

МОДЕЛЬ ЗАМКНУТОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ВСЕЛЕННОЙ С НЕОДНОРОДНЫМ ВРЕМЕНЕМ.

Пушной Григорий Сергеевич.

E-mail: gpushnoi@mail.ru

АННОТАЦИЯ.

Предложена новая интерпретация модели А. Фридмана. Изменение масштабного фактора предлагается связать не с «расширением пространства», а с изменением «скорости течения» истинного времени. Новая интерпретация приводит к статической модели Вселенной без «расширения пространства» и с неравномерно текущим (неоднородным) мировым временем. Из модели следует закон Хаббла, который верно воспроизводит фактические данные для суперновых типа Ia (A.G. Riess et al. [25]). В рамках новой интерпретации получены теоретические оценки для следующих величин: (1) параметр Хаббла $\approx 49 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$, (2) средняя плотность материи $\approx 5 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3$, (3) размер Вселенной $\approx 156 \text{ млрд. свет. лет}$, (4) масса Вселенной $\approx 10^{55} \text{ кг}$, (5) параметр «замедления» ≈ -1.16 , которые в пределах точности измерений совпадают с оценками астрономов. Предложено объяснение аномального ускорения спутников «Пионер 10» и «Пионер 11» как следствие неоднородности времени.

The Model of Statical Universe with Nonhomogeneous Time.

Grigorii S. Pushnoi

ABSTRACT.

The new interpretation of A. Friedman's model is proposed in which the change of scale factor affects the properties of physical time rather than the "expansion of space". The space in this interpretation is not expanding but the physical time is not homogeneous. Hubble's law of this model is confirmed by data for Type Ia Supernovae (A.G. Riess et al. [25]). Theoretical estimates of basic parameters of this model are calculated: (1) Hubble's parameter $\approx 49 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$, (2) average density of matter $\approx 5 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$, (3) size of the Universe $\approx 156 \cdot 10^9 \text{ l.y.}$, (4) mass of the Universe $\approx 10^{55} \text{ kg}$, (5) deceleration parameter ≈ -1.16 . The anomalous acceleration of spacecrafts "Pioneer 10" and "Pioneer 11" is explained as the consequence of nonhomogeneity of time.

I. ВВЕДЕНИЕ.

Принято считать, что модель А. Фридмана [2], [3] описывает Мир, радиус пространственной кривизны которого меняется со временем. Изменение масштабного фактора интерпретируется обычно как «расширение пространства», а построенную на основе этой интерпретации модель называют моделью «Большого Взрыва». В ней Вселенная имеет начало во времени – существует выделенный момент, в который Вселенная возникла.

Можно выделить три причины, которые в своё время обусловили выбор нестатической модели Мира:

- (1) Закон Хаббла.
- (2) Неустойчивость решений статической модели.
- (3) Необходимость введения в статическую модель отрицательного давления.

Сам Эйнштейн изначально подозрительно относился к идее «расширения пространства» и долгое время был сторонником статической замкнутой Вселенной. Лишь после появления в 1929 году статьи Хаббла [16] Эйнштейн вынужден был отказаться от статической модели Вселенной. К тому времени стало ясно, что статическая модель неустойчива и для обеспечения совместности уравнений поля в ней нужно вводить отрицательное давление - либо непосредственно как эффективное отрицательное давление материи, либо в виде дополнительного «космологического члена» [4], [5].

Мы покажем, что эти три возражения против принятия статической модели отпадают, если заменить традиционную интерпретацию модели Фридмана («расширение пространства») некоторым другим способом истолкования её формул. Новая интерпретация модели Фридмана приводит к Новой Статической Модели (НСМ), которая будет рассмотрена в этой статье.

1) НСМ хорошо согласуется с эмпирическим законом Хаббла, объясняя эффект «красного смещения» неравномерностью течения физического времени.

2) В НСМ проблема неустойчивости решения отпадает, поскольку в основу модели кладутся уравнения Фридмана с масштабным фактором, зависящим от времени. Но в НСМ изменение масштабного фактора определяет не «расширение пространства», а «скорость течения» физического времени.

3) Отрицательное давление в НСМ имеет ясный физический смысл – оно феноменологически описывает взаимное притяжение тел в замкнутой Вселенной.

Хорошо известны трудности, связанные с интерпретацией модели Фридмана, как «расширяющейся Вселенной»: проблема первичной сингулярности, горизонта, плоскостности и т.д. Полный перечень трудностей модели «Большого Взрыва» содержится в обзоре [33]. Для решения проблем плоскостности и горизонта Алан Гус [14] ввёл инфляционную гипотезу. Открытие «ускоренного расширения пространства» [26] заставило дополнить модель «Большого Взрыва» особой материей с отрицательным давлением – «тёмной энергией». Следуя принципу - «не умножать сущности без причины» - предпочтение следует отдать той модели, которой удалось бы объяснить наблюдаемые свойства Вселенной без введения дополнительных гипотез. Очевидно, что статическая модель свободна от многих затруднений модели «большого взрыва». В НСМ отпадают проблемы первичной сингулярности, горизонта, находит решение проблема плоскостности, а также проблема граничных условий на бесконечности и естественным образом разрешается парадокс Ольберса. Но за эти преимущества модели приходится платить отказом от фундаментального принципа однородности времени.

Однородность времени всегда рассматривалась как фундаментальный закон природы. Если мы ставим два идентичных опыта в разные моменты времени, то их результаты должны быть одинаковы. Во всяком случае, наш опыт свидетельствует, что, если даже отклонения в результатах есть, они должны быть намного меньше точности наших приборов. Ясно поэтому, что, если время и неоднородно, то обнаружить эту неоднородность очень сложно. Можно сказать, что время всегда (в любой момент времени) однородно с высокой степенью точности. Пока мы имеем дело с процессами «небольшой длительности», мы можем не учитывать неоднородность времени и рассматривать все процессы так, как если бы время было однородно (текло равномерно), не вступая в противоречие с данными наших измерений. Но при изучении явлений и закономерностей космического масштаба учитывать неоднородность времени (если она есть) совершенно необходимо. НСМ основана на гипотезе о неоднородности (неравномерности течения) истинного физического времени, которое в НСМ вводится таким образом, чтобы исключить из модели эффект «расширения пространства». Статичность модели «покупается» ценой отказа от принципа однородности времени.

Кроме закона Хаббла, который может быть истолкован без привлечения гипотезы о «расширении пространства», каких-либо других видимых следов, что «пространство расширяется» - нет. Некоторые авторы [10], анализирувавшие влияние «расширения»

на движение небесных тел и свойства межзвёздной среды, приходили к выводу, что «расширение» должно было бы приводить к наблюдаемым современными приборами эффектам, но этих эффектов нет. Во всяком случае, в масштабах Солнечной системы всё происходит так, как если бы никакого «расширения пространства» не было [35]. Многие открытые недавно свойства микроволнового космического излучения можно объяснить, предположив, что наша Вселенная имеет ограниченный (конечный) размер [22], [30]. В статье [12] приведены результаты 11 тестов, которые указывают на то, что статическая модель искривленного пространства положительной кривизны лучше соответствует данным наблюдений, чем модель «расширения».

Поэтому с точки зрения научной логики и фактов статическая модель (Вселенная без «расширения» пространства) кажется более предпочтительной картиной Мира. Статичность в нашей модели не означает постоянство масштабного фактора. Масштабный фактор меняется, но его изменение приводит не к «расширению пространства», а к изменению скорости течения физического времени. Согласно НСМ, пространство НЕ расширяется, а значит, средняя плотность материи остаётся неизменной. То есть формально наша модель получается решением уравнений Фридмана при условии постоянства средней плотности материи. Совместность уравнений в этом случае можно обеспечить, вводя отрицательное давление. Этому отрицательному давлению можно придать ясный физический смысл. Отрицательное давление проявляет себя как гравитационное притяжение тел. Подобно тому, как в растянутом кристалле возникают силы притяжения между отдельными атомами, создающие отрицательное давление – в нашей модели замкнутой статической Вселенной силы гравитационного притяжения феноменологически могут быть представлены как силы отрицательного давления. Давление в замкнутой Вселенной можно найти, исходя из первого начала термодинамики, по известной формуле:

$$p = -\frac{\partial U}{\partial V} \quad (1)$$

Применим эту формулу к замкнутой Вселенной с фиксированной массой M и допускающим изменения объёмом V . «Внутренняя энергия» U складывается из энергии покоя материи Mc^2 (постоянная величина), кинетической энергии тел (равна нулю в сопутствующей системе отсчёта), и потенциальной энергии гравитационного взаимодействия тел, которая увеличивается с ростом объёма Вселенной. Учёт в формуле (1) энергии гравитационного притяжения приводит к появлению отрицательного давления, которое необходимо учитывать наряду с гидростатическим

давлением материи. Давление материи входит в правую часть уравнений Эйнштейна, а формула (1) определяет зависимость давления от полной гравитационной энергии всей Вселенной. В нашей модели мы рассмотрели Ньютоново приближение для гравитационной энергии Вселенной.

Статья структурирована следующим образом. Первая глава содержит описание НСМ. Во второй главе вводится отрицательное давление. В третьей главе выводится закон Хаббла. Четвёртая глава посвящена сравнению полученных формул с фактическими данными. В пятой главе рассмотрены динамические свойства модели. В шестой главе содержится обсуждение математической схемы, лежащей в основе НСМ. В последней главе предложено объяснение эффекта аномального ускорения космических аппаратов «Пионер 10» и «Пионер 11». Заключение содержит краткую историю использования идеи неоднородности времени в физике.

II. Описание модели (НСМ).

В основе модели Фридмана лежит интервал:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - a(t)^2 \cdot \left(\frac{dr^2}{1 - Kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta \cdot d\phi^2) \right) \quad (2)$$

Здесь t – однородное время, относительно которого должен выполняться локальный закон сохранения энергии-импульса в криволинейных координатах - ковариантная дивергенция тензора энергии импульса должна обращаться в ноль.

$$T_{i;k}^k = \partial_k T_i^k + \Gamma_{lk}^k T_i^l - \Gamma_{ik}^l T_l^k = 0. \quad (3)$$

Выражение (3) переходит в обычный «закон сохранения», если пространство евклидово. Но если даже пространство не евклидово, в каждой малой области пространства можно выбрать систему отсчёта, в которой коэффициенты связности обратятся в ноль и формула (2) сведётся к закону сохранения в этой локальной области. Тензор, стоящий в левой части уравнений Эйнштейна, выбран именно так, чтобы «закон сохранения» выполнялся локально, то есть выполнялось бы условие (3).

$$R_{ik} - \frac{1}{2} g_{ik} R - \lambda \cdot g_{ik} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{ik} \quad (4)$$

Следовательно, уравнения Эйнштейна (4) неявно предполагают, что локально выполняется закон сохранения энергии-импульса, а значит время однородно в каждой малой области пространства. Интервал вида (2) описывает Мир в сопутствующей

системе отсчёта, в которой материя покоится. Уравнения Фридмана следуют из (2) и (4):

$$H^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{Kc^2}{a^2} \quad (5)$$

$$H' + H^2 = -\frac{4\pi G}{3} \cdot \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) \quad (6)$$

$$H = \frac{\dot{a}}{a} \quad (7)$$

Значок «штрих» означает дифференцирование по однородному времени, ρ - плотность материи (вместе с вакуумом, если $\lambda \neq 0$), p - давление материи (вместе с вакуумом, если $\lambda \neq 0$).

Решение уравнений (5) – (7) определяет зависимость $a(t)$, которая обычно интерпретируется как «расширение пространства», если $\dot{a} > 0$ и как «сжатие пространства», если $\dot{a} < 0$. В обоих случаях плотность Мира меняется со временем – уменьшается, если пространство «расширяется» и растёт, если пространство «сжимается». Модель «Большого Взрыва» - результат выбора именно такой интерпретации формул – рост $a(t)$ интерпретируется как «расширение пространства» с наглядным изображением этого процесса в виде разбухающего теста (пудинга) с изюминками (галактиками) внутри. На первый взгляд такая интерпретация кажется неизбежной. Однако рост масштабного фактора $a(t)$ можно связать не только с расширением пространства, но и с течением времени. В этой интерпретации масштабный фактор определяет скорость течения мирового физического времени по отношению к однородному времени t .

Предположим, что истинное мировое время T связано с однородным временем t , согласно следующей формуле:

$$dT = \frac{a_0}{a} \cdot dt \quad a_0 = Const \quad (8)$$

Рассмотрим Риманово пространство, в котором интервал dS связан с интервалом (2) следующим образом:

$$dS = \frac{a_0}{a} \cdot ds \quad (9)$$

Тогда из выражения для интервала (2) следует выражение для интервала dS в пространстве с неоднородным временем T :

$$dS = c^2 \cdot dT^2 - a_0^2 \cdot \left(\frac{dr^2}{1 - Kr^2} + r^2 \cdot (d\theta^2 + \sin^2 \theta \cdot d\varphi^2) \right) \quad (10)$$

Интервал (10) описывает Мир постоянной пространственной кривизны, с радиусом кривизны a_0 . Таким образом, нестатическая метрика (2) для Мира с однородным временем t может быть трансформирована в статическую метрику (10) для Мира с неоднородным временем T . Формулы (8) и (9) определяют связь между однородным и неоднородным мировым временем и величинами интервалов.

Будем считать, что физическое (истинное!) время – это неоднородное время T , а истинное пространство-время описывается интервалом (10). Мы приходим к новой интерпретации модели Фридмана и, соответственно, к новой космологии. В ней интервал задаётся выражением (10), а истинное время связано с однородным временем формулой (8), которую удобно переписать так:

$$T'(t) = \frac{dT}{dt} = \frac{a_0}{a(t)} \quad (11)$$

Формула (11) определяет влияние масштабного фактора на скорость течения истинного времени относительно однородного. Опыт показывает, что в каждый текущий момент времени t_0 физическое время почти однородно, и поэтому в пределах точности наших приборов выполняется закон сохранения энергии. Это значит, что при каждом значении t_0 малые интервалы истинного и однородного времени должны быть равны. Назовём это свойством локальной однородности физического времени.

$$T'(t_0) = \frac{dT}{dt} = 1 \quad (12)$$

Выберем текущий момент времени t_0 . Пусть в этот момент часы, отсчитывающие истинное время, тоже показывают t_0 .

$$T(t_0) = t_0 \quad (13)$$

Функцию $T(t)$ можно найти, переписав уравнения Фридмана (5)-(7) относительно новой переменной T . Решение будет зависеть от двух констант интегрирования $T(t; C_1; C_2)$, которые должны быть выбраны так, чтобы выполнялись условия (12) - (13). При этом функция $T(t)$, будет зависеть не только от t , но и от t_0 , как от параметра:

$$T(t; t_0) = T(t; C_1(t_0); C_2(t_0)) \quad (14)$$

Подставляя в уравнения (5) - (7) выражение (11), получаем уравнения Фридмана относительно функции $T(t)$.

$$H = \frac{\dot{a}}{a} = -\frac{T''}{T'} \quad (15)$$

$$\left(\frac{T''}{T'}\right)^2 = A - KB \cdot (T')^2 \quad (16)$$

$$\frac{T'''}{T'} + 2KB \cdot (T')^2 = A + 4\pi G \cdot \left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) \quad (17)$$

$$A = \frac{8\pi G \rho}{3} \quad (18)$$

$$B = \frac{c^2}{a_0^2} \quad (19)$$

При такой интерпретации «расширение пространства» отсутствует и поэтому плотность материи есть величина постоянная:

$$\rho = Const \quad (20)$$

$$A = Const \quad (21)$$

Из уравнений Фридмана вытекает следующее соотношение:

$$\dot{\rho} + 3H \cdot \left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) = 0 \quad (22)$$

Поэтому Мир с постоянной средней плотностью возможен лишь при отрицательном среднем давлении:

$$\rho = -\frac{p}{c^2} \quad (23)$$

Уравнение (6) при условии (23) принимает вид:

$$\dot{H} + H^2 = A \quad (24)$$

Дифференцируя по времени уравнение (5) и учитывая (20), получаем:

$$\dot{H} = \frac{Kc^2}{a^2} = A - H^2 \quad (25)$$

Таким образом, второе уравнение Фридмана (6) следует из уравнений (5) и (22) при условии (23). Наша система уравнений будет полностью согласована, если придать отрицательному давлению физический смысл.

Уравнение (16) легко интегрируется. Учитывая, что параметр Хаббла положителен, получаем решение для пространства положительной кривизны. Два других случая (отрицательная и нулевая кривизна) не соответствуют свойствам нашего Мира. Решение удобно записать в параметрическом виде:

$$T(t; t_0) = t_0 + \left(\frac{2}{\sqrt{B}} \right) \cdot [Arctg(q_0) - Arctg(q)] \quad (26)$$

$$q = Exp\{\sqrt{A} \cdot (t_0 - t)\} \cdot q_0 \quad (27)$$

$$a = \frac{a_0}{x} \cdot \frac{1 + q^2}{2q} \quad (28)$$

$$a_{\min} = \frac{a_0}{x} \quad (29)$$

$$q_0 = x - \sqrt{x^2 - 1} \quad (30)$$

$$x = \sqrt{\frac{A}{B}} \quad (31)$$

$$H = \sqrt{A} \cdot \frac{1 - q^2}{1 + q^2} \quad (32)$$

III. Отрицательное давление.

Гидростатическое давление не может быть отрицательным, так как оно препятствует силам гравитационного сжатия материи. Наша гипотеза состоит в том, что взаимное притяжение тел во Вселенной в рамках модели Фридмана может быть феноменологически представлено как наличие отрицательного давления – аналогично тому, как взаимное притяжение атомов в растянутом кристалле может быть описано введением эффективного отрицательного давления. Причина появления эффективного отрицательного давления в том, что потенциальная энергия гравитационного взаимодействия тел при увеличении расстояния между ними растёт. Кинетической же энергией тел мы пренебрегаем, так как в сопутствующей системе отсчёта материя в среднем покоится.

Найдём гравитационную энергию Вселенной с постоянной положительной кривизной a_0 в Ньютоновом приближении. Запишем элемент «расстояния» в замкнутой Вселенной, введя новую переменную χ .

$$r = Sin \chi \quad (33)$$

$$dL^2 = a_0^2 \cdot \left[d\chi^2 + Sin^2 \chi \cdot (Sin^2 \theta \cdot d\varphi^2 + d\theta^2) \right] \quad (34)$$

«Радиальным расстоянием» (proper distance) от начала координат будет величина $a_0\chi$.

Находим гравитационную энергию в Ньютоновом приближении:

$$U = -\int \frac{G \cdot M(\chi) dm}{a_0\chi} \quad (35)$$

Здесь $M(\chi)$ - масса, заключённая в «шаровом» объёме, граница которого находится от начала координат на расстоянии $a_0\chi$.

$$M(\chi) = \int \rho \cdot dV = \rho a_0^3 \cdot \int \sin^2 \chi \cdot \sin \theta \cdot d\chi d\theta d\varphi = 2\pi \rho a_0^3 \cdot \left(\chi - \frac{\sin(2\chi)}{2} \right) \quad (36)$$

Подставив в (35), находим:

$$U = -G \cdot 8\pi^2 \rho^2 a_0^5 \cdot \left[\int_0^\pi \sin^2 \chi \cdot \left(1 - \frac{\sin(2\chi)}{2\chi} \right) \cdot d\chi \right] = -G \cdot 8\pi^3 \rho^2 a_0^5 \left[\frac{1}{2} - \frac{\text{Si}(2\pi)}{4\pi} + \frac{\text{Si}(4\pi)}{8\pi} \right] \quad (37)$$

$$\text{Si}(x) = \int_0^x \frac{\sin(x)}{x} dx \quad (38)$$

$$U = -G \cdot 8\pi^3 \rho^2 a_0^5 \cdot \gamma \quad (39)$$

$$\gamma = \frac{1}{2} - \frac{\text{Si}(2\pi)}{4\pi} + \frac{\text{Si}(4\pi)}{8\pi} = 0.446518 \quad (40)$$

Полный объём Мира равен:

$$V = 2\pi^2 a_0^3 \quad (41)$$

Полная масса Мира равна:

$$M = \rho \cdot 2\pi^2 a_0^3 \quad (42)$$

Исключив в (39) плотность, находим Ньютонову гравитационную энергию замкнутой Вселенной:

$$U = -\frac{2}{\pi} \cdot \frac{GM^2}{a_0} \cdot \gamma \quad (43)$$

Применяя к Вселенной первое начало термодинамики, по формуле (1) находим эффективное отрицательное давление, феноменологически описывающее гравитационное притяжение тел:

$$p_g = -\frac{\partial U}{\partial V} = \frac{-\frac{\partial U}{\partial a_0}}{\frac{\partial V}{\partial a_0}} \Bigg|_{M=Const} = -\frac{1}{3\pi^3} \cdot \frac{GM^2}{a_0^4} \cdot \gamma = -\frac{4\pi}{3} \cdot G\rho^2 a_0^2 \cdot \gamma \quad (44)$$

Осталось учесть гидростатическое давление. В реальном мире, где материя сконцентрирована в виде звёзд, гидростатическое давление, очевидно, не равно нулю. В модели Фридмана мы абстрагируемся от пространственных неоднородностей распределения материи, вводя некоторую среднюю плотность. Если внутри небесных тел давление связано с плотностью соотношением: $p_{зидр.} = \rho c^2 \cdot \bar{w}$, то для средней плотности мы должны будем учитывать наличие некоторого «усреднённого» по всему пространству гидростатического давления.

$$\bar{\rho} = \frac{\int \rho \cdot dV}{V} = \frac{\int p_{зидр.} \cdot dV}{c^2 \cdot \bar{w} \cdot V} = \frac{1}{\bar{w} c^2} \cdot \frac{\int p_{зидр.} \cdot dV}{V} = \frac{\bar{p}_{зидр.}}{\bar{w} c^2} \quad (45)$$

Учёт усреднённого гидростатического давления означает, что полное давление в формуле (23) складывается из отрицательного давления (44) и среднего гидростатического давления (45):

$$p = \rho c^2 \cdot \bar{w} - \frac{4\pi}{3} \cdot G \rho^2 a_0^2 \cdot \gamma = -\rho c^2 \quad (46)$$

После несложных преобразований из (46) выводим:

$$x = \sqrt{\frac{A}{B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + \bar{w})}{\gamma}} \quad (47)$$

IV. Закон Хаббла.

Для параметра Хаббла имеем формулу:

$$H = \sqrt{A} \cdot \frac{1 - q^2}{1 + q^2} \quad (32)$$

В текущий момент времени $t = t_0$ находим, учитывая (27) и (30):

$$H_0 = \sqrt{A} \cdot \frac{1 - q_0^2}{1 + q_0^2} = \sqrt{B} \cdot \sqrt{x^2 - 1} = \sqrt{A} \cdot \frac{\sqrt{x^2 - 1}}{x} \quad (48)$$

Среднюю плотность находим из (18), если взять известное значение постоянной Хаббла H_0 :

$$\rho = \frac{3A}{8\pi G} \quad (49)$$

«Красное смещение» определяется формулой:

$$z = T' - 1 = \frac{a_0}{a} - 1 = \frac{2xq}{1 + q^2} - 1 \quad (50)$$

«Расстояние» от Земли до источника наблюдаемого светового сигнала определяется как произведение скорости света на истинное время движения светового сигнала по часам наблюдателя в текущий момент:

$$L = c \cdot (t_0 - T) \quad (51)$$

Формулы упрощаются, если ввести новую переменную:

$$\alpha = 2 \operatorname{Arctg}(q_0) + \sqrt{B} \cdot (t_0 - T) \quad (52)$$

Тогда из (26) получаем:

$$q = \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (53)$$

$$z = x \cdot \operatorname{Sin}(\alpha) - 1 \quad (54)$$

Таким образом, в нашей модели Вселенной красное смещение возникает вследствие неоднородности времени и, как следует из (54), ограничено сверху:

$$z \leq x - 1 \quad (55)$$

Закон Хаббла следует из (51) -(54) с учётом (48):

$$z(L) = \frac{H_0}{\sqrt{B}} \cdot \operatorname{Sin}\left(\sqrt{B} \cdot \frac{L}{c}\right) + \operatorname{Cos}\left(\sqrt{B} \cdot \frac{L}{c}\right) - 1 \quad (56)$$

При малых L формула (56) даёт обычную линейную зависимость.

V. Проверка модели.

Модель полностью определяется заданием двух параметров: H_0 и w . Для проверки теоретической зависимости закона Хаббла (56) были использованы данные для суперновых типа Ia из статьи [27]. Яркостные расстояния должны быть скорректированы для пространства положительной кривизны, с учётом более сложной зависимости площади сферы от яркостного расстояния L :

$$S = 4\pi a_0^2 \cdot \operatorname{Sin}^2 \chi = 4\pi L^2 \quad (57)$$

Истинные расстояния L_{corr} пространства положительной кривизны были рассчитаны, согласно следующей формуле:

$$L_{corr} = a_0 \cdot \chi = a_0 \cdot \operatorname{Arcsin}\left(\frac{L}{a_0}\right) \quad (58)$$

Данные собраны в Таблице 1. Данные в столбцах (1)-(3) взяты из статьи [27] (Table 6). Яркостные расстояния в столбце (4) рассчитаны по формуле $L = 10^{\frac{\mu_0 - 25}{5}}$ (стр. 28 статьи [27]). Данные в столбцах (5) - (7) рассчитаны по формулам модели. В столбце (5) приведены скорректированные расстояния, рассчитанные по формуле (58). Столбец (6) содержит теоретические значения, рассчитанные по формуле (56). В столбце (7) приведены мгновенные значения параметра Хаббла, рассчитанные по формуле (32).

ГРАФИК 1. Теоретический закон Хаббла при $w = 0.6$ и $H_0 = 49$.

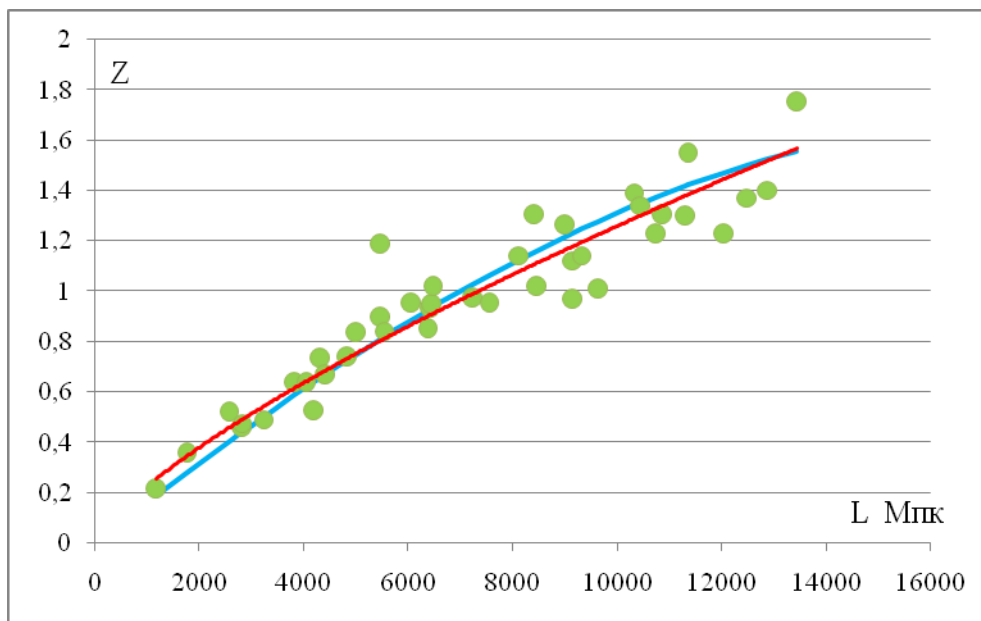


ГРАФИК 2. Теоретический закон Хаббла при разных значениях параметров модели.

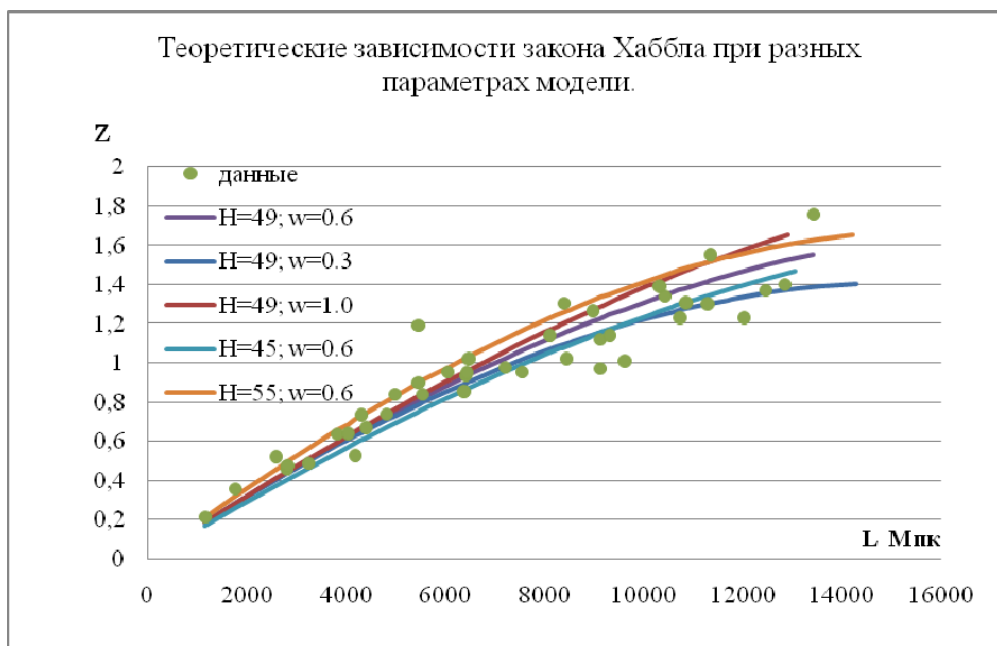


График 1 показывает, что полученная теоретическая кривая (56) хорошо описывает фактические данные при разумном выборе параметров H_0 и w .

На Графике 2 нанесено несколько теоретических кривых, соответствующих разным значениям параметров H_0 и w .

Из формул модели можно получить значения некоторых космологических параметров, известных из астрономическими наблюдений.

(1) Средняя плотность материи во Вселенной.

(2) Максимальное расстояние между объектами во Вселенной («диаметр» Вселенной).

(3) Масса Вселенной.

(4) Параметр, который в модели большого взрыва называют «замедлением».

Модель хорошо воспроизводит данные наблюдений, если принять следующие значения параметров модели:

$$H_0 = 49 \text{ km/s Mpc} \approx 1.6 \cdot 10^{-18} \text{ s}^{-1} \quad (59)$$

$$\bar{w} = 0.6 \quad (60)$$

Разные исследовательские группы, ставившие задачу определения локального значения параметра Хаббла, приводят разные оценки, в зависимости от выбора данных и метода их обработки. Эти оценки [38], лежат в интервале от $H_0 = 30$ до $H_0 = 100$. Например: $H_0 = 55$ ([9]), $H_0 = 43 \pm 11$ ([28]), $H_0 = 47 + 23 (-15)$ ([17]), $H_0 = 46,9 + 7,1 (-6,2)$ и $H_0 = 50,3 + 7,6 (-6,6)$ ([31]).

Значения (59)-(60) были использованы в расчётных формулах нашей модели. Приведём значения расчётных параметров модели (в системе СИ) с перечнем расчётных формул:

$$x = 2.677 \quad - \text{ формулы (40), (47) и (60)} \quad (61)$$

$$q_0 = 0.1938 \quad - \text{ формулы (30) и (61)} \quad (62)$$

$$A = 2.93 \cdot 10^{-36} \quad - \text{ формулы (48), (61) и (59)} \quad (63)$$

$$B = 4.09 \cdot 10^{-37} \quad - \text{ формулы (31), (61) и (63)} \quad (64)$$

$$a_0 = 4.69 \cdot 10^{26} \quad - \text{ формулы (19) и (64)}, \quad (65)$$

(1) Модельная оценка для средней плотности находится в разумном согласии WMAP-оценкой [36]: $\rho \approx 10^{-28}$

$$\rho_{theor.} = \frac{3A}{8\pi G} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} \cdot \left(\frac{x^2}{x^2 - 1} \right) \approx 1.16 \cdot \rho_{crit.} \approx 5.2 \cdot 10^{-27} \quad (66)$$

Согласно формуле (66), наша Вселенная почти плоская.

(2) Максимальное расстояние между объектами в замкнутой Вселенной конечно и равно «диаметру» Вселенной: $L_{max} = \pi a_0$.

$$L_{\max \text{ theor.}} \approx 156 \text{ млрд. свет. лет} \quad (67)$$

В работе [11] приведена WMAP-оценка для максимального расстояния между телами во Вселенной: $L_{\max \text{ observ.}} \geq 48 \text{ Gpc} \approx 156.6 \text{ млрд. свет. лет}$

(3) Масса Вселенной определяется формулой (36):

$$M_{\text{theor.}} = \rho \cdot 2\pi^2 a_0^3 \approx 1.07 \cdot 10^{55} \quad (68)$$

Оценки этого параметра имеют большой разброс [37] и лежат в пределах $M_{\text{observ.}} \approx 10^{50} \div 10^{60}$. В работе [14] приведено значение: $M_{\text{observ.}} \approx 1.326 \cdot 10^{55}$. В этой же статье авторами взято значение постоянной Хаббла $H_0 = 1.7 \cdot 10^{-18}$.

(4) Параметр «замедления» в нашей модели равен:

$$Q_{\text{theor.}} = -\frac{\ddot{a} \cdot a}{\dot{a}^2} = -\frac{A}{H_0^2} \approx -1.16 \quad (69)$$

Почти такое же значение $Q_{\text{observ.}} \approx -1.0 \pm 0.4$ было получено на основе анализа фотометрических данных для суперновых типа Ia ([26], стр. 16)

Формально, наша модель – это решение уравнений Фридмана в предположении постоянной (во времени) плотности энергии. Такое решение не имеет физического смысла, если уравнения Фридмана интерпретировать как «расширение пространства». В моделях «расширения» плотность энергии зависит от времени и не может быть постоянной величиной. В НСМ пространство не расширяется, и плотность энергии не меняется. Рост масштабного фактора определяет скорость течения физического времени. Динамические свойства модели связаны со свойствами времени, а не свойствами пространства, как в моделях «расширения». Следует отметить, что наша модель объясняет «ускоренное расширение». Из теоретического закона Хаббла (56) находим «мгновенное» значение параметра Хаббла как функцию физического времени:

$$H(T) = c \cdot \frac{\partial z(L)}{\partial L} = H_0 \cdot \text{Cos}(\sqrt{B} \cdot (t_0 - T)) - \sqrt{B} \cdot \text{Sin}(\sqrt{B} \cdot (t_0 - T)) \quad (70)$$

Можно доказать, что формула (70) может быть приведена к виду формулы (32). График 6 показывает рост параметра Хаббла $\dot{H} > 0$. На этом графике за начало отсчёта физического времени взят момент, отстоящий от нас на 58, 9 млрд. лет по шкале физического времени, соответствующий моменту минимального значения масштабного

фактора $a_{\min} = \frac{a_0}{x}$:

$$\ddot{a} = a \cdot (\dot{H} + H^2) > 0 \quad (71)$$

ГРАФИК 3. Теоретическая зависимость $T(t)$.

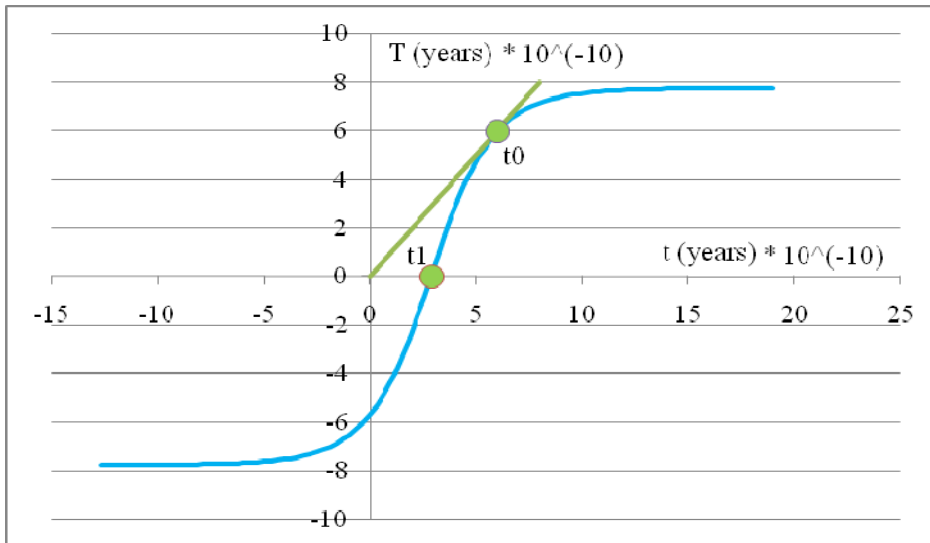


ГРАФИК 4. Теоретическая зависимость $a(t)$.

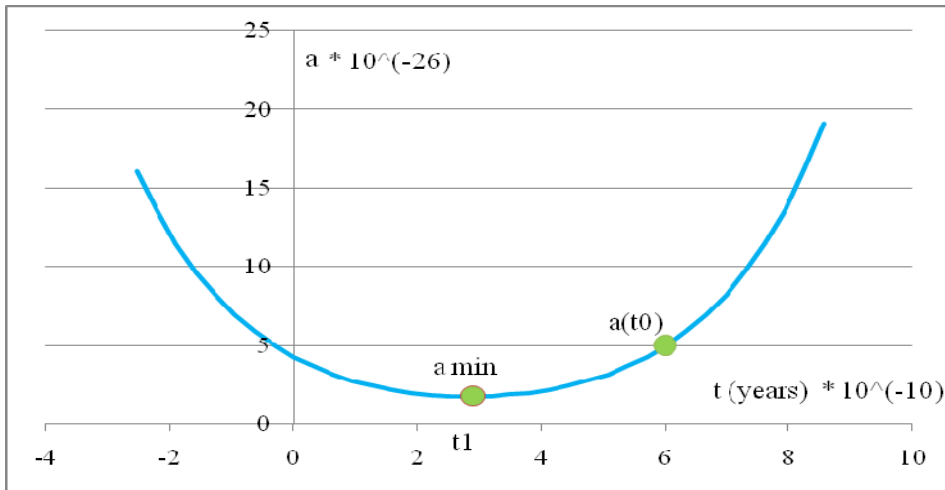


ГРАФИК 5. Теоретическая зависимость $H(t)$.

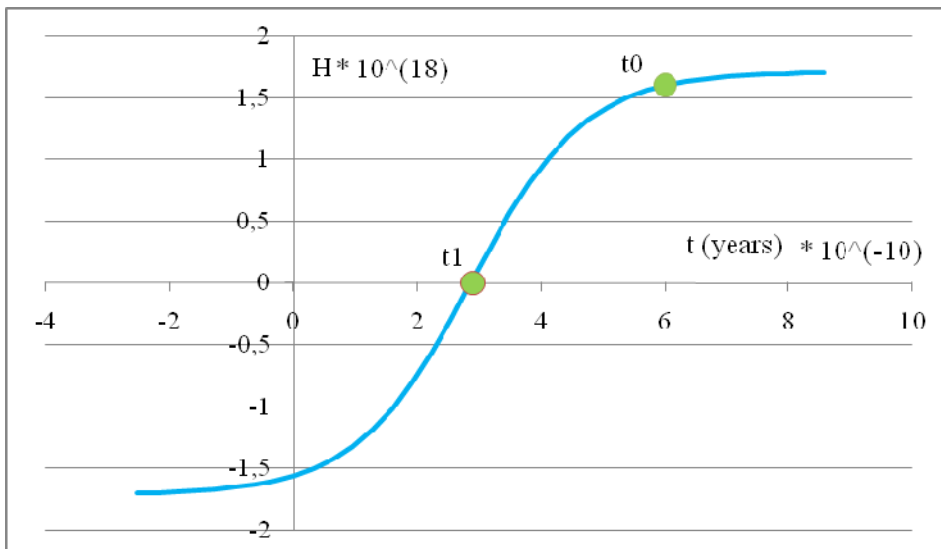
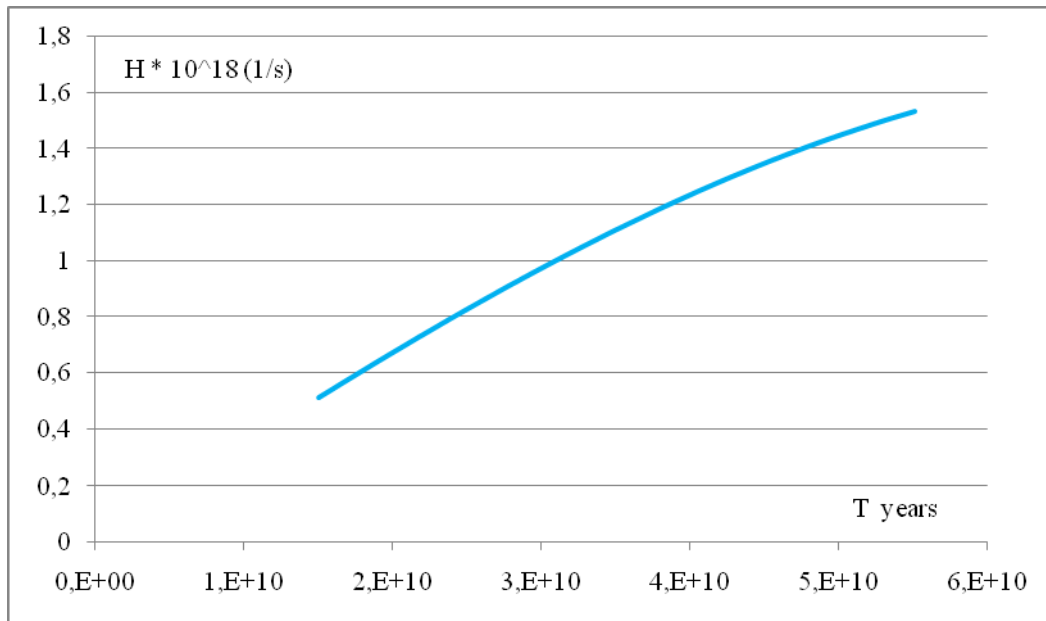


ГРАФИК 6. Зависимость «мгновенного» значения параметра Хаббла от физического времени T , прошедшего с момента «начала» Мира $T(t_1; t_0) = 0$.



VI. Динамические свойства модели.

На Графиках 3-6 изображены функции $T(t)$, $a(t)$ и $H(t)$. Данные, использованные при построении графиков, собраны в Таблице 2. Видно, что характер зависимости этих функций от однородного времени меняется в некоторый момент t_1 . В этот момент масштабный фактор принимает минимальное значение, функция $T(t)$ имеет точку перегиба, а параметр Хаббла обращается в ноль. При $t < t_1$ параметр Хаббла становится отрицательным, а функция $a(t)$ становится убывающей.

Следовательно, в НСМ существует особый момент времени t_1 , с которого начинается история развития Вселенной с наблюдаемыми свойствами (масштабный фактор растёт, а параметр Хаббла – положительная возрастающая функция). В этом смысле можно говорить о существовании некоторого «начала» – момента «возникновения» Вселенной с теми свойствами, которые мы фиксируем посредством наблюдений. Однако в этот момент времени все физические величины (плотность, давление и масштабный фактор) имеют вполне определённые значения и не обращаются в бесконечность, то есть, в НСМ нет проблемы первичной сингулярности.

Момент t_1 соответствует значению параметра $q = 1$, при котором параметр Хаббла обращается в ноль - формула (32). Подставив это значение в (27), получаем

оценку для времени существования Вселенной с известными нам свойствами по шкале однородного времени:

$$t_0 - t_1 = -\frac{\text{Ln}(q_0)}{\sqrt{A}} \approx 30.4 \text{ млрд. лет} \quad (72)$$

По шкале физического времени (формула (26)) оно равно:

$$t_0 - T_1 = -\frac{2}{\sqrt{B}} \cdot \left(\text{Arctg}(q_0) - \frac{\pi}{4} \right) \approx 58.9 \text{ млрд. лет} \quad (73)$$

Для Графиков 1 - 6 были взяты значения: $T_1 = 0$ и $t_0 = 58.9 \text{ млрд. свет. лет.}$

VII. Обсуждение.

Физическое время $T(t; t_0)$ зависит от текущего момента времени как от параметра, а значит, является функцией двух переменных. Физическое время двумерно. Этот результат глубоко расходится с нашими обычными представлениями о времени. Но надо иметь в виду, что наши представления о времени основаны на опыте о временной упорядоченности событий, разделённых ничтожно малыми (по космологическим масштабам) интервалами времени. С математической точки зрения представленная выше теоретическая схема выходит за пределы обычной римановой геометрии. Поскольку временная координата $T(t; t_0)$, входящая в интервал (10), зависит от параметра t_0 (текущего момента времени), то разным моментам текущего времени соответствуют разные интервалы римановы пространства с интервалом (10). Вместо одного риманова пространства мы имеем здесь однопараметрическое семейство римановых пространств, в котором роль параметра выполняет текущий момент времени t_0 . С изменением t_0 меняется и риманово пространство, так как меняется координата «физического времени» T . Эта ситуация аналогична той, которую мы имеем, рассматривая касательные плоскости к искривленной поверхности в разных точках. Там в каждой точке поверхности своя касательная плоскость. В нашем случае «точкой касания», если так можно выразиться, является текущий момент времени. Каждому такому моменту соответствует своё риманово пространство. Мы имеем структуру множества римановых пространств, каждому из которых соответствует определённый момент текущего времени. Модель Фридмана формулируется для каждого из таких римановых пространств, а возникающая в этой модели динамика масштабного фактора интерпретируется как непрерывное преобразование этих

римановых пространств, переход от одного пространства к другому в соответствии с значением параметра текущего момента времени t_0 . При таком понимании, динамические свойства модели Фридмана определяют процесс «движения» в параметризованном множестве римановых пространств, каждое из которых при этом описывает мир постоянной положительной кривизны. Изменение масштабного фактора определяет непрерывное преобразование временной координаты и не затрагивает свойства пространства. Можно сказать, что в каждый момент текущего времени используется свой хронометр. Представить эту ситуацию можно, взяв следующую аналогию. Представим себе, что мы каждый час меняем часы, которыми пользуемся для измерения времени. При этом всякий раз скорость хода новых часов больше скорости хода старых часов. Масштаб времени меняется раз в час. Одни и те же физические процессы кажутся идущими быстрее при измерении их с помощью новых, более быстро идущих часов (в этом и состоит закон Хаббла). Если теперь мы меняем часы раз в 10 минут, то раз в 10 минут будет происходить изменение масштаба временной оси и т.д. В пределе получим непрерывное изменение масштаба временной оси – это и есть тот физический процесс, который соответствует росту масштабного фактора в модели Фридмана.

Увеличение масштабного фактора мы интерпретируем как непрерывное масштабное преобразование времени, в соответствии с формулой $\frac{dT}{dt} = \frac{a_0}{a(t; t_0)}$. Такая интерпретация модели Фридмана даёт статическое пространство с неоднородным временем, скорость течения которого непрерывно меняется.

Таким образом, мы выходим за пределы традиционного представления Вселенной с помощью геометрической схемы риманова пространства. В новой интерпретации Вселенная представляется с помощью однопараметрического множества римановых пространств, причём роль параметра выполняет текущий момент времени. Под «текущим моментом времени» мы понимаем мировое однородное время в сопутствующей системе отсчёта. В этой системе отсчёта возможна синхронизация часов в разных точках пространства. По этой причине мировое время имеет в рамках модели Фридмана (при сделанных там допущениях) ясный и однозначный смысл. Говорят, например, о Вселенной после первой или после пятой секунды от момента «Большого Взрыва». Физическое время T в каждый момент мирового времени t_0 совпадает с мировым временем – формулы (12) и (13).

Схема новой интерпретации модели Фридмана сложнее (множество римановых пространств), но зато эта новая интерпретация избавляет нас от множества затруднений интерпретации «Большого Взрыва». В новой интерпретации нет расширения пространства и нет первичной сингулярности. Закон Хаббла объясняется непрерывным ускорением течения времени. Расчёты, выполненные в рамках этой интерпретации, приводят к разумному соответствию расчётных данных фактическим значениям для ряда параметров (средняя плотность, масса и размер Вселенной, параметр замедления).

Мы привыкли считать, что четырёхмерное многообразие Римана – это та геометрическая структура, которая соответствует физической реальности. Но насколько обосновано это наше убеждение? Почему бы не предположить, что реальность устроена более сложным образом и что адекватная ей геометрическая схема тоже более сложна, чем мы привыкли думать. Известные трудности модели «большого взрыва», возможно, вызваны именно этим – исходным выбором слишком упрощённой геометрической схемы, недостаточной для описания физической реальности во всём её многообразии свойств. Расширив схему, как это описано выше, мы получаем возможность уйти от модели «большого взрыва» с её puzzles и проблемой первичной сингулярности. Мы приходим тогда к новой модели статического Мира, модели, расчётные параметры которой находятся в разумном согласии с данными. Эта новая модель есть не что иное как новая интерпретация модели Фридмана, в которой рост масштабного фактора интерпретируется как изменение скорости течения физического времени.

VIII. Аномалия спутников «Пионер-10» и «Пионер-11».

Идея изменения скорости течения физического времени позволяет понять, что скрывается за аномальным ускорением спутников «Пионер-10» и «Пионер-11» (так называемая pioneer anomaly).

Разложим функцию $T(t; t_0)$ в ряд Тейлора в окрестности точки $t = t_0$. Учитывая (12), (13) и (15), получаем:

$$T(t; t_0) = t - \frac{H_0 \cdot (t - t_0)^2}{2} \quad (74)$$

Увеличению параметра, описывающего рост текущего момента времени $t_{01} \rightarrow t_{02}$, соответствует сдвиг функции $T(t; t_{01}) \rightarrow T(t; t_{02})$ в плоскости (t, T) . Как следует из формулы (74), прежний текущий момент времени t_{01} в новый текущий момент t_{02}

окажется «сдвинут в прошлое» не на величину $t_{02} - t_{01}$, как это было бы, если бы физическое время было однородным и одномерным, а на чуть большую величину:

$$t_{02} - T(t_{01}; t_{02}) = t_{02} - t_{01} + \frac{H_0 \cdot (t_{02} - t_{01})^2}{2} \quad (75)$$

Полагая $t_{01} = 0$, получаем зависимость между измеряемым временем t_0 и соответствующим ему истинным физическим временем:

$$T = t_0 + \frac{H_0 \cdot t_0^2}{2} \quad (76)$$

Второй член справа в формулах (74) -(76) описывает расхождение между обычным (однородным и одномерным) временем и физическим (неоднородным и двумерным) временем. Это расхождение ничтожно мало. Например, для процесса длительностью в 1 год рассогласование между длительностью этого процесса по шкале однородного и физического времени составит меньше 1 миллисекунды. Такое расхождение лежит за пределами точности современных хронометров и, в силу исключительной малости, его, как правило, можно не учитывать при расчётах физических явлений и проектировании технических устройств. Однако, это расхождение между физическим и однородным временем, по-видимому, необходимо учитывать для повышения надёжности дальней космической связи.

Управление космическими аппаратами, находящимися в дальнем космосе, осуществляется посредством эхо-сигналов. Время распространения эхо-сигнала равно физическому времени между моментом отправки сигнала с Земли и моментом получения отражённого космическим аппаратом эхо-сигнала. Время, измеряемое земной станцией слежения между событием отправки и событием получения управляющего сигнала, равно однородному времени, прошедшему с момента отправления до момента возвращения сигнала. Это следует из локальной однородности времени в каждый текущий момент и выполнения формулы (13) для каждого значения t_0 . Измеряемое время распространения эхо-сигнала меньше физического на величину квадратичной добавки в формуле (76). Это приводит к аномальному сдвигу частоты в синюю область спектра. Пусть $f_{\text{obs.}}$ - наблюдаемая станцией слежения частота эхо-сигнала. Она равна производной от фазы проходящей волны φ по измеряемому, то есть однородному времени:

$$f_{\text{obs.}} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (77)$$

Но процесс движения аппаратов и процесс распространения эхо-сигнала происходят в истинном физическом времени (скорость света постоянна относительно именно физического времени, как это видно из формулы (10)). Поэтому все расчётные формулы дают значение частоты, которое отличается от наблюдаемого значения (77).

Частота f_{mod} , рассчитанная относительно физического времени равна:

$$f_{\text{mod}} = \frac{d\varphi}{dT} = f_{\text{obs.}} \cdot \frac{dt}{dT} = \frac{f_{\text{obs.}}}{1 + H_0 \cdot t} \approx f_{\text{obs.}} \cdot (1 - H_0 \cdot t) \quad (78)$$

Отсюда следует формула для аномального сдвига частоты эхо-сигнала в синюю область спектра:

$$f_{\text{obs.}} - f_{\text{mod.}} \approx f_{\text{obs.}} \cdot H_0 \cdot t \approx f_0 \cdot H_0 \cdot t \quad (79)$$

Эффект такого сдвига частоты обнаружен в результате многолетних наблюдений за космическими аппаратами «Пионер 10» и «Пионер 11» [8], [32]. Авторы назвали его «аномальным ускорением» (pioneer anomaly), поскольку формально росту частоты (78) можно сопоставить эффективное «ускорение» аппаратов, вызванное неизвестной физической причиной. Для частоты отражённого сигнала в нерелятивистском приближении имеем:

$$f = f_0 \cdot \left(1 - \frac{V}{c}\right) \quad (80)$$

За счёт аномального отрицательного ускорения $\dot{V} = -a_p < 0$ рост частоты составит:

$$\dot{f} = f_0 \cdot \frac{a_p}{c} \quad (81)$$

Отклонение наблюдаемой частоты от модельной за время t составит:

$$f_{\text{obs.}} - f = f_0 \cdot \frac{a_p}{c} \cdot t \quad (82)$$

Обработка телеметрических данных даёт для «аномального ускорения» значение:

$$a_p \approx (8.74 \pm 1.33) \cdot 10^{-10} \text{ м/с}^2 \quad (83)$$

Сравнивая (82) и (79), получаем соотношение:

$$H_0 = \frac{a_p}{c} \quad (84)$$

Значение H_0 , рассчитанное на основе формулы (84), равно:

$$H_0 \approx 2.9 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1} \quad (85)$$

Таким образом, вытекающее из нашей модели объяснение «аномалии пионеров» даёт правильный порядок для величины наблюдаемого эффекта. Отметим, что авторы открытия «аномального ускорения» [8], [32] тоже считают, что одно из возможных объяснений эффекта – это ускорение хода часов или неравномерность течения времени ([32], стр. 101).

A.F. Ranada [23-25] предложил объяснение, согласно которому «ускорение» хода часов вызвано изменением гравитационного потенциала при «расширении Вселенной». P.A. LaViolette [21] объясняет «посинение» фотонов нарушением закона сохранения энергии, вызванного, возможно, неоднородностью времени.

В нашей модели динамика, которую обычно приписывают «расширению пространства», отнесена к свойствам физического времени, скорость течения которого зависит от масштабного фактора. Время не однородно, и неравномерность течения физического времени приводит к эффекту «аномального ускорения». Хотя модель качественно объясняет эффект и даёт правильный порядок его величины, значение (85) несколько отличается от найденного выше теоретического значения (59). По-видимому, это связано с тем, что наша модель (как и любая космологическая модель) слишком огрубляет реальность. Гипотеза о равномерном распределении материи по всему пространству, очевидно, «работает» лишь при рассмотрении очень больших областей пространства. Область размером солнечной системы, очевидно, нельзя рассматривать как область с равномерным распределением материи. Эффекты неравномерности распределения вещества в данном случае будут сказываться и на фактическом значении параметра Хаббла.

Согласно формуле (15), параметр Хаббла зависит от скорости течения физического времени. В модели с равномерно распределённой материей скорость течения физического времени во всех точках пространства одна и та же (хотя и меняется со временем). Более реалистичная модель должна учитывать возможность того, что скорость течения физического времени может быть разной не только в разные моменты времени, но и в разных областях пространства (примером является гравитационное замедление времени). Поэтому более точный анализ эффекта «аномального ускорения» должен основываться на более реалистичной модели, учитывающей зависимость скорости течения физического времени от распределения материи в пространстве.

IX. Заключение.

Идея ввести в космологию неоднородное время имеет длинную историю. В 1930-ые годы Л.Д., Ландау и Н. Бор рассматривали возможность нарушения закона сохранения энергии в физических условиях, создающихся внутри звёзд [1], [18], [19]. По сути, речь шла о возможности нарушения принципа однородности времени в областях пространства с высокой плотностью и давлением. После принятия термоядерной гипотезы излучения звёзд, идея неоднородности времени была на время забыта. Модель большого взрыва стимулировала новый виток споров на эту тему. Ричард Фейнман [13] указывал, что космологию «расширяющейся Вселенной» трудно совместить с принципом однородности времени. В 1994 Игорь Соколов [27] предложил связать излучение квазаров с высвобождением энергии Казимира при сжатии звёзд. Оба процесса «расширение Вселенной» и «высвобождение энергии Казимира» (энергии нулевых колебаний вакуума) являются процессами, идущими только в одном направлении и придающими времени свойство необратимости, направленности. В такой Вселенной разные моменты её истории не могут быть физически эквивалентны, а значит, время не может быть в точности однородным. Р.А. LaViolette [20] показал, что даже малые нарушения однородности времени – совершенно не существенные для процессов в земной лаборатории – могут, тем не менее, приводить к физически наблюдаемым явлениям для тел и процессов космического масштаба. Например, такие малые нарушения закона сохранения энергии могут обеспечивать наблюдаемый выход энергии Солнца. Идея, что физическое время, возможно, не является однородным, находит определённые подтверждения и в недавно выполненных измерениях, свидетельствующих о том, что постоянная тонкой структуры меняется со временем [34].

Концепция неоднородного времени, изложенная в данной статье, не привычна. В нашей модели физическое время однородно лишь в малой окрестности текущего момента мирового времени, подобно тому, как риманово пространство евклидово лишь в малой окрестности точки риманова многообразия. Введённые математические постулаты (11) - (13) не противоречат нашим представлениям о времени, основанным на опыте наблюдения процессов ничтожной (по космологическим масштабам) длительности. В то же время правильное понимание введённых постулатов требует дальнейшего логического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л.Д. Ландау, ДАН СССР 17, 301 (1937).
2. А.А. Фридман, в Избранные труды, 229 («Наука», М., 1966).
3. А.А. Фридман, в Избранные труды, 238 («Наука», М., 1966).
4. А. Эйнштейн, в Собрание научных трудов 1, 601-612 («Наука», М., 1965).
5. А. Эйнштейн, в Собрание научных трудов 2, 5-82 («Наука», М., 1966).
6. А. Эйнштейн в Собрание научных трудов 2, 119 («Наука», М., 1966).
7. А. Эйнштейн в Собрание научных трудов 2, 349-352 («Наука», М., 1966).
8. J. D. Anderson et al., Study of Anomalous Acceleration of Pioneer 10 and 11 (2002). [arXiv:gr-qc/0104064v5](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0104064v5)
9. H. Arp, Arguments for a Hubble Constant near $H_0 = 55$ (2001). [arXiv:astro-ph/0106466v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0106466v1)
10. W. B. Bonnor, Month. Not. of the Royal Ast. Soc. 282 (4), 1467 (1996) <http://adsabs.harvard.edu/full/1996MNRAS.282.1467B>
11. N.J. Cornish, D.N. Spergel, G.D. Starkman, and E. Komatsu, Phys. Rev. Lett. 92, 201302 (2004). [arXiv:astro-ph/0310233v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310233v1)
12. D.F. Crawford, Observational evidence favours a static universe. J. of cosmol. (forthcoming) (2010). [arXiv:1009.0953v2](https://arxiv.org/abs/1009.0953v2)
13. R. Feynman, The Character of Physical Law. A series of lectures recorded by the BBC (Cornell University USA, 1965). Русский перевод: Характер физических законов («Наука» М., 1987).
14. A. H. Guth, Phys. Rev. D 23, 347 (1981).
15. I.I. Haranas and M. Hurney, Progr. in Phys. 2 (2009). Internet resource: http://www.ptep-online.com/index_files/2009/PP-17-09.PDF
16. E. Hubble, PNAS 15 (3), 168 (1929).
17. J.P. Hughes and M. Birkinshaw, A Measurement of the Hubble Constant from the X-Ray Properties and the Sunyaev-Zeldovich Effect of CL 0016+16 (1998). [arXiv:astro-ph/9801183v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9801183v1)
18. L.D. Landau, Phys. Z. Sowjetunion 1, 285 (1932).
19. L.D. Landau, Nature 141, 333 (1938).
20. P.A. LaViolette, Physics Essays 5, 536 (1992).

21. P.A. LaViolette, The Pioneer maser signal anomaly: Possible confirmation of spontaneous photon blueshifting (2006). [arXiv:physics/0603191v2](https://arxiv.org/abs/physics/0603191v2)
22. A. de Oliveria-Costa et al., Phys. Rev. D 69 (6), 063516 (2004). [arXiv:astro-ph/0307282v3](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0307282v3)
23. A.F. Ranada, The Pioneer anomaly as acceleration of the clocks (2005). [arXiv:gr-qc/0410084v2](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0410084v2)
24. A.F. Ranada and A. Tiemblo, Time, clocks, parametric invariance and the Pioneer Anomaly (2006). [arXiv:gr-qc/0602003v2](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0602003v2)
25. A.F. Ranada and A. Tiemblo, A proposal that explains the Pioneer anomaly (2009). [arXiv:0804.1904v5](https://arxiv.org/abs/0804.1904v5)
26. A.G. Riess et al. Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant (1998). [arXiv:astro-ph/9805201v1](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9805201v1)
27. A.G. Riess et al., New Hubble Space Telescope Discoveries of Type Ia Supernovae at $z > 1$: Narrowing Constraints on the Early Behavior of Dark Energy (2007). [arXiv:astro-ph/0611572v2](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0611572v2)
28. A. Sandage, Astr. J. 402 (1), 3 (1994).
29. I.Y. Sokolov, in Cudell J.R. (ed.) What is Next (World Scientific 1994), pp.119-124. [arXiv:astro-ph/9405060v4](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9405060v4)
30. D.N. Spergel, et al., Ap. J. Suppl., 148, 175 (2003). [arXiv:astro-ph/0302209v3](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0302209v3)
31. M. Tada and T. Futamase, Progr. of Theor. Phys. 104 (5) 971 (2000).
32. S. Turyshev S. and V. Toth V., The Pioneer Anomaly (2010). [arXiv:1001.3686v2](https://arxiv.org/abs/1001.3686v2)
33. T. Van Flandren, Meta Res. Bull. 11, 6 (2002), pp.6-13.
34. J. Webb, Phys. World, April (2003).
35. J.G. Williams, S.G. Turyshev, and D.H. Boggs, Progress in Lunar Laser Ranging Tests of Relativistic Gravity (2004). [arXiv:gr-qc/0411113v2](https://arxiv.org/abs/gr-qc/0411113v2)
36. NASA/WMAP Science Team, Updated 05-25-2010. Internet resource: http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_matter.html
37. K. McPherson in The physics textbook (ed. G. Elert) (2006). Internet resource: <http://hypertextbook.com/facts/2006/KristineMcPherson.shtml>
38. J.P. Huchra, Estimates of the Hubble constant, Updated 7 October 2010. Garvard-Smithsonian Centre for astrophysics. Internet resource: https://www.cfa.harvard.edu/~huchra/hubble_plot.dat

Таблица 1. Проверка теоретического закона Хаббла по данным для суперновых типа Ia.

| Ia SNe | z | μ_0 | L (Мпк) | L согг. (Мпк) | Z теор. | H (1/c) |
|-----------|-------|---------|----------|---------------|---------|----------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| 2002kc | 0.216 | 40.33 | 1164.13 | 1165.27 | 0.19 | 1.53E-18 |
| HST04Kur | 0.359 | 41.23 | 1761.98 | 1765.95 | 0.28 | 1.50E-18 |
| HST05Zwi | 0.521 | 42.05 | 2570.40 | 2582.82 | 0.41 | 1.46E-18 |
| HST04Yow | 0.46 | 42.23 | 2792.54 | 2808.51 | 0.44 | 1.44E-18 |
| 2002dc | 0.475 | 42.24 | 2805.43 | 2821.63 | 0.44 | 1.44E-18 |
| HST04Hawk | 0.49 | 42.54 | 3221.07 | 3245.70 | 0.50 | 1.42E-18 |
| HST05Dic | 0.638 | 42.89 | 3784.43 | 3824.69 | 0.59 | 1.38E-18 |
| 2003be | 0.64 | 43.01 | 3999.45 | 4047.14 | 0.62 | 1.36E-18 |
| 2002hr | 0.526 | 43.08 | 4130.48 | 4183.13 | 0.64 | 1.35E-18 |
| 2002kd | 0.735 | 43.14 | 4246.20 | 4303.51 | 0.65 | 1.35E-18 |
| 2003bd | 0.67 | 43.19 | 4345.10 | 4406.63 | 0.67 | 1.34E-18 |
| HST04Rak | 0.74 | 43.38 | 4742.42 | 4823.02 | 0.73 | 1.31E-18 |
| HST05Spo | 0.839 | 43.45 | 4897.79 | 4986.85 | 0.75 | 1.30E-18 |
| 2993eb | 0.9 | 43.64 | 5345.64 | 5462.58 | 0.81 | 1.26E-18 |
| HST05Red | 1.19 | 43.64 | 5345.64 | 5462.58 | 0.81 | 1.26E-18 |
| 2003eq | 0.84 | 43.67 | 5420.01 | 5542.10 | 0.82 | 1.26E-18 |
| HST04Tha | 0.954 | 43.85 | 5888.44 | 6046.81 | 0.88 | 1.22E-18 |
| HST04Man | 0.854 | 43.96 | 6194.41 | 6380.30 | 0.93 | 1.19E-18 |
| 2003XX | 0.935 | 43.97 | 6223.00 | 6411.62 | 0.93 | 1.19E-18 |
| 2002dd | 0.95 | 43.98 | 6251.73 | 6443.13 | 0.93 | 1.18E-18 |
| HST05Fer | 1.02 | 43.99 | 6280.58 | 6474.80 | 0.94 | 1.18E-18 |
| HST04Omb | 0.975 | 44.21 | 6950.24 | 7218.81 | 1.03 | 1.12E-18 |
| 2003es | 0.954 | 44.3 | 7244.36 | 7551.46 | 1.06 | 1.09E-18 |
| HST04Gre | 1.14 | 44.44 | 7726.81 | 8105.93 | 1.12 | 1.04E-18 |
| 2002hp | 1.305 | 44.51 | 7979.95 | 8401.65 | 1.16 | 1.02E-18 |
| HST04Eag | 1.02 | 44.52 | 8016.78 | 8444.97 | 1.16 | 1.01E-18 |
| 2993az | 1.265 | 44.64 | 8472.27 | 8987.32 | 1.21 | 9.62E-19 |
| HST04Pat | 0.97 | 44.67 | 8590.14 | 9129.76 | 1.23 | 9.48E-19 |
| HST05Gab | 1.12 | 44.67 | 8590.14 | 9129.76 | 1.23 | 9.48E-19 |
| 2002ki | 1.14 | 44.71 | 8749.84 | 9324.24 | 1.25 | 9.30E-19 |
| HST05Str | 1.01 | 44.77 | 8994.98 | 9626.23 | 1.28 | 9.01E-19 |
| HST04Sas | 1.39 | 44.9 | 9549.93 | 10326.95 | 1.34 | 8.33E-19 |
| 2003dy | 1.34 | 44.92 | 9638.29 | 10440.91 | 1.35 | 8.22E-19 |
| HST05Lan | 1.23 | 44.97 | 9862.79 | 10733.67 | 1.37 | 7.93E-19 |
| 2003aj | 1.307 | 44.99 | 9954.05 | 10854.06 | 1.38 | 7.81E-19 |
| 2002fw | 1.3 | 45.06 | 10280.16 | 11291.23 | 1.42 | 7.37E-19 |
| 2003ak | 1.551 | 45.07 | 10327.61 | 11355.80 | 1.42 | 7.30E-19 |
| HST05Koe | 1.23 | 45.17 | 10814.34 | 12033.66 | 1.47 | 6.60E-19 |
| HST04Mcg | 1.37 | 45.23 | 11117.32 | 12471.46 | 1.50 | 6.14E-19 |
| 2002fx | 1.4 | 45.28 | 11376.27 | 12856.67 | 1.52 | 5.74E-19 |
| 1997ff | 1.755 | 45.35 | 11748.98 | 13431.39 | 1.55 | 5.12E-19 |

Таблица 2. Теоретические зависимости, рассчитанные по формулам модели (26), (27), (28) и (32).

| t, лет | T, лет | q | a | H |
|-----------|----------|-------|----------|-----------|
| -2.54E+10 | -7.2E+10 | 18.33 | 1.61E+27 | -1.70E-18 |
| -2.22E+10 | -7.1E+10 | 15.45 | 1.36E+27 | -1.70E-18 |
| -1.90E+10 | -7E+10 | 13.02 | 1.15E+27 | -1.69E-18 |
| -1.58E+10 | -6.9E+10 | 10.97 | 9.69E+26 | -1.68E-18 |
| -1.27E+10 | -6.7E+10 | 9.24 | 8.19E+26 | -1.67E-18 |
| -9.51E+09 | -6.5E+10 | 7.79 | 6.93E+26 | -1.66E-18 |
| -6.34E+09 | -6.3E+10 | 6.56 | 5.88E+26 | -1.63E-18 |
| -3.17E+09 | -6E+10 | 5.53 | 5.00E+26 | -1.60E-18 |
| 0.00E+00 | -5.7E+10 | 4.66 | 4.27E+26 | -1.56E-18 |
| 3.17E+09 | -5.3E+10 | 3.93 | 3.66E+26 | -1.50E-18 |
| 6.34E+09 | -4.9E+10 | 3.31 | 3.16E+26 | -1.43E-18 |
| 9.51E+09 | -4.4E+10 | 2.79 | 2.76E+26 | -1.32E-18 |
| 1.27E+10 | -3.8E+10 | 2.35 | 2.43E+26 | -1.19E-18 |
| 1.58E+10 | -3.1E+10 | 1.98 | 2.18E+26 | -1.02E-18 |
| 1.90E+10 | -2.4E+10 | 1.67 | 1.99E+26 | -8.07E-19 |
| 2.22E+10 | -1.7E+10 | 1.41 | 1.85E+26 | -5.62E-19 |
| 2.54E+10 | -8.4E+09 | 1.18 | 1.78E+26 | -2.88E-19 |
| 2.85E+10 | 71906833 | 1.00 | 1.75E+26 | 2.48E-21 |
| 3.17E+10 | 8.51E+09 | 0.84 | 1.78E+26 | 2.93E-19 |
| 3.49E+10 | 1.67E+10 | 0.71 | 1.86E+26 | 5.66E-19 |
| 3.80E+10 | 2.45E+10 | 0.60 | 1.99E+26 | 8.11E-19 |
| 4.12E+10 | 3.16E+10 | 0.50 | 2.18E+26 | 1.02E-18 |
| 4.44E+10 | 3.81E+10 | 0.42 | 2.44E+26 | 1.19E-18 |
| 4.75E+10 | 4.38E+10 | 0.36 | 2.76E+26 | 1.32E-18 |
| 5.07E+10 | 4.88E+10 | 0.30 | 3.17E+26 | 1.43E-18 |
| 5.39E+10 | 5.32E+10 | 0.25 | 3.67E+26 | 1.50E-18 |
| 5.70E+10 | 5.7E+10 | 0.21 | 4.28E+26 | 1.56E-18 |
| 6.02E+10 | 6.02E+10 | 0.18 | 5.02E+26 | 1.60E-18 |
| 6.34E+10 | 6.29E+10 | 0.15 | 5.90E+26 | 1.63E-18 |
| 6.65E+10 | 6.52E+10 | 0.13 | 6.95E+26 | 1.66E-18 |
| 6.97E+10 | 6.72E+10 | 0.11 | 8.21E+26 | 1.67E-18 |
| 7.29E+10 | 6.89E+10 | 0.09 | 9.71E+26 | 1.68E-18 |
| 7.61E+10 | 7.03E+10 | 0.08 | 1.15E+27 | 1.69E-18 |
| 7.92E+10 | 7.15E+10 | 0.06 | 1.36E+27 | 1.70E-18 |
| 8.24E+10 | 7.25E+10 | 0.05 | 1.61E+27 | 1.70E-18 |
| 8.56E+10 | 7.33E+10 | 0.05 | 1.91E+27 | 1.70E-18 |