k$, где $\Omega_k = 0.04$ – кривизна Вселенной, найденная в [18]. Таким образом, отклонение от 3-мерной сферы на расстоянии до самых далеких галактик примерно в 73 раза меньше кривизны Вселенной, что вряд ли можно заметить на современном этапе развития астрономической измерительной техники. Чтобы можно было заметить кривизну Вселенной по наблюдениям галактик необходимо обнаружить галактики удаленные от нашей Галактики на $D_g > R(2\Omega_k)^{1/2} \approx 680$ Гпк.

В рассматриваемой модели можно ввести понятие длины экватора Вселенной, то есть длины экватора 3-мерной сферы $L_e = 2\pi R$, которая составляет $\approx 1.5 \cdot 10^4$ Гпк. Вычисляя отношение $R_f/(L_e/2) \approx 0.74$ видим, что реликтовое излучение приходит из области, которая больше полушария 4-мерного шара. Таким образом, можно сделать вывод, что в рассматриваемой модели большая часть Вселенной прозрачна для реликтового излучения.

Также можно говорить об объеме Вселенной, V как площади гиперповерхности 3-мерной сферы S_3 : $V = S_3 = (4/3)\pi^2 R^3 \approx 1.7 \cdot 10^{11}$ Гпк³. В совокупности с найденной в [1] динамикой плотности

энергии в 4-мерном шаре и во Вселенной это позволяет проанализировать динамику полной энергии Вселенной.

IV. ДИНАМИКА ПОЛНОЙ ЭНЕРГИИ ВСЕЛЕННОЙ

Зная возраст Вселенной можно теперь определить во сколько раз возросла плотность энергии внутри 4-мерного шара, к которому прилегает 4-мерный сферический слой и, соответственно, во сколько раз уменьшилась плотность энергии материи от момента образования 4-мерного сферического слоя. Подставляя в полученное в [1] выражение $\rho_{\Xi}(t) = \rho_{\Xi}(t_0)(t/t_0)^{\beta}$ значение $t = T + t_0$, получаем $\rho_{\Xi}(T)/\rho_{\Xi}(t_0) = (1 + T/t_0)^{\beta} \approx 3 \cdot 10^4$. Во столько же раз уменьшилась плотность энергии материи во Вселенной $\rho_E(t)$, так как в данной модели $\rho_E(t) = \text{const}/\rho_{\Xi}(t)$ [1]. Поскольку плотность энергии материи во Вселенной в настоящий момент предполагается равной критической плотности и составляет $5.2 \cdot 10^{-6}$ ГэВ/см³ [23], то в момент образования Вселенной $\rho_E(t_0) = \rho_E(T)(1 + T/t_0)^{\beta} \approx 0.16$ ГэВ/см³.

Полная энергия излучения внутри 4-мерного шара

$$X(t) = r_x(t)V_4(t) = \frac{r_x(t) \frac{\epsilon R(t)^4}{4}}{r_x(t_0) \frac{\epsilon R_0^4}{4}} r_x(t_0) R_0^4.$$

С учетом того, что $\rho_{\Xi}(t_0)(R_0)^4 = \Xi(t_0)$, $\rho_{\Xi}(t) = \rho_{\Xi}(t_0)(t/t_0)^{\beta}$, а отношение $R(t)/R_0$ может быть представлено в виде

$$\frac{R(t)}{R_0} = \exp\left(\frac{\beta}{4} \frac{t-t_0}{t_0}\right) \left(1 + \frac{t-t_0}{t_0}\right)^{\beta/4} \quad (2)$$

полная энергия внутри 4-мерного шара возрастает как $\Xi(t) = \Xi(t_0)\exp[\kappa(t - t_0)]$ в полном соответствии с исходным в [1] уравнением $d\Xi/dt = \kappa\Xi$, где $\kappa = 5.31 \times 10^{-18}$ с⁻¹ – определенная в [1] вероятность перехода в фотонное состояние с верхних энергетических уровней 4-мерной гипотетической субстанции на нижележащие.

Полная энергия материи во Вселенной меняется в соответствии с формулой

$$E(t) = r_E(t)V(t) = E(t_0) \frac{r_E(t) \frac{\epsilon R(t)^3}{3}}{r_E(t_0) \frac{\epsilon R_0^3}{3}}$$

где $E(t_0) = \rho_E(t_0)V(t_0) = (4/3)\pi^2(R_0)^3\rho_E(t_0)$ – полная энергия Вселенной в момент ее образования. С учетом (2), и того, что $\rho_E(t) = \rho_E(t_0)(t/t_0)^{\beta}$, получаем

$$\frac{E(t)}{E(t_0)} = \exp\left(\frac{\beta}{4} \frac{t-t_0}{t_0}\right) \left(1 + \frac{t-t_0}{t_0}\right)^{\beta/4} \quad (3)$$

График зависимости $E(t)/E(t_0)$ представлен на рис. 2. Видно, что сначала полная энергия Вселенной падает примерно в 9 раз, а затем начинает расти и через промежуток времени, равный возрасту Вселенной, увеличивается в $4 \cdot 10^4$ раз по сравнению с энергией Вселенной в момент ее образования. Таким образом, приходим к выводу, что имеют место как потери, так и приток энергии материи во Вселенную. Чтобы выяснить соотношение между притоком энергии и ее потерями воспользуемся выражением для скорости изменения энергии во Вселенной, которое получается дифференцированием (3) по времени:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{bE}{4t_0} - \frac{7}{1 + (t - t_0)/t_0} \dot{E} \quad (4)$$

Правая часть (4) состоит из положительной части $3\beta E/(4t_0)$ и отрицательной части $dE/dt = -(7\beta E/4t_0)[1+(t - t_0)/t_0]^{-1}$. Из поведения графика на рис. 2 и из формулы (4) видно, что при $t = t_0$ производная отрицательна. Спустя промежуток времени, отсчитываемый от момента времени образования Вселенной $t - t_0 = 4t_0/3 \approx 37$ млрд лет производная обращается в нуль, а затем монотонно возрастает и при $t - t_0 \rightarrow \infty$ стремится к значению $3\beta/4t_0$. Начиная с момента ≈ 37 млрд лет приток начинает превышать потери.

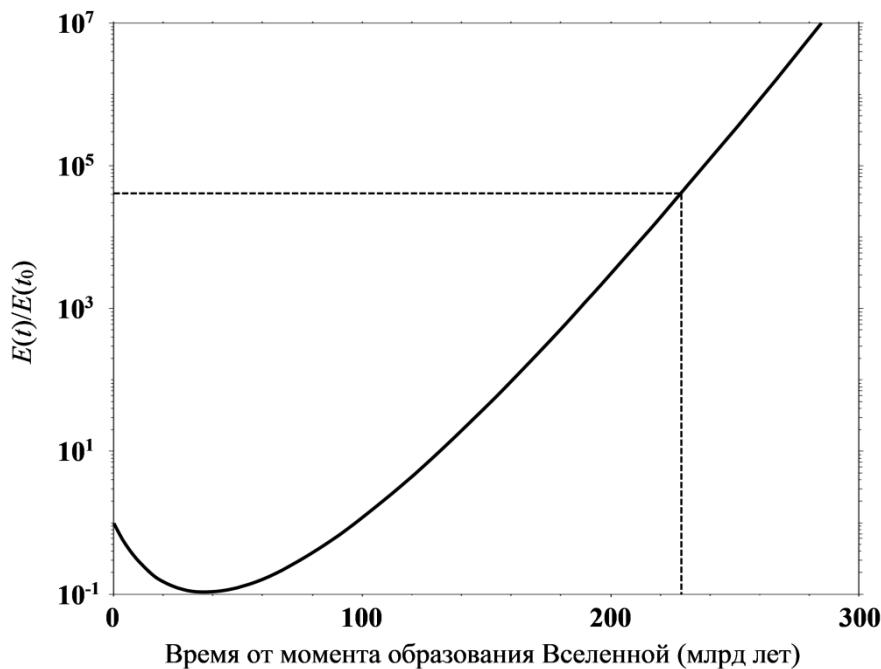


Рис. 2: Поведение полной энергии Вселенной во времени с момента ее образования. Вертикальная штриховая прямая соответствует возрасту Вселенной 228 млрд лет, рассчитанному по рассматриваемой модели.

V. ДИНАМИКА МАСС ЧЕРНЫХ ДЫР

Возможное объяснение потерь энергии основывается на том, что часть энергии, поступающей во Вселенную из 4-мерного шара, поглощается черными дырами (ЧД) [24]. Число квантов излучения в 4-мерном шаре растет экспоненциально [1]. Так как «бомбардировка» внутренней границы 4-мерного сферического слоя вначале слабая из-за малого количества квантов излучения в 4-мерном шаре, то процесс поглощения энергии ЧД превалирует над процессом возбуждения мод в 4-мерном сферическом слое, обусловленном «бомбардировкой» внутренней границы 4-мерного сферического слоя квантами излучения гипотетической 4-мерной субстанции. По мере экспоненциального роста числа квантов излучения в 4-мерном шаре частота «бомбардировки» увеличивается и процессы рождения элементарных частиц начинают превалировать над потерями энергии в ЧД.

Как говорилось выше, правая часть (4) состоит из положительной и отрицательной частей. Полагая, что отрицательная часть обусловлена поглощением энергии ЧД, и подставляя в нее E из (3) получаем формулу для скорости изменения энергии в ЧД

$$\frac{dE_{\text{BH}}}{dt} = \frac{7bE(t_0)}{4t_0} \exp \left(\frac{3b}{4} \int_{t_0}^t \exp \left(\frac{3b}{4} \int_{t_0}^x f_{\text{BH}}(x) dx \right) dx \right)^{1+7b/4}$$

Интегрируя это выражение по времени и выделяя в нем два слагаемых, одно из которых описывает энергию, которая поглощается ЧД от момента возникновения Вселенной к моменту начала ее наблюдения t_e , а другое – за промежуток времени $\tau = t - t_e$ между t_e и настоящим моментом времени t , равным $t_0 + T$ ($\tau = t_0 + T - t_e$), получаем

$$E_{\text{BH}}(t_0 + T) = E_{\text{BH}}(t_0) + E_{\text{BH}}|_{t_0}^{t_e} + E_{\text{BH}}|_{t_e}^{T+t_0},$$

где t_e представлено в виде $t_e = t_0 + T - \tau$:

$$E_{\text{BH}}|_{t_e}^{T+t_0} = (7b/4)E(t_0)e^{-3b/4} \int_{1+(T-t)/t_0}^{1+T/t_0} f_{\text{BH}}(x) dx,$$

$$E_{\text{BH}}|_{t_0}^{t_e} = (7b/4)E(t_0)e^{-3b/4} \int_1^{1+(T-t)/t_0} f_{\text{BH}}(x) dx,$$

$$f_{\text{BH}}(x) = \frac{e^{(3b/4)x}}{x^{1+7b/4}}.$$

Поскольку соотношение энергии ЧД и полной энергии наблюдаемой Вселенной в момент ее возникновения неизвестно, то положим, что доля энергии E_{BH} в момент образования Вселенной в полной энергии E равна μ : $E_{\text{BH}}(t_0) = \mu E(t_0)$, $0 \leq \mu \leq 1$. Если считать, что число ЧД во Вселенной за промежуток времени τ не меняется, то для ЧД, удаленных по времени на τ от настоящего момента времени, масса каждой ЧД M_{BH} с момента наблюдения t_e возрастет в

$$E_{\text{BH}}|_{t_e}^{T+t_0} / E(t_0) + E_{\text{BH}}|_{t_0}^{t_e} \text{ раз.}$$

$$F = \frac{M_{\text{BH}}(t)}{M_{\text{BH}}(t_e)} = \frac{E_{\text{BH}}|_{t_e}^{T+t_0}}{mE(t_0) + E_{\text{BH}}|_{t_0}^{t_e}} = \frac{(7b/4)e^{-3b/4} \int_{1+(T-t)/t_0}^{1+T/t_0} f_{\text{BH}}(x) dx}{m + (7b/4)e^{-3b/4} \int_1^{1+(T-t)/t_0} f_{\text{BH}}(x) dx}.$$
(5)

Совместно с формулой (1), в которой $x = \tau/t_0$, получаем параметрическую зависимость фактора роста F массы ЧД от красного смещения излучения звезд родительской галактики, в которой находится данная ЧД. Отметим, что формула (5) справедлива тогда, когда нет акреции газа на ЧД и слияния ЧД.

График зависимости F от красного смещения в диапазоне значений $0 \leq z < Z$ при разных значениях μ , изображен на рис. 3а. Видно, что в современную эпоху ($z \ll 0.1$) рост масс ЧД незначительный. Напротив, при $0.1 < z < 2$ происходит интенсивный рост масс ЧД практически

одинаковый для всех рассмотренных значений μ . Затем рост замедляется и в диапазоне значений $z > 10$ становится заметно различие роста при разных μ . При $z > 1000$ масса ЧД может претерпевать огромные изменения, например, для $\mu = 1/100$ в 10^6 раз. Видно, что в диапазоне $0 \leq z \approx 1.2$ возрастание масс ЧД происходит в 7 раз, а в диапазоне $0 \leq z \approx 2$ – в 20 раз, что хорошо совпадает с представленными в [25, 26] данными наблюдений роста масс ЧД в эллиптических галактиках.

VI. ДИНАМИКА ПРИТОКА ЭНЕРГИИ И СКОРОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ БАРИОННОЙ И ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

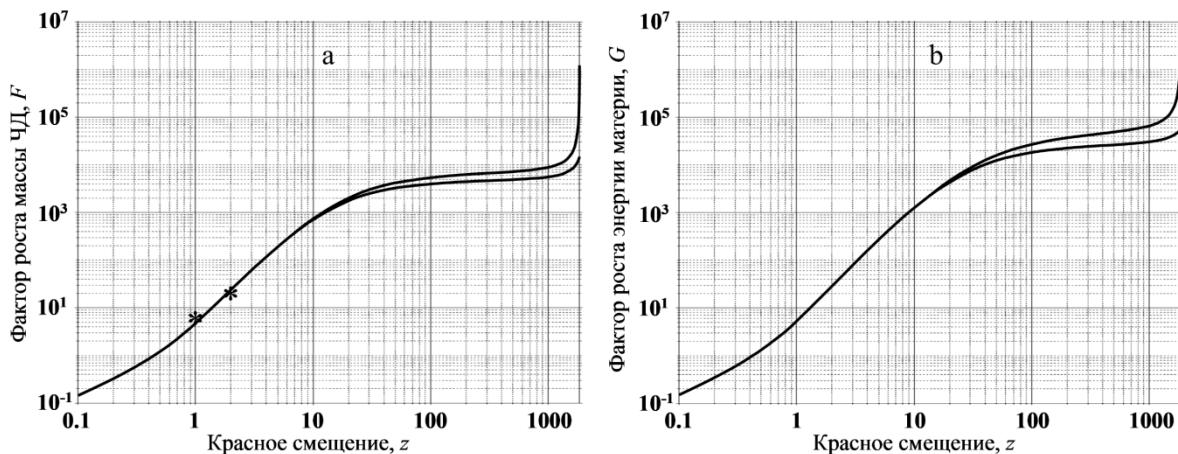


Рис. 3: Зависимость фактора роста F масс черных дыр от красного смещения излучения звезд галактик, в которых расположены ЧД (а); энергии материи (б). Кривые, идущие снизу вверх, построены для начальных долей энергии ЧД и материи 1 и $1/100$. Звездочки – данные работ [25, 26].

Рассмотрим теперь динамику притока энергии. Обозначим приток энергии как $E^{(+)}$. Подставляя в положительный член правой части формулы (4) выражение (3) для $E(t)$, получаем выражение для производной $dE^{(+)}/dt$:

$$\frac{dE^{(+)}}{dt} = \frac{3bE(t_0)}{4t_0} \exp \left(\frac{3b}{4} \frac{t - t_0}{t_0} \right) \left/ \right. + \frac{t - t_0}{t_0} \exp^{3b/4} .$$

Также как и в случае рассмотрения динамики энергии ЧД представим отношение притока энергии за период времени от момента возникновения Вселенной к моменту начала ее наблюдения t_e , а другое – за промежуток времени $\tau = t - t_e$ между t_e и настоящим моментом времени t , равным $t_0 + T$ ($\tau = t_0 + T - t_e$),

$$G = \frac{E^{(+)}(t)}{E^{(+)}(t_e)} = \frac{E^{(+)}\Big|_{t_e}^{t_0+T}}{nE(t_0) + E^{(+)}\Big|_{t_0}^{t_e}} = \frac{(3b/4)e^{-3b/4} \int_{1+(T-t)/t_0}^{1+T/t_0} f^{(+)}(x) dx}{n + (3b/4)e^{-3b/4} \int_{1+(T-t)/t_0}^{1+T/t_0} f^{(+)}(x) dx} ,$$

где $f^{(+)}(\xi) = \exp(3\beta\xi/4)/\xi^{\beta/4}$; ν – доля энергии $E^{(+)}$ в момент образования Вселенной в полной энергии E : $E^{(+)}(t_0) = \nu E(t_0)$; $0 \leq \nu \leq 1$, $\nu + \mu = 1$. Совместно с формулой (1), в которой $x = \tau/t_0$, получаем параметрическую зависимость фактора роста G притока энергии от красного

смещения, график которой представлен на рис. 3б. Видно, что история роста приточной составляющей энергии и поглощаемой ЧД схожи по форме. Это говорит о коэволюции этих составляющих энергии, что соответствует выводам [27].

Минимум $dE^{(+)}/dt$ также как и функции $E(t)$ реализуется при $t - t_0 = 4t_0/3 \approx 37$ млрд лет от образования Вселенной. Используя формулу (1), находим, что этому моменту времени соответствует $z = (4/3)H_0t_0\exp(\beta/3)/(7/3)^{1+\beta/4} \approx 1.93$. Как известно [28], при таком значении z достигается максимум скорости звездообразования. В связи с этим рассмотрим функцию пропорциональную функции $[dE^{(+)}/dt]^{-1}$, в которой разность $t - t_0$ заменена на t :

$$M_{FR} = \frac{1}{1 + \frac{t}{t_0} \exp^{-\frac{3b}{4} \frac{t}{t_0}}}. \quad (6)$$

В совокупности с формулой (1) получаем параметрическую зависимость M_{FR} от z . График этой зависимости изображен на рис. 4 сплошной кривой. Максимум функции (6) приходится на минимум функции $dE^{(+)}/dt$, то есть на значение $z = 1.93$, а отношение максимального значения к значению при $z = 0$ составляет $(7/3)^{\beta/4}\exp(-\beta) \approx 9.4$, что совпадает с характеристиками пика скорости звездообразования [28].

По данным работы [29] темп образования звезд при $z = 1.125$ по меньшей мере в 4 раза превышает аналогичную величину при $z = 0.375$. По данным работ [28, 30] скорость звездообразования при $z = 2.75$ в три раза превышает современное значение, но в четыре раза ниже, чем при $z = 1$. Еще в три раза наблюдаемая скорость звездообразования снижается к $z = 4$. Построенный по этим данным график зависимости скорости звездообразования от красного смещения изображен на рис. 4 штриховой линией. Слева от максимума скорость звездообразования практически совпадает со скоростью формирования материи, а справа – проходит значительно ниже ее. Интеграл от $z = 1.3$ до $z = Z$ составляет $\approx 90\%$ от всего интеграла по z от $z = 0$ до $z = Z$, что значительно больше 50%, чем при звездообразовании [28].

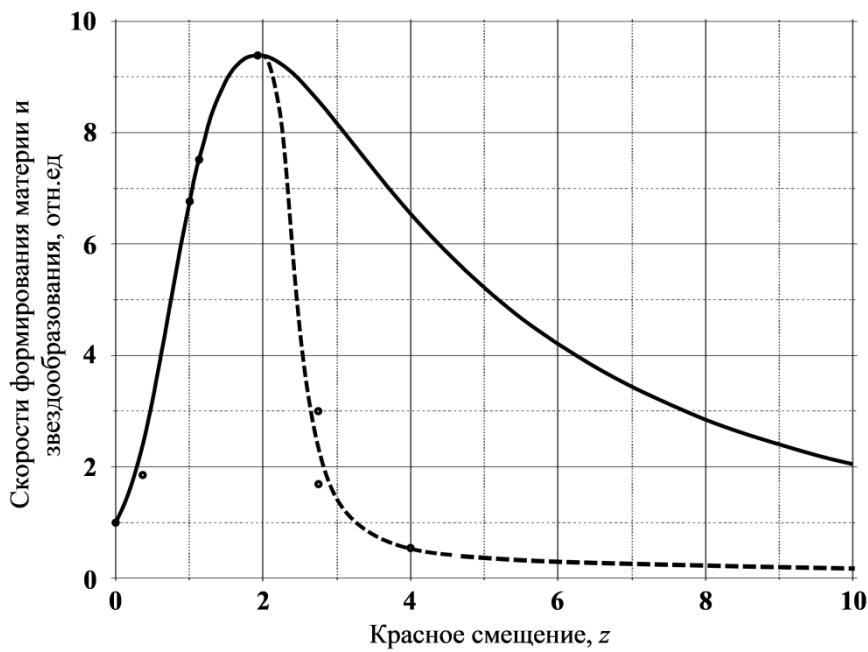


Рис. 4: Зависимость скорости формирования материи от красного смещения (сплошная кривая) и скорости звездообразования (штриховая кривая). Точки приведены в соответствии с данными работ [28-30].

Если допустить, что именно функция (6) описывает скорость формирования материи, то можно предположить, что рассматриваемая функция характеризует скорость формирования не только барионной материи, из 10% части которой состоят звезды, но и скорость формирования холодной темной материи. Это предположение требует доказательства, которое выходит за рамки данной работы.

VII. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как отмечалось в [1] оцененный в ней возраст Вселенной в 270 млрд лет и определенный в данной работе и равный 230 млрд лет согласуется с данными наблюдений, в которых обнаружено, что рождение малометаллических звезд и даже целых галактик происходит во Вселенной во всё время её жизни, см., например, [31]. В [32] говорится, что на основании этих данных возникло мнение, что на данном этапе утверждать что-либо о возрасте Вселенной нет никаких оснований. Более того высказывалась мысль о том, что наблюдения последних лет, свидетельствующие о продолжающемся зарождении звезд и галактик, дают основание для утверждения о вечном существовании Вселенной. Рассматриваемая модель не дает повода соглашаться с таким предположением. Полученный в ней возраст Вселенной ≈ 230 млрд лет хотя более чем в 16 раз больше принятой в стандартной космологии оценки ≈ 14 млрд лет, но конечен.

Оценка в [1] радиуса Вселенной, исходящая из условия $\delta/D_g = D_g/(2R) \leq 0.1\Omega_k$, дала для R значение $\approx 10^4$ Гпк, а для возраста Вселенной 270 млрд лет. Если исходить из условия $\delta/R \approx (D_g/R)^2/2 \leq 0.1\Omega_k$, то получаем $R \approx 900$ Гпк, а возраст Вселенной при таком значении R составляет ≈ 200 млрд лет. Таким образом, полученная на основе данных о реликтовом излучении и данных о первичной рекомбинации радиус Вселенной $R \approx 2.4 \cdot 10^3$ Гпк заключен между значениями 900 и 10^4 Гпк, полученными на основе данных о кривизне пространства Вселенной, а возраст Вселенной $T = 230$ млрд лет – между значениями 200 и 270 млрд лет, что увеличивает достоверность найденных в данной работе значений R и T . Отношение $R/R_o \approx 1000$,

то есть по сравнению с современной Вселенной первоначальная Вселенная в момент возникновения представляется точкой, что согласуется с представлениями теории Большого взрыва.

Из результатов анализа динамики полной энергии Вселенной и роста масс ЧД можно заключить, что утверждение об образовании части ЧД сразу при рождении Вселенной не противоречит рассматриваемой модели и энергия заключенная в них составляет некоторую долю μ от полной начальной энергии Вселенной. Однако из графиков на рис. За видно, что для определения μ потребуются наблюдения ЧД при $z > 10$.

Исследования динамики масс ЧД, обсуждаемые в обзоре [33], а также исследования, проведенные, например, в [27], показывают, что в общем случае, изменение массы ЧД во времени зависит от модели ЧД. Исследование, проведенное в данной работе, приводит к заключению, что динамика масс ЧД не зависит от модели ЧД, а зависит в пренебрежении их слиянием и аккрецией газа на них только от динамики энергии излучения в 4-мерном шаре и динамики расширения Вселенной. В диапазоне значений $0 \leq z \leq 10$ динамика масс ЧД практически не зависит от доли энергии, заключенной в них при рождении Вселенной.

Сравнение динамики ЧД, рассмотренной в данной работе, с результатами исследований динамики ЧД, полученных в других работах, показывает, что в некоторых диапазонах значений z имеется достаточно удовлетворительной совпадение. Так, в [34] предлагается однопараметрический рост масс ЧД в терминах масштабного коэффициента стандартной космологической модели a , $M(a) = M(a_i)(a/a_i)^k$, где a_i - масштабный коэффициент, при котором объект становится космологически связанным, $a \geq a_i$. Так как $a/a_i = (1+z)^k$, где k - сила космологической связи, то фактор роста массы ЧД $F_c = (1+z)^k$. В [25] на основании наблюдений

ЧД в эллиптических галактиках найдено, что $k = 3.11^{+1.19}_{-1.33}$ ($k_{\min} = 1.78$; $k_{\max} = 4.3$). Если бы космологическая связь отсутствовала, то $k = 0$.

На рис. 5 представлены графики фактора роста масс ЧД рассчитанные как по рассматриваемой модели для $\mu = 1$ (кривая 1) и $\mu = 1/100$ (кривая 2) так и факторов роста масс ЧД в модели [34], рассчитанные при разных значениях k . Видно, что фактор F , рассчитанный по рассматриваемой модели практически совпадает в области значений $1 \leq z \leq 4.5$ с кривой, рассчитанной для F_c при $k = 2.96$ (кривая 3). При $k = 3.11$ (кривая 4) имеются существенные отличия. Показаны также кривые для F_c при k_{\max} (кривая 5) и при k_{\min} (кривая 6). Видно, что кривые 1 и 2, иллюстрирующие поведение фактора F по рассматриваемой модели в диапазоне значений $1 \leq z \leq 8$ лежат между этими предельными кривыми, но при z , выходящем за пределы диапазона $1 \leq z \leq 4.5$, значительно отличаются от кривой 3, рассчитанной для $k = 2.96$. При $z > 8$ отличие еще больше. Вывод о том какие зависимости адекватны истинному росту масс ЧД может быть сделан на основе новых наблюдений галактик, удаленных от нас на $z \geq 4.5$.

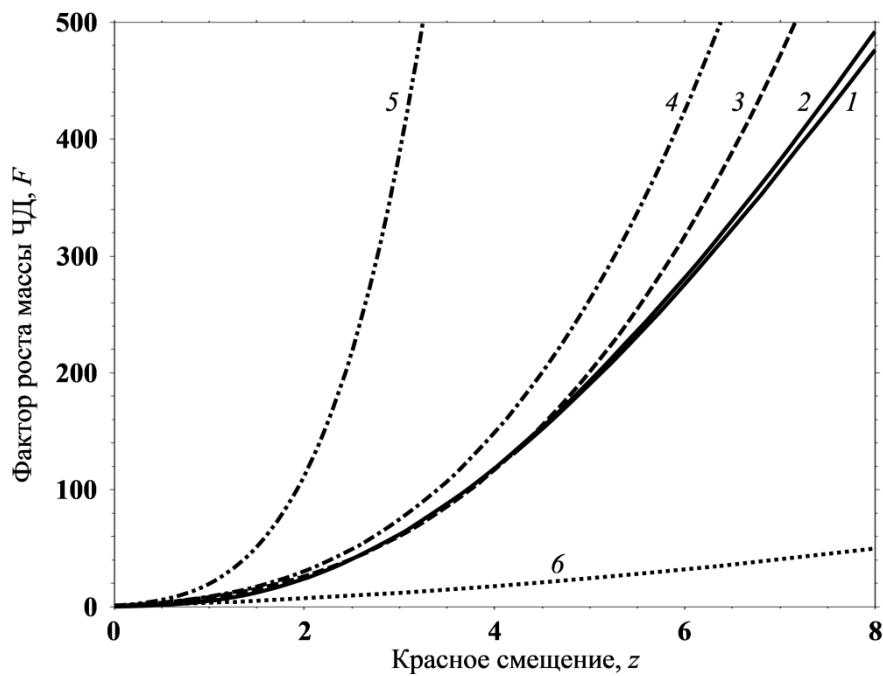


Рис. 5. Факторы роста массы ЧД F от момента излучения звезд родительской галактики, рассчитанные по рассматриваемой модели для $\mu = 1$ (1); $1/100$ (2); F_c при $k = 2,96$ (3); $3,11$ (4); при $k_{\max} = 4,3$ (5); при $k_{\min} = 1,78$ (6).

Сравнение формулы (6) со скоростью звездообразования приводит к предположению, что скорость звездообразования и скорость формирования материи обратно пропорциональна скорости притока энергии во Вселенную за вычетом энергии, поглощаемой ЧД. Таким образом, можно предположить, что рассматриваемая функция (6) характеризует скорость формирования не только барионной материи, из 10% которой состоят звезды, но и холодной темной материи. То, что при $z \approx 1.9$ характеристики функции (6) совпадают с характеристиками скорости звездообразования, а интеграл от нее в диапазоне значений $1.3 \leq z \leq Z$ существенно превышает соответствующий интеграл от скорости звездообразования говорит о том, что в более раннюю эпоху формирование барионной и холодной темной материи шло более интенсивно по сравнению со звездообразованием и эпохой, лежащей в диапазоне $0 < z < 1.9$. Разделение скорости формирования холодной темной материи и скорости формирования барионной материи выходит за рамки данной работы и требует отдельного рассмотрения.

VIII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассматриваются следствия из предложенной ранее в [1] модели ускоренного расширения Вселенной, основанной на представления о гипотетической 4-мерной субстанции с инверсной заселенностью энергетических уровней. На основе данных о времени и красном смещении начала рекомбинации и последнего рассеяния и полученной в [1] зависимости красного смещения от разности настоящего момента времени и момента времени, в который наблюдаются объекты Вселенной, найден возраст Вселенной, который оказался равным ≈ 230 млрд лет. Это согласуется с выводами из исследований процесса рождения малометаллических звёзд [31] и с оценками возраста Вселенной, полученными в [1] на основе кривизны Вселенной.

Рассчитан радиус 4-мерного шара, к которому прилегает наша селенная, то есть радиус Вселенной, $R \approx 2.4 \cdot 10^3$ Гпк, а также длина экватора этого шара $L_e = 2\pi R$, которая составляет $\approx 1.5 \cdot 10^4$ Гпк. Показано, что найденное значение R согласуется с оценками на основе кривизны

Вселенной. Найден также объем Вселенной V как площадь гиперповерхности 3-мерной сферы: $V \approx 1,9 \cdot 10^{10}$ Гпк³.

Рассчитан радиус сферы последнего рассеяния R_f , который оказался равным $\approx 5,6 \cdot 10^3$ Гпк. Из сравнения R_f с L_e сделан вывод, что в рассматриваемой модели большая часть Вселенной прозрачна для реликтового излучения.

В предположении, что в настоящее время плотность энергии во Вселенной равна критической оценена плотность энергии при возникновении Вселенной, которая составляла 0.16 ГэВ/см³. Проанализирована динамика полной энергии Вселенной. Показано, что в данной модели полная энергия Вселенной меняется во времени. В течение первых 37 млрд лет после возникновения Вселенной ее полная энергия падает примерно в 10 раз, а затем начинает расти и к настоящему моменту времени увеличилась примерно в 10^4 раз по сравнению с энергией Вселенной в момент ее образования. Таким образом, сделан вывод, что имеют место как потери, так и приток энергии во Вселенную. На основе анализа скорости изменения энергии во Вселенной и сравнения с данными наблюдений за ростом масс черных дыр в эллиптических галактиках сделан вывод, что потери энергии во Вселенной обусловлены ее поглощением черными дырами, а приток обусловлен возбуждением мод в твердом 4-мерном слое под действием «бомбардировки» внутренней границы этого слоя квантами излучения в 4-мерном шаре, возникающими в процессе стимулированных переходов с верхних энергетических уровней гипотетической 4-мерной субстанции на нижележащие. Показано, что динамика роста масс черных дыр, описываемая полученными в настоящей работе формулами, не зависит от модели черной дыры. Результаты расчетов показывают, что масса черных дыр в диапазоне $0 \leq z \approx 1.2$ возрастает почти в 7 раз, а в диапазоне $0 \leq z \approx 2$ – в 20 раз. Это хорошо совпадает с результатами наблюдений черных дыр в эллиптических галактиках [25, 26], где к моменту наблюдения черных дыр не осталось вещества для увеличения их масс.

Сравнение динамики ЧД, рассмотренной в данной работе, с результатами исследований динамики ЧД, полученных в других работах, показывает, что в некоторых диапазонах значений z имеется достаточно удовлетворительное совпадение. Так в однопараметрической модели [34], опирающейся на стандартную космологическую модель, при силе космологической связи, равной 2,96 имеется удовлетворительное совпадение в диапазоне значений $1 \leq z \leq 4.5$. При выходе за пределы указанного диапазона результаты расчетов по модели [34] сильно отличаются от результатов расчетов по формулам настоящей работы. Для выяснения того какие зависимости адекватны истинному росту масс ЧД необходимы наблюдения подходящих галактик, удаленных от нас на $z \geq 4.5$.

Показано, что динамика роста энергии барионной и темной материи по форме совпадает с динамикой роста масс черных дыр. Проведено сравнение скорости формирования материи со скоростью звездообразования. Сделан вывод, что в настоящее время темная материя практически не образуется, а наиболее быстрыми темпами она образовывалась при красном смещении больше двух.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор декларирует отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Orlov, E.P. (2023). A Model of Accelerated Expansion of the Universe Based on the Idea about a Hypothetical 4-Dimensional Substance with an Inverse Population of Energy Levels. *The Journal of Modern Physics*, **14**, 1-17. <https://doi.org/10.4236/jmp.2023.141001>
2. Suzuki, A., Rubin, N., Lidman, D., Aldering, C., Amanullah, G., Barbary, R., et al. (2011). The Hubble Space Telescope Cluster Supernova Survey: V. Improving the Dark Energy Constraints Above $z>1$ and Building an Early-Type-Hosted Supernova Sample. arXiv:1105. 3470v1 [astro-ph.CO]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1105.3470>
3. Risaliti, G., Lusso, E. (2018). Cosmological Constraints from the Hubble Diagram of Quasars at high Redshifts. arXiv:1811. 02590v1 [astro-ph.CO]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.02590>
4. Schaefer, B.E. (2007). The Hubble Diagram to Redshift >6 from 69 Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal*, **660**, 16-46. <http://www.arxiv.org/abs/astro-ph/0612285> <http://dx.doi.org/10.1086/511742>
5. Riess, A.G., Macri, L.M., Hoffmann, S.I., Scolnic, D., Casertano, S., Filippenko, A.V., et al. (2016) A 2.4% Determination of the Local Value of the Hubble Constant. *The Astrophysical Journal*, **826**, 56. <https://doi.org/10.3847/0004-637X/826/1/56>
6. Riess, A.G., Casertano, S., Yuan, W., Macri, L., Anderson, J., MacKenty, J.W., Bowers, J.B., et al (2018). New Parallaxes of Galactic Cepheids from Spatially Scanning the Hubble Space Telescope: Implications for the Hubble Constant. *The Astrophysical Journal*, **855**, 136. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaadb7>
7. Urusovskii, I.A. Cosmological corollaries of non-constancy of the speed of light. Ежегодник Российского акустического общества. Сб. трудов школы-семинара проф. С.А. Рыбака. М.:2001, С. 176-192.
8. Шульман, М.Х. (2011-2020). Альтернативная космология, http://www.timeorigin21.narod.ru/rus_time/Alt_cosmology.pdf (accessed: 30.03.2023).
9. Gogberashvili, M. (2000). Our world as an expanding shell. *Europhys.Lett.* **49**, 396-400. doi:10.1209/epl/i2000-00162-1 arXiv:hep-ph/9812365v1. <https://doi.org/10.48550/arXiv.hep-ph/9812365>
10. Potemine, I.Yu. (2022). Hyperverse, 5-Dimensional Gravity and Multiverses as Nested Gogberashvili Shells. *Journal of High Energy Physics, Gravitation and Cosmology*, **8**, 983-989. <https://doi.org/10.4236/jhepgc.2022.84069>
11. Румер, Ю.Б. Исследования по 5-оптике. (М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956).
12. Орлов, Е.П. Пространственно-временные отношения между модами резонатора с плоскими параллельными зеркалами. Препринт ФИАН № 16. М.: ФИАН, 2004. <http://preprints.lebedev.ru>
13. Манкевич, С.К., Орлов, Е.П. Теория относительности и метод лазерной локации. Препринт ФИАН № 18. М.: ФИАН, 2010. <http://preprints.lebedev.ru>
14. Орлов, Е.П. Описание пространственно-временных отношений между модами плоскопараллельного резонатора с помощью косоугольных систем координат. Препринт ФИАН № 3. М.: ФИАН, 2014. <http://preprints.lebedev.ru>
15. Орлов, Е.П. Метод решения задачи о рассеянии фотонов на релятивистских электронах на основе концепции дополнительного пространственного измерения. Препринт ФИАН № 1. М.: ФИАН, 2016. Orlov, E.P. (2016). <http://preprints.lebedev.ru>
16. Вайнберг, С. Космология: Пер. с англ.//Под ред. и с предисл. И.Я. Арефьевой, В.И. Санюка. (М.: УРСС: Книжный дом <<ЛИБРОКОМ>>, 2013). // Weinberg, S. Cosmology, Oxford University Press, 2008.
17. Сильченко, О.К. Происхождение и эволюция галактик//Под редакцией В.Г. Сурдина, (Фрязино: Век 2, 2017)

18. Di Valentino, E., Melchiorri, A., Silk, J. (2020) Planck Evidence for a Closed Universe and a Possible Crisis for Cosmology. *Nat Astron*, **4**, 196-203. <https://doi.org/10.1038/s41550-019-0906-9>
19. Шкловский, И.С. Вселенная, жизнь, разум (М.: Наука, 1987).
20. Plank and the cosmic microwave background. European Space Agency (ESA). Дата обращения: 01 апреля 2023.
21. Большая Российская энциклопедия (М.: Большая Российская энциклопедия, 2004).
22. Горбунов, Д.С., Рубаков, В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва (М.: Издательство ЛКИ, 2008).
23. Beringer, J., et al. (Particle Data Group), (2012). *Phys. Rev. D* **86**, 010001. DOI: 10.1103/PhysRevD.86.010001
24. Чандraseкар, С. Математическая теория черных дыр. В 2-х томах / Перевод с английского к. ф.-м. н. В. А. Березина. Под ред. д.ф.-м.н. Д. А. Гальцова (М.: Мир, 1986). // Chandrasekhar, S. The Mathematical Theory of Black Holes, Oxford University Press, 1983.
25. Farrah, D., Croker, K. S., Zevin, M., Tarlé, G., Faraoni, V., Petty, S., et al. (2023). Observational Evidence for Cosmological Coupling of Black Holes and its Implications for an Astrophysical Source of Dark Energy. *The Astrophysical Journal Letters*, **944**: L31 (9pp). <https://doi.org/10.3847/2041-8213/acb704>
26. Farrah, D., Petty, S., Croker, K.S., Tarlé, G., Zevin, M., Hatziminaoglou, E., et al. (2023). A Preferential Growth Channel for Supermassive Black Holes in Elliptical Galaxies at $z \leq 2$, *The Astrophysical Journal*, **943**:133 (17pp). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acac2e>
27. Ni, Y., Di Matteo, T., Bird, S., Croft, R., Feng, Yu., Chen, N., et al. (2022). The ASTRID simulation: the evolution of supermassive black holes. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **513**, 670–692. <https://doi.org/10.1093/mnras/stac351>
28. Madau, P., Dickinson, M. Cosmic Star-Formation History. (2014). *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, **52**, 415-486. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081811-125615> // arXiv:1403.0007v3 [astro-ph.CO]. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1403.0007>
29. Cowie, L., Hu, E. & Songaila, A. (1995). Detection of massive forming galaxies at redshifts $z > 1$. *Nature* **377**, 603–605. <https://doi.org/10.1038/377603a0>
30. Madau, P., Ferguson, H.C., Dickinson, M.E., Giavalisco, M., Steidel C.C. and Fruchter A. (1996). High-redshift galaxies in the Hubble Deep Field: color selection and star formation history to $z \sim 4$. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **283**, 1388-1404. <https://doi.org/10.1093/mnras/283.4.1388>
31. Марсаков В.А. Структура и эволюция подсистем Галактики. Дисс. д.ф.-м.н. Нижний Архыз, 2007. // Marsakov V.A. (2007) Structure and evolution of Galaxy subsystems. Ph.D. Thesis, Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Arhyz. // Марсаков В.А. (2007)
32. <https://astrogalaxy.ru> Проект "Астрогалактика" Возраст космических объектов (дата обращения: 05.04.2023). // Astrophysics and its Concepts. Age of Space Objects. <https://astrogalaxy.ru/923.html> (accessed: 05.04.2023)
33. Volonteri, M. (2012). The formation and evolution of massive black holes. *Science*, **337**, 544-547. DOI: 10.1126/science.1220843
34. Croker, K.S., Zevin, M., Farrah, D., Nishimura, K.A., and Tarlé, G. (2021). Cosmologically Coupled Compact Objects: A Single-parameter Model for LIGO–Virgo Mass and Redshift Distributions. *The Astrophysical Journal Letters*, **921**: L22 (6pp). <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac2fad>