

К проблеме космологической постоянной

Юрий Ю. Ермоленко

Рассматривается подход автора к одной из самых важных проблем современной теоретической физики – проблеме космологической постоянной и её роли в эволюции Вселенной. Предлагается новое представление пространства, времени и материи в физике с позиций разработанной автором теории геометрических инвариантов.

май, 2013г

web: www.geoinvar.ucoz.com

email: tgiyuri@gmail.com

Содержание:

1. История вопроса	(1).
2. О Пространстве и Времени в физике	(7).
3. Геометрические инварианты	(20).
4. Нулевые колебания и Геометрия	(27).
5. Эволюция Вселенной	(36).
6. Заключение	(41).
Список литературы	(43).

1. История вопроса

Космологическая постоянная была впервые введена Эйнштейном и появилась в уравнениях гравитационного поля Общей Теории Относительности (ОТО), связывающих кривизну пространства-времени с распределением масс. Введение космологической постоянной Λ явилось ответом на поиск статического решения для Вселенной. Одной из важных особенностей данного подхода является идея существования во вселенной материи, которую называли «космический вакуум». В тензорной форме записи эти уравнения (известные также как «уравнения Эйнштейна») имеют вид

$$R_{ik} - \frac{1}{2} R g_{ik} + \Lambda g_{ik} = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{ik}, \quad (1.1)$$

где R_{ik} – тензор Риччи, R – свёртка тензора Риччи, т.е. скалярная кривизна, g_{ik} – метрический тензор, Λ – космологическая постоянная, T_{ik} – тензор энергии-импульса материи и G – гравитационная постоянная.

Тензор энергии-импульса T_{ik} в локально-инерциальной системе отсчёта даётся диагональными компонентами

$$T^{ik} = \begin{pmatrix} \varepsilon & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix}, \quad (1.2)$$

причём компонента T_{00} определяет плотность энергии вещества $\varepsilon = \rho c^2$, а остальные ненулевые компоненты равны давлению вещества p . Давление обычно связывают с плотностью вещества уравнением состояния

$$p = w\rho c^2, \quad (1.3)$$

где коэффициент пропорциональности w зависит от характеристик среды. В итоге мы получаем различный вид тензора энергии-импульса для разных сред. В общем и целом, можно записать три уравнения состояния:

- 1) для пылевидной материи, тепловые скорости которой малы по сравнению со скоростью света $w = 0$ и, следовательно, давление пыли $p = 0$.
- 2) для ультрарелятивистского вещества (частицы высоких энергий и излучение) $w = 1/3$ и давление $p = 1/3\varepsilon$
- 3) для материи, определяемой космологической постоянной $w = -1$ и давление $p = -\varepsilon$.

Поскольку в ОТО давление само по себе является источником гравитации то, в отличие от ньютоновского приближения, это учитывается в виде эффективной гравитирующей плотности ρ_g

$$\rho_g = \rho + \frac{3p}{c^2}, \quad (1.4)$$

где ρ – плотность вещества, а p – его давление.

Решения уравнений Эйнштейна для случая изотропной и однородной Вселенной с положительной космологической постоянной впервые были получены А.А. Фридманом. Его работы, опубликованные в 1922-24 гг., стали известны, как «космологическая модель Фридмана». Но никаких достоверных данных об отличии от нуля самой космологической постоянной не было. И только лишь в 1998 году при изучении сверхновых звёзд сразу две команды астрономов объявили об открытии ускоряющегося расширения Вселенной, что предполагает ненулевое значение космологической постоянной. К настоящему моменту времени эта теория хорошо подтверждается и другими наблюдениями.

Экспериментально наблюдаемое значение величины $\Lambda \sim 10^{-53} \text{ м}^{-2}$ соответствует плотности энергии вакуума порядка $5.98 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3$.

Итак, модель Фридмана определяет изменение масштабного фактора $a(t)$ со временем и даётся следующими основными уравнениями (точками обозначены производные по времени d/dt)

$$\frac{\dot{a}^2 + kc^2}{a^2} = \frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{\Lambda c^2}{3}, \quad (1.5)$$

где k есть кривизна пространства.

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3} \cdot \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) + \frac{\Lambda c^2}{3}, \quad (1.6)$$

это уравнение также означает, что тело массы m испытывает не только силу притяжения со стороны массы M , заключённой внутри сферы радиуса $R = a$, но и отталкивание

(1.7)

$$F_{rep} = \frac{1}{3} m \Lambda c^2 R .$$

Наконец, последнее уравнение отражает факт независимости плотности материи от координат в однородной среде, расширяющейся по закону Хаббла

(1.8)

$$\frac{d\rho}{dt} = -3H \cdot \left(\rho + \frac{3p}{c^2} \right) .$$

Используя форму тензора энергии импульса T_{ik} для величины Λ , а также (1.3), перепишем выражение (1.6) в виде

(1.9)

$$\ddot{a} = -\frac{4\pi G}{3} a \rho \cdot (1 + 3w) .$$

Из последнего уравнения очевидно, что эволюция Вселенной на разных этапах зависела от доминирования того или иного типа материи (пыль, излучение, вакуум). В наше время барионным веществом по сравнению с тёмной энергией и тёмной материей можно пренебречь (рис.1).

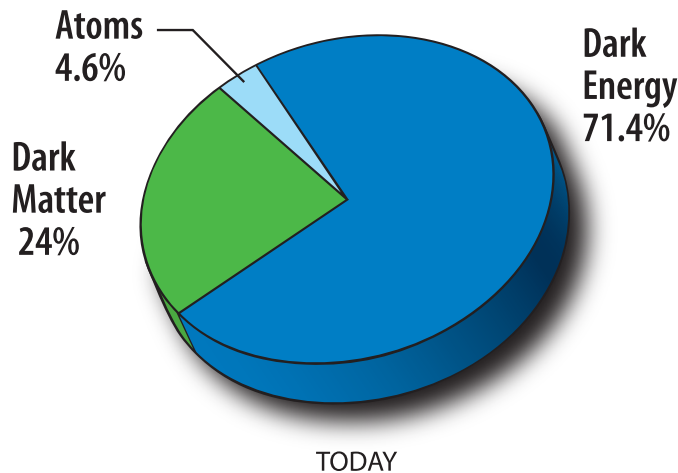


Рис. 1. Состав Вселенной по данным NASA/WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe - космический аппарат НАСА, предназначенный для изучения реликтового излучения).

Здесь мы будем рассматривать пустую Вселенную, определяемую космологической постоянной Λ , для которой решение уравнений Фридмана выглядит следующим образом

(1.10)

$$\begin{cases} a = a_0 \cdot e^{Ht} \\ \varepsilon = \frac{\Lambda c^4}{8\pi G} = const \\ H^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho_\Lambda = const \end{cases}$$

Данное решение описывает ускоренное расширение Вселенной вследствие отрицательного давления материи физического вакуума с плотностью ε , где H не что иное, как постоянная Хаббла, определяющая эволюцию масштабного фактора $a(t)$

$$\dot{a} = Ha. \quad (1.11)$$

При таком расширении пространства гравитационно не связанные материальные объекты удаляются друг от друга с ускорением, причём их скорости растут пропорционально расстоянию между ними.

Расширение Вселенной, согласно канонической модели, следует представлять, как раздувание воздушного шара с расположенными на поверхности галактиками (рис. 2), хоть сами галактики и неподвижны, но пространство расширяется, и расстояние между ними растёт.

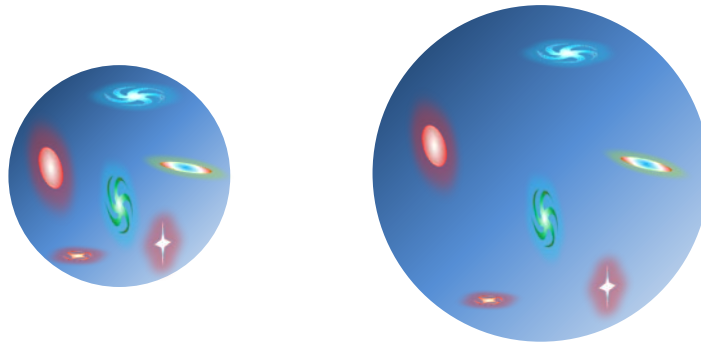


Рис. 2. Неверное представление о «расширении» пространства Вселенной.

Невозможность построения глобальных ИСО (инерциальных систем отсчёта) в расширяющемся пространстве с гравитационными полями вынуждает вводить понятие локально-инерциальной системы отсчёта или ЛИСО. В связи с чем, хочу обратить внимание, на один важный момент. Ранее считалось, что в пустом межзвёздном пространстве, достаточно далёком от любых тяготеющих масс, гравитационное поле отсутствует. Теперь же в силу принципиально неустранимого поля «анти-тяготения», создаваемого вакуумом, невозможно считать движения тел инерциальным даже в пустом пространстве.

Данная модель приводит к нескольким трудноразрешимым противоречиям.

Во-первых, пространство и время ведут себя независимым образом, что противоречит установленной ОТО тесной связи между пространственно-временными величинами. Расширение пространства Вселенной никак не сказывается на темпе хода часов – иначе мы бы немедленно получили изменение скорости света.

Во-вторых, преобладание материи физического вакуума (см. рис. 1), создающего принципиально неустранимое поле «анти-тяготения», должно свидетельствовать о неевклидовой геометрии пространства Вселенной. Разлёт вещества с ускорением, – есть движение по искривлённым геодезическим линиям. Однако исследования реликтового излучения показали совсем другое: пространство нашей Вселенной евклидово с хорошей степенью точности.

В-третьих, представление Вселенной в виде раздувающегося воздушного шара, где галактики движутся «вместе» с растягивающимся пространством, как приклеенные,

позволяет ввести понятие абсолютной скорости, иными словами, скорости относительно пространства. Тогда для всего, что движется «вместе» с расширяющимся пространством, т.е. потоком Хаббла, абсолютная скорость равна нулю. Следовательно, такое состояние является абсолютным покоем.

Ещё одним показателем противоречивости всей модели является само представление о физическом вакууме, как о «саморасширяющейся» материальной среде, в которой движутся тела.

Для уравнения состояния материи вакуума мы должны записать

$$p = -\varepsilon = -\rho c^2, \quad (1.12)$$

где p есть давление, ε есть плотность энергии вакуума, и ρ есть эквивалентная плотность массы, полученная с использованием равенства $E = mc^2$.

Уравнения такого вида требует от нас инвариантность преобразований Лоренца, попросту говоря, равноправие всех инерциальных систем отсчёта. В среде, подчиняющейся (1.12) невозможно определить скорость движения относительно самой среды, так как плотность материи связана с отрицательным давлением. Такая среда как сама не способна влиять на материальные тела, так и тела не способны влиять на среду. Тем не менее, это справедливо лишь для инерциальных движений. Экспериментальные наблюдения динамического эффекта Казимира показали, что равенство (1.12) нарушается в ускоренных системах отсчёта.* Известно, что в ускоренной системе отсчёта возникает поле инерциальных сил эквивалентное, в малом объёме, гравитационному. Тогда выглядит логичным связать данное поле именно с нарушением равенства (1.12).

Ещё одним «замечательным» следствием отрицательного давления вакуума является его антигравитация. Через неё вакуум не только «расширяется» сам, но и совершает огромную работу, разгоняя фантастические массы вещества во Вселенной, однако при этом (здесь внимание!) плотность его энергии – постоянная (а возможно даже и растущая со временем) величина. Т.е. он фактически ещё и наращивает собственную энергию.

Второй закон термодинамики обязывает нас записать

$$dE = -pdV. \quad (1.13)$$

Поскольку при увеличении объёма плотность энергии вакуума не падает, т.е. количество энергии возрастает, мы, разумеется, вынуждены считать давление вакуума величиной отрицательной.

Для людей знакомых с физикой твёрдого тела отрицательное давление не так уж и необычно. Классический пример, когда подобное отрицательное давление создаётся внутри металлической балки, подвергающейся всестороннему растяжению. Обратите внимание: балку кто-то должен растягивать извне, т.е. такое растяжение – следствие внешнего воздействия и никак иначе. Главная проблема «внешнего фактора» в том, что подобные рассуждения позволяют вводить над одним внешним фактором другой, ещё более внешний и так до бесконечности. Гораздо логичнее полагать, что Вселенная является всё-таки замкнутой системой. Но тогда непонятно что «растягивает» вакуум.

Конечно, можно считать, что вакуум вообще не подчиняется «обычным» физическим законам. В итоге физический вакуум предстаёт перед нами поистине волшебной субстанцией, поведение которой существенным образом «афизично» и не только противоречит всему, что мы знали о законах природы до сих пор, но так же логике и здравому смыслу.

*Динамический эффект Казимира заключается в испускании вакуумом микроволновых фотонов под воздействием высокочастотных колебаний проводящего зеркала или волновода [12].

В квантовой физике к понятию физического вакуума пришли с другой стороны. Там плотность энергии вакуума естественно возникает как плотность энергии нулевых колебаний квантовых полей.

Впервые представления о нулевой энергии появились в работах Планка (1911). В попытке объяснить спектр излучения чёрного тела и как-то согласовать наблюдаемое противоречие с классической термодинамикой он решил, что излучение только испускается осциллятором порциями $h\nu$, а поглощается непрерывным образом. В результате обнаружилась странная вещь: поскольку осциллятор мог поглотить любую энергию, даже меньшую $h\nu$, то излучить её он уже был не в состоянии, следовательно, должно что-то оставаться. Эта энергия будет оставаться у осциллятора даже при абсолютном нуле температур. Именно она впоследствии и была названа энергией нулевых колебаний.

Сейчас мы знаем, что излучение и поглощение энергии происходит порциями $h\nu$. Тем не менее, выражение для нулевой энергии равной $h\nu/2$ было получено абсолютно верно. Гораздо позже, уже в прямых экспериментах по наблюдению эффекта Казимира, в экспериментах по наблюдению поляризации вакуума в электростатическом поле и наблюдении лэмбовского смещения было доказано, что эта энергия - не абстракция, те самые половинки $h\nu$ действительно существуют.

Как известно, электромагнитное поле в пространстве без зарядов рассматривается в виде совокупности независимых гармонических осцилляторов с множеством всех возможных значений волнового вектора $\mathbf{k}$. Применяя квантование к данной системе, получим известное выражение для энергии электромагнитного поля

$$W = \sum_{\mathbf{k}} \left(n_{\vec{k}} + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_{\vec{k}} . \quad (1.14)$$

Для основного вакуумного состояния, при котором отсутствуют фотоны $n_{\vec{k}} = 0$, в итоге получим

$$W = \frac{\hbar}{2} \sum_{\mathbf{k}} \omega_{\vec{k}} , \quad (1.15)$$

здесь суммирование производится по всем возможным значениям вектора $\mathbf{k}$ и является бесконечно большой величиной. Формула (1.15) характеризует энергию т.н. «нулевых колебаний» электромагнитного поля в состоянии вакуума. Следует подчеркнуть принципиальную неустранимость подобных колебаний.

Таким образом, просуммировав $0.5 \cdot h\nu$ для каждой отдельной волны, мы обнаруживаем бесконечную плотность энергии вакуума. Попытка просуммировать колебания вакуума электромагнитно поля, ограничившись некоторой максимально частотой ν_{max} , соответствующей, например, планковской длине ($\nu_p = c / l_p$), приводит нас к решению вида

$$\varepsilon = a \int_0^{\nu_p} \frac{1}{2} h\nu \cdot \nu^2 d\nu \sim \nu_p^4 , \quad (1.16)$$

т.е. к зависимости 4-ой степени от частоты.

Фундаментальная проблема, однако, в том, что теоретически вычисляемое значение по суммированию «нулевых» колебаний вакуума даёт либо бесконечную величину данной энергии, либо величину, превосходящую на 120 порядков наблюдаемое значение. Эта проблема в теоретической физике носит название «проблемы космологической постоянной».

На протяжении всего времени физики пытались подойти к решению этой проблемы с различных сторон, здесь следует упомянуть и работы Зельдовича (1967) и теорию

суперструн, суперсимметрии и супергравитации, а так же антропное рассмотрение, основанное на «антропном принципе», который предложил Картер (1974).

2. О Пространстве и Времени в физике

Когда в науку вдруг приходит волшебство, причину следует искать в неверном представлении (модели) какого-либо физического явления. В данном случае неверным является представление о расширяющемся пространстве Вселенной. Будем руководствоваться следующими соображениями. Мы видим, что пространство нашей Вселенной расширяется, это надёжно установленный прямыми астрономическими наблюдениями факт. Подчёркиваю именно слово «видим». Т.е. это видимое расширение пространства. Попробуем выяснить, чему же оно соответствует в действительности. Здесь вполне логично считать, что пространство, в обычном понимании этого слова, расширяться не может, а наблюдаемое явление т.н. «расширения» связано по своей сути с изменением внутренней геометрии.

В самом деле, обратимся к рис. 3 на котором схематично представлены два состояния геометрии пространства в разные моменты времени t_1 и t_2 ($t_2 > t_1$). При этом длина L отрезка соответствует расстоянию между двумя наблюдаемыми достаточно удалёнными (гравитационно не связанными) объектами «А» и «В», находящимися в покое друг относительно друга (т.е. их пекулярные скорости равны нулю).

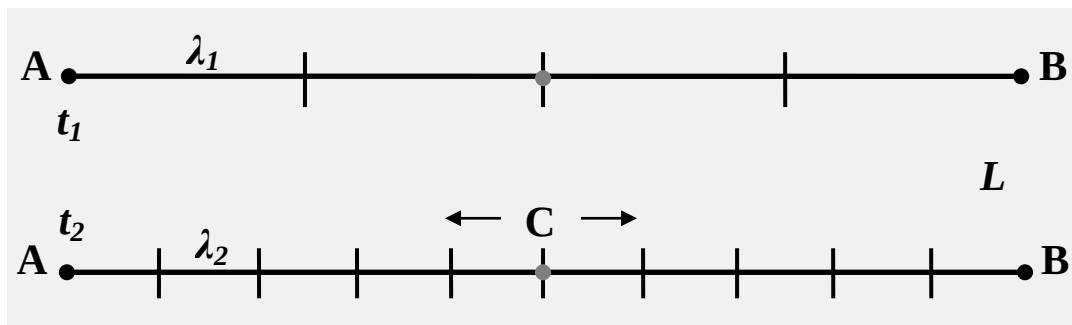


Рис. 3. Процесс сжатия геометрических единиц. Как бы он выглядел для внутреннего наблюдателя в отличие от наблюдателя внешнего.

На рисунке изображено деление пространства (отрезка L) на элементарные единицы длины (назовём их геометрическими единицами). Эти единицы сжимаются. С точки зрения гипотетического внешнего наблюдателя, связанного с плоскостью самого рисунка, с течением времени размер элементарных ячеек уменьшается ($\lambda_2 < \lambda_1$), при этом их число становится больше, таким образом, что общая длина L сохраняется. Обозначим через λ_0 текущий размер геометрической единицы, назовём его также «масштабный коэффициент» (не путать с масштабным фактором $a(t)$). Тогда мы можем записать

(2.1)

$$L = k_l l \cdot \lambda_0 ,$$

где под l мы понимаем количество элементарных ячеек с длиной λ_0 , укладываемых на длине L , а k_l – некоторый размерный коэффициент (м^{-1}).

Теперь посмотрим на тот же процесс глазами внутреннего наблюдателя, находящегося в точке «С» в пространстве самого отрезка L . Если он будет измерять расстояния до объектов А и В аналогично внешнему наблюдателю, очевидно, ничего не изменится.

Всё меняется существенным образом, если предположить, что внутреннему наблюдателю сами элементарные ячейки длины недоступны при измерении, а измерить он

может лишь их количество, укладывающееся вдоль отрезка L . Т.е. длина для него, - есть количество элементарных ячеек. Тогда при сжатии элементарных ячеек, наблюдатель в точке «С» увидит «разбегающееся» во все стороны от него пространство. Длина l измеряемая таким способом будет постоянно расти (при неизменной L), а объекты «А» и «В» удаляться друг от друга. Такой эффект сейчас и наблюдается во Вселенной, а роль внутренних наблюдателей уготована нам.

Далее говоря о «расширении» пространства будем понимать это в том смысле, о котором было сказано выше.

Теперь потребуем сохранения скорости света на всех этапах эволюции Вселенной. Данное требование автоматически означает, что темп хода наших внутренних часов (иначе говоря, «вес» наших единиц времени) должен изменяться по закону, аналогичному (2.1). Следовательно, для произвольного, достаточно малого периода времени Δt должно выполняться равенство

$$\Delta T = k_t \Delta t \cdot \lambda_0, \quad (2.2)$$

где ΔT - некоторый промежуток времени по часам внешнего наблюдателя, λ_0 - масштабный коэффициент, Δt - некоторый промежуток времени (количество элементарных единиц времени) по часам внутреннего наблюдателя, k_t —размерный коэффициент.

Иными словами выражение (2.2) показывает, что интервалу ΔT в пространстве внешнего наблюдателя может соответствовать различный промежуток времени по часам наблюдателя из внутреннего геометрического пространства. В зависимости от коэффициента λ_0 единицы времени (скажем, секунды) по его часам будут иметь различную длительность относительно часов внешнего наблюдателя и чем меньше λ_0 , тем большее количество «быстрых» секунд внутреннего времени уместится в интервале ΔT .

Поясним также на примере выражения (2.2) ещё один важный момент. Вообще говоря, величину λ_0 следует относить к пространству внешнего наблюдателя, хотя по факту она и определяет геометрические единицы внутреннего пространства. Например, темп хода внутренних часов зависит от значения λ_0 , но не наоборот. Однако, поскольку внутренний наблюдатель не имеет прямого доступа к внешнему времени, для него всё выглядит обратным образом, т.е. все величины зависят от внутреннего времени. Эта «обращённая» зависимость, во-первых, искажает истинные значения величин, во-вторых, искажает физические законы. Представим себе, что в пространстве внешнего наблюдателя величина λ за равные промежутки времени ΔT убывает на одинаковую величину $\Delta \lambda$, т.е. меняется с течением внешнего времени T , убывая по линейному закону

$$\lambda = \lambda_0 - \alpha T, \quad (2.3)$$

где λ_0 начальное значение и α некоторый коэффициент. Область определения выберем такую, что $\lambda > 0$ при всех T из этой области.

Для внутреннего наблюдателя, не имеющего доступа к внешнему времени T , всё будет выглядеть так, как будто λ есть функция внутреннего времени t . Мы получим в итоге «обращённую» зависимость и она очевидно не линейна. Поскольку уменьшение величины λ приводит к ускорению хода времени, то с каждым разом λ будет «успевать» изменяться на всё более маленькое $\Delta \lambda$ за счёт всё более коротких секунд внутреннего времени. Найдём теперь эту зависимость $\lambda(t)$. Дифференцируя (2.3) по T для бесконечно малого изменения $d\lambda$ запишем

$$d\lambda = -\alpha dT, \quad (2.4)$$

переходя в (2.2) к дифференциалу dT и подставляя в это выражение, окончательно получим

(2.5)

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -k_t \alpha \cdot dt.$$

Разрешая это дифференциальное уравнение относительно λ , найдём ту самую «внутреннюю» зависимость

(2.6)

$$\lambda = \lambda_0 \cdot e^{-kat}.$$

Фактически мы пришли к уже знакомой по (1.10) экспоненте. А вместе с тем и к интересному выводу: практически все известные нам физические законы не соответствуют их реальному виду, а физические величины, в том числе и фундаментальные константы, имеют различное значение во внешнем геометрическом пространстве и внутреннем пространстве нашей Вселенной.

Далее, говоря о значении какой-нибудь величины, будем использовать термин «наблюдаемое значение» для значения данной величины во внутреннем геометрическом пространстве (оно нам доступно путём непосредственных измерений), а также термин «действительное значение», как значение той же самой величины во внешнем геометрическом пространстве.

Что даёт предложенная выше модель расширения Вселенной?

Во-первых, поскольку скорость есть отношение пройденного расстояния l ко времени Δt , просто формально потребовав сохранения скорости света, мы вновь получили связь между нашими пространственными и временными единицами измерения. Теперь сжатие пространственных единиц приводит к ускорению «темпа» времени, т.е. наши секунды также становятся короче.

Во-вторых, мы избавились от примитивного представления далёких (гравитационно не взаимодействующих) физических объектов некоторыми безынерционными массами «приколоченными» к определённым точкам нашего пространства (рис. 2), а потому ускоренно движущимися вместе с потоком Хаббла (потоком образованным «расширением» пространства) вопреки известным законам физики. Ведь невозможно двигаться ни «вместе» с пространством, ни «против» него. Фактически здесь мы вернули физическим телам понятие инертности, как их фундаментального внутреннего свойства, связанного с массой тела. Так объекты «А» и «В» на рис. 3 ведут себя самостоятельным образом, сохраняя своё инерциальное движение (либо покой) вне зависимости от сжатия геометрических единиц. Эффект, обусловленный постоянством скорости света, не может сказываться на характере движения материальных объектов.

В-третьих, и что самое важное, верно обратное рассуждение. Просто потребовав постоянства скорости света, мы немедленно приходим к представленному на рис. 3 способу измерения расстояний внутренним наблюдателем. Если бы не существовало связи между единицами длины и времени, то любое гравитационное возмущение пространства, приводило бы к изменению скорости света, и ОТО стала бы невозможна, как теория.

Подытоживая сказанное выше, мы перешли от модели с расширяющимся пространством к модели со сжимающимися геометрическими единицами, при этом под геометрическими единицами, разумеется, следует понимать как единицы длины, так и единицы времени. Наши линейки становятся короче, а часы ускоряют ход. Естественно, для внутреннего наблюдателя этот эффект неотличим от расширения пространства.

За единицу длины во внутреннем пространстве примем, аналогично СИ, расстояние проходимое светом в вакууме в сопутствующей системе координат за промежуток времени равный $1/c$ секунды, где c – скорость света в вакууме. Единицы длины, определённые таким способом, всегда будут содержать одинаковое количество элементарных геометрических интервалов длины λ_0 . Однако сами эти интервалы теперь имеют различный «вес» для

различных периодов эволюции Вселенной. В выражениях (2.1) и (2.2) масштабный коэффициент λ_0 (а точнее произведение $k \cdot \lambda_0$) по сути, не что иное, как весовая функция.

Естественным образом считать, что все физические тела, для которых сила взаимодействия превышает некоторое значение, сокращаются вместе с единицами длины. В первую очередь это справедливо для материальных тел, «схваченных» силами межатомного взаимодействия (твёрдые тела, например). Но всё то же самое касается и тел, крепко «схваченных» гравитацией (галактики, например). Т.е. фактически здесь мы говорим о том, что в отличие от инертной массы, геометрическая форма и объём, занимаемый данной массой, не является внутренней характеристикой физического тела. Эти характеристики тела приобретают лишь после введения определённой пространственно-временной метрики.

Пространство нашей Вселенной имеет евклидову геометрию. Как известно, геометрия определяется метрическим тензором g_{ik} , для евклидова пространства при использовании декартовых координат и времени, компоненты этого тензора равны

$$g_{00} = 1, \quad g_{11} = g_{22} = g_{33} = -1, \quad g_{ik} = 0 \text{ при } i \neq k \quad (2.7)$$

При этом, любые гравитационные поля есть не что иное, как отклонение метрики g_{ik} от вида (2.7).

Будем далее следовать концепции отождествления геометрии пространства-времени с гравитацией и сделаем следующий логический шаг: отождествим гравитацию с геометрией полностью. До сих пор лишь присутствие гравитационных полей связывалось с отклонением метрики от вида (2.7), (неинерциальные системы отсчёта мы пока не рассматриваем) сама же евклидовость пространства воспринималась как данность «по умолчанию» в отсутствии гравитирующей материи. Но это абсолютно неверно. Наличие любых отличных от нуля компонентов метрического тензора уже есть гравитация. В данном случае, возвращаясь к проблеме физического вакуума, совершенно естественно связать метрику (2.7) с гравитационным полем энергии вакуума (1.16).

Далее, чтобы не вступать в противоречие с уже установившейся терминологией, будем использовать термин «геометрия» отождествляя его с метрикой внутреннего пространства Вселенной. А значит, прежнее понятие гравитации является лишь частным случаем более общего понятия «геометрия». Проще говоря, геометрия определяет пространство нашей Вселенной.

Думаю, понятно, что в нашей модели физический вакуум не может иметь отрицательного давления. Это давление положительно и огромно, фактически оно определяется энергией нулевых колебаний (1.16). Тогда выполняя требование уравнения состояния $p = -\varepsilon$ (1.12) необходимо считать вакуум средой с отрицательной плотностью энергии. На самом деле, в этом нет ничего необычного. Известно, что энергия самогравитирующего тела (системы тел) отрицательна, в частности, для однородного шара с плотностью ρ она даётся следующим выражением

$$U_g = -\frac{16\pi^2}{15} G \rho^2 R^5.$$

Вакуум также является самогравитирующей средой, плотность энергии которой - есть плотность гравитационной энергии, дающей вклад в метрику (2.7), или, применяя введённый ранее термин, можно сказать, что геометрия отчасти определяется гравитационным полем вакуума. Под действием этого поля происходит сжатие геометрических единиц. И в таком самодействии нет ничего необычного. Всё то же самое происходит с массивной звездой, исчерпавшей ядерное топливо. Под действием собственных сил гравитации звезда начинает сжиматься: внутреннее давление растёт за счёт работы гравитационных сил.

Замечу, что вакуум, имеющий теперь положительное давление, обладает и силой тяготения, связанной с этим давлением. Разумеется, это уже обычное гравитационное

притяжение, а не мифическая «антигравитация». Проще говоря, вакуум весит. Может ли подобное согласоваться с инерциальным движением скоплений галактик и, тем более, их наблюдаемым разбеганием? Очевидно сила тяготения вакуума, связанная с его давлением, должна компенсироваться. Чтобы выяснить, как именно это происходит, продолжим математическое описание модели.

Здесь мы не будем пользоваться готовыми решениями уравнений Фридмана, позаимствуем, разве что, независимость постоянной Хаббла H от времени. Изначально при построении теории сделаем акцент на экспериментально подтверждённые факты, прежде всего на закон Хаббла. Запишем его в дифференциальной форме

$$\frac{dl}{dt} = Hl, \quad (2.8)$$

где l – расстояние до наблюдаемого объекта, H – постоянная Хаббла.

В нашем случае расстояние l – не что иное, как количество элементарных единиц длины l в формуле (2.1). А сам закон Хаббла описывает их увеличение со временем между двумя гравитационно не связанными объектами «А» и «В» на рис. 3. Поэтому необходимо перейти в (2.8) от изменения количества единиц длины к зависимости масштабного коэффициента λ от времени, т.е. найти $\lambda(t)$. Подставим сюда выражение для l из (2.1) и окончательно запишем

$$\frac{d\lambda}{dt} = -H\lambda, \quad (2.9)$$

отсюда для $\lambda(t)$ получим

$$\lambda = \lambda_0 \cdot e^{-Ht}, \quad (2.10)$$

т.е. мы вновь пришли к виду (2.6) «обращённой» зависимости от внутреннего времени t , что и следовало ожидать.

Введём в рассмотрение понятие радиуса сферы Хаббла R_H

$$R_H = \frac{c}{H}, \quad (2.11)$$

где c – скорость света.

Сфера Хаббла определяется, как область Вселенной, окружающая наблюдателя, за пределами которой объекты удаляются со скоростью превышающей скорость света. Перепишем теперь закон Хаббла в следующей форме

$$v = Hr, \quad (2.12)$$

где v – скорость удаления галактики и r – расстояние до неё. Отсюда, при $v = c$, получаем определение сферы Хаббла (2.11).

Если исходить из установленного факта ускоренного расширения Вселенной, то формально в полном соответствии с законами Ньютоновской механики должны существовать и силы, ответственные за ускоренный разлёт вещества. Найдём величину такой силы для материальной точки массой m , находящейся на удалении r от наблюдателя. Продифференцируем соотношение (2.12) ещё раз по времени и для величины силы F запишем

$$\mathbf{F} = m \cdot \frac{d\mathbf{v}}{dt} = mH \cdot \frac{d\mathbf{r}}{dt} ,$$

учитывая, что по закону Хаббла $d\mathbf{r}/dt = H\mathbf{r}$ перепишем это уравнение в виде

$$\mathbf{F} = mH^2\mathbf{r} .$$

Данное уравнение определяет поле центробежных сил, действующих на любые (свободные) массы, расположенные на удалении r от центра. Такое поле сил не может быть обусловлено видимым эффектом расширения пространства, поскольку последний, как уже было сказано выше, вызван сокращением геометрических единиц длины. Тем не менее, будем считать, что это поле сил действительно существует, но порождено совсем другим процессом. В частности, система координат, вращающаяся с угловой частотой $\omega = H$, создаёт точно такое же поле сил инерции. Признавая, таким образом, реальность сил, действующих на массы в пространстве, мы должны признать факт вращения самого пространства.

В случае равномерного вращательного движения, связь тангенциальной скорости v с угловой ω даётся выражением

$$(2.13)$$

$$v = \omega r .$$

Сравнивая (2.12) с (2.13) видим, что в скалярной форме записи оба уравнения при $\omega = H$ выглядят совершенно одинаково, тем не менее, их физический смысл абсолютно различен. Последнее уравнение описывает процесс, который можно рассматривать как вращение сферы Хаббла с угловой частотой $\omega = H$, причём тангенциальная скорость точек, лежащих на поверхности сферы равна скорости света c . Соответственно вращение сферы Хаббла создаёт поле сил инерции, действующих на любое тело массы m

$$(2.14)$$

$$\mathbf{F}_{rep} = m\omega^2\mathbf{r} = mH^2\mathbf{r} .$$

Разумеется, вращение сферы Хаббла есть вращение самого пространства, все точки которого равноправны и любая является центром такого вращения. Т.е. данное вращение существует в каждой точке пространства. Определить его простым наблюдением за тангенциальными скоростями удалённых тел невозможно. Но вращение приводит к ряду интересных эффектов, самым важным из которых является появление тёмной энергии. Именно силу инерции (2.14) обусловленную вращением пространства совершенно неоправданно отождествляют с силой «анти-тяготения» вакуума (1.7). Покажем это.

Рассмотрим полую, абсолютно жёсткую, сферу S радиуса R состоящую из материальных точек массой m (рис. 4). Физический вакуум будем моделировать газом вакуумных фотонов, а вращение пространства - вращением газа вакуумных фотонов вокруг центра сферы.

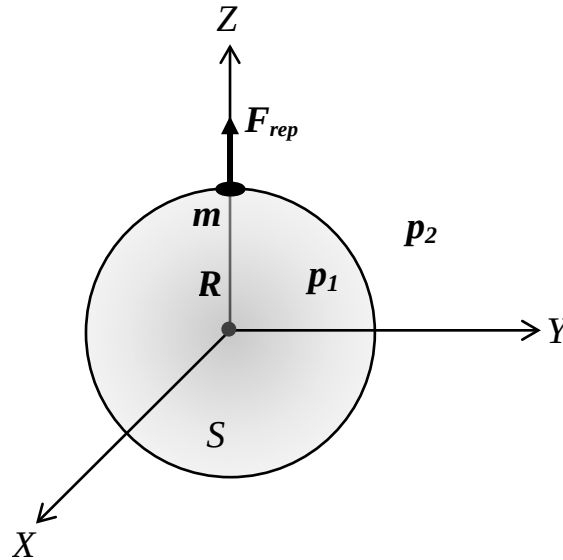


Рис. 4. Жёсткая сфера материальных точек в расширяющемся физическом вакууме.

Сфера, как уже говорилось, является жёсткой и вынуждена сохранять свои первоначальные размеры, при этом вращающийся фотонный газ внутри сферы создаёт некоторое избыточное давление на «стенки». Последнее можно представить как образование разности давлений вакуума внутри сферы и вне её, посредством которой вакуум и воздействует на все точки сферы, пытаясь её «растянуть». При этом, разумеется, плотность энергии вакуума ε одинакова как внутри сферы, так и снаружи.

Давление вакуума внутри сферы обозначим p_1 , а вне её p_2 , естественно, что $p_1 > p_2$. Разность давлений фотонного газа ($\Delta p = p_2 - p_1$) очевидно отрицательна. Именно эту отрицательную разность и приписывают давлению вакуума. Далее, согласно (1.4) с ней связана «анти-гравитирующая» плотность вакуума. Для силы, действующей на материальную точку массой m согласно уравнению (1.9) с учётом выражения для эффективной плотности вакуума (1.4) запишем

$$F_{rep} = -\frac{4\pi G}{3} m R \cdot \frac{1}{c^2} [(\varepsilon + 3p_2) - (\varepsilon + 3p_1)] = -4\pi G m R \cdot \frac{\Delta p}{c^2}. \quad (2.15)$$

Поскольку $\Delta p < 0$, то сила F_{rep} соответствует отталкиванию и направлена в положительную сторону оси Z. Приравнявая (2.15) полю инерциальных сил (2.14) найдём плотность энергии, ложно сопоставляемую с вакуумом

$$\varepsilon = -\Delta p = \frac{H^2 c^2}{4\pi G} = 5.68 \cdot 10^{-10} \text{ Дж/м}^3. \quad (2.16)$$

Видим, что теоретическое значение величины довольно хорошо совпадает с т.н. плотностью тёмной энергии, полученной из астрономических наблюдений ($5.98 \cdot 10^{-10}$ Дж/м³ по последним оценкам).

Введение космологической постоянной Λ в уравнения Эйнштейна есть учёт вращения пространства.

В данном примере мы рассматривали полую сферу с поверхностью из материальных точек. Ввиду «всепроникаемости» среды физического вакуума все те же самые рассуждения можно повторить и для реальных объектов.

Приступим теперь к вычислению действительной гравитирующей плотности вакуума, связанной с его положительным давлением. Для этого обратимся к рис. 5, где вокруг произвольной точки O в пространстве физического вакуума (с плотностью ε и давлением p) проведена сферическая поверхность радиуса R на которой находится точечная масса m . Будем считать, что внутри этой области применима механика Ньютона, т.е. все скорости малы по сравнению со скоростью света c , как малы и гравитационные силы.

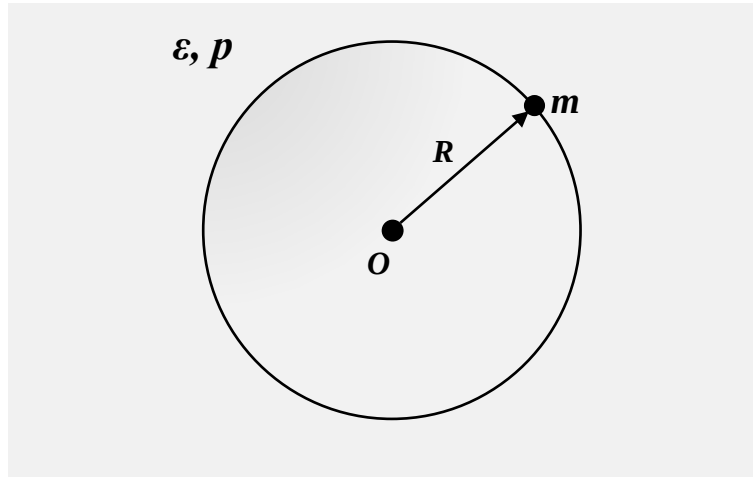


Рис. 5. К расчёту плотности энергии вакуума и поверхности нулевой скорости.

Воспользуемся известным фактом, что среда, окружающая данную область сферически симметричным слоем, никакого влияния на процессы внутри области не оказывает. Тогда сила, действующая на точку m , определяется лишь массой заключённой внутри вакуумного шара радиуса R с однородной плотностью ρ и рассчитывается по формуле

$$F = -G \frac{m}{R^2} \cdot \frac{4\pi}{3} R^3 \cdot \frac{1}{c^2} (\varepsilon + 3p) = -\frac{4\pi}{3c^2} GmR \cdot 2\varepsilon , \quad (2.17)$$

знак минус здесь соответствует притяжению. Это равенство записано с учётом выражения для эффективной гравитирующей плотности вакуума $\rho_g = (\varepsilon + 3p)/c^2 = 2\varepsilon/c^2$ поскольку $\varepsilon = -p$.

Как уже говорилось выше, все точки пространства равноправны, а значит, мы вправе считать точку O центром такого вращения. С этим вращением связана сила инерции (2.14). Вернёмся теперь к рис. 3 начала главы, где речь шла о том, что наблюдаемый ускоренный разлёт удалённых объектов «А» и «В» не более чем «фокус» связанный с сокращением единиц длины и на самом деле является обычным инерциальным движением (или покоем) объектов. Пусть в точке O на рис. 5 также находится некоторая масса m_0 , причём массы m_0 и m настолько малы и далеки друг от друга, что их гравитационным взаимодействием можно пренебречь. Т.е. мы фактически рассматриваем ту же ситуацию, как и на рис. 3 для объектов «А» и «В», только в 3-х мерном пространстве. Для того чтобы инерциальное движение этих объектов стало возможно, необходимо потребовать полной компенсации силы тяготения вакуумного шара, центробежной силой инерции (2.14)

$$\frac{8\pi}{3c^2} GmR\varepsilon = mH^2R , \quad (2.18)$$

разрешая данное уравнение относительно плотности энергии ε , окончательно получим

(2.19)

$$\varepsilon = \frac{3H^2}{8\pi G} \cdot c^2 = \rho_c \cdot c^2 ,$$

где ρ_c – критическая плотность материи.

Напомним, мы рассматриваем модель Вселенной без вещества (пренебрегаем барионным веществом и излучением). В этих условиях гравитирующая плотность вакуума в точности равна удвоенной критической плотности вещества в модели Фридмана. Последнее означает, что никакого места для тёмной материи здесь не остаётся. Когда вакуум весит, никакой необходимости в привлечении разнообразных «тёмных сил» больше нет.

Перепишем равенство (2.19) следующим образом

$$\varepsilon = \left(\frac{H^2}{8\pi G} \right) \cdot c^2 + \left(\frac{H^2 c^2}{4\pi G} \right) ,$$

в канонической модели первое слагаемое здесь соответствует плотности тёмной материи, а второе – уже знакомой по (2.16) плотности тёмной энергии.

Возвращаясь к началу главы, вспомним, что все физические тела, для которых сила взаимодействия превышает некоторое значение, сокращаются вместе с единицами длины (испытывают «сжатие» вместе с геометрическими единицами). Тем не менее, о самой величине силы взаимодействия, необходимой для такого сжатия, до сих пор ничего сказано не было. Давайте восполним пробел. Для этого продолжим сравнивать движение объектов во внешнем и внутреннем геометрических пространствах.

В предыдущем примере (рис. 5) массы тел m_0 и m предполагались достаточно малыми, так что их гравитационным взаимодействием можно было пренебречь. В итоге, мы получали ситуацию, аналогичную изображённой на рис. 3, когда во внутреннем геометрическом пространстве (естественном пространстве нашей Вселенной) наблюдался разлёт тел, т.е. радиус шара R на рис. 5 увеличивался. Во внешнем же пространстве это соответствовало состоянию покоя масс относительно друг друга, т.е. радиус шара сохранял своё первоначальное значение. Тогда, обозначая через R' радиус шара во внешнем пространстве, согласно (2.1) мы можем записать

(2.20)

$$R' = const = k_l R \cdot \lambda(t) ,$$

выполнение последнего возможно, только если R здесь является неявной функцией от $1/\lambda$. Из уравнения (2.10) для $\lambda(t)$ немедленно следует

$$R = R_0 \cdot e^{Ht} ,$$

т.е. увеличение радиуса шара в этом случае происходит в соответствии с законом Хаббла, что естественно.

Сейчас нас интересует обратная ситуация, нам необходимо найти такое значение массы m_0 центрального тела и радиуса шара R (расстояния между массами m_0 и m) при котором этот радиус будет постоянен во внутреннем геометрическом пространстве. Т.е., когда центральное тело своими гравитационными силами будет способно удерживать массу m на одинаковом от себя расстоянии, которое, напомним, определяется количеством элементарных единиц длины. Тогда, согласно (2.1) во внешнем пространстве радиус шара будет уменьшаться в соответствии с сокращением геометрических единиц λ

$$R' = k_l R \lambda_0 \cdot e^{-Ht} ,$$

где теперь уже $R = \text{const}$, т.е.

$$R' = R'_0 \cdot e^{-Ht}. \quad (2.21)$$

Отсюда дважды дифференцируя R' по времени найдём искомую силу F необходимую для удержания точечной массы m

$$F = mH^2 R'_0 \cdot e^{-Ht} = mH^2 R'. \quad (2.22)$$

Просто приравнять эту силу силе гравитационного притяжения центрального тела m_0 , вообще говоря, некорректно, поскольку данные силы принадлежат разным геометрическим пространствам. Однако, заметим, что ускорение в равенстве (2.22) есть не что иное, как ускорение свободного падения на вакуумный шар радиуса R (сравните с (2.18)). Чтобы такое падение стало возможным необходимо компенсировать все прочие силы, в данном случае силу инерции, вызванную вращением сферы Хаббла. Её мы и должны приравнять гравитационной силе взаимодействия масс m_0 и m . Такое действие уже вполне законно.

$$G \frac{m_0 m}{R^2} = mH^2 \cdot R,$$

обозначая буквой M массу центрального тела (m_0), окончательно получим

$$\frac{R^3}{M} = \frac{G}{H^2}. \quad (2.23)$$

Это уравнение определяет геометрическое место точек в пространстве для тел, обращающихся вокруг центральной массы M (или общего центра масс), где сила инерции, вызванная вращением пространства, полностью компенсируется силой тяготения центрального тела. В результате данная система тел, схваченных гравитацией, начинает «сокращаться» в размерах синхронно с единицами длины нашего пространства.

В астрономии уравнение (2.23) определяет т.н. «поверхность нулевой скорости». Т.е. поверхность вокруг центра масс, за пределами которой тела начинают двигаться (удаляться от центра) вместе с потоком Хаббла. Поскольку скопления галактик являются самыми крупными гравитационно-связанными системами, отделёнными силами гравитации от вещества, распространяющегося с потоком Хаббла, в справедливости (2.23) легко убедиться, подставляя туда значения для массы и размеров, наиболее изученной Местной Группы галактик. В неё входят около 50 галактик, включая нашу галактику Млечный Путь, галактику Андромеды и галактику Треугольника. Астрономические наблюдения дают для Местной Группы следующие значения массы $M = (2.3 \pm 0.6) \cdot 10^{12} M_{\text{Sun}} \approx 4.6 \cdot 10^{42} \text{ кг}$ и радиуса поверхности нулевой скорости $R = 1.18 \pm 0.15 \text{ Мпк} \approx 3.7 \cdot 10^{22} \text{ м}$.

Из сказанного выше, наиболее важным моментом является численное равенство сил инерции, порождённых вращением сферы Хаббла (которые компенсируют тяготение вакуума) и сил инерции, вызванных сжатием геометрических единиц длины нашего пространства. Последние появляются лишь в системах отсчёта, сокращающихся синхронно с этими единицами.

Далее рассмотрим, к каким ещё наблюдаемым эффектам должны приводить вращение пространства и вес вакуума.

Вращение пространства сферы Хаббла будем моделировать вращающимся диском и разберём здесь пример гравитационного захвата массивным телом M далёкой точечной

массы m (рис. 6). При этом допустим, что наблюдатель находится в точке O , которая и является для него центром вращения с угловой скоростью $\omega = H$.

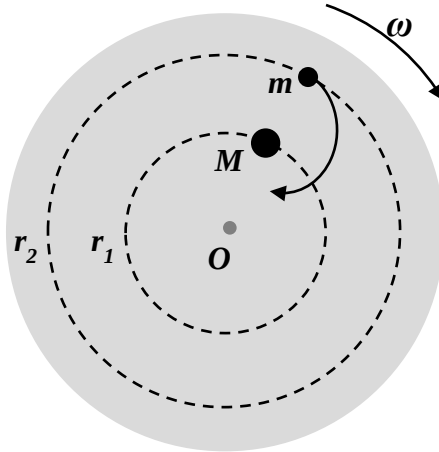


Рис. 6. Гравитационный захват массивным телом M далёкой точечной массы m во вращающемся пространстве.

Поскольку тело m вращается по окружности радиуса $r_2 > r_1$, его тангенциальная скорость выше. До тех пор, пока всё вращается синхронно с наблюдателем в точке O «заметить» вращение пространства, разумеется, невозможно. Но, при гравитационном захвате массы m разница тангенциальных скоростей двух тел будет добавляться к скорости обращения точечной массы вокруг M . Поскольку с точки зрения наблюдателя масса M не является центром вращения пространства, то добавочная скорость, вызванная вращением сферы Хаббла, немедленно обнаружит себя.

Будем предполагать простейший случай установившегося обращения тела m вокруг центральной массы M по круговой орбите. Тогда тангенциальная скорость обращения тела m должна быть, очевидно, такой, чтобы выполнялось соотношение

$$m \frac{v^2}{r} = G \frac{Mm}{r^2} + \frac{4}{3} \pi G \rho_g m r, \quad (2.24)$$

где r – радиус установившейся орбиты, ρ_g – эффективная гравитирующая плотность вакуума. Второе слагаемое здесь – сила тяготения вакуума, соответствующая его массе, заключённой внутри сферы радиуса r вокруг центрального тела M (сферическое гало).

Перейдём теперь от ρ_g к плотности энергии вакуума ε и перепишем (2.24) следующим образом

$$v^2 = G \frac{M}{r} + \frac{8\pi}{3c^2} G \varepsilon r \cdot r,$$

далее используя во втором слагаемом равенство (2.18), окончательно получим

$$v = \sqrt{G \frac{M}{r} + H^2 r^2}. \quad (2.25)$$

Данное выражение определяет тангенциальные скорости удалённых материальных тел, вращающихся вокруг общего центра масс, т.е. их ротационные кривые. Вид зависимости (2.25) вдали от начала координат (где кривая идёт не «в веществе») приведён ниже на графике (рис. 7).

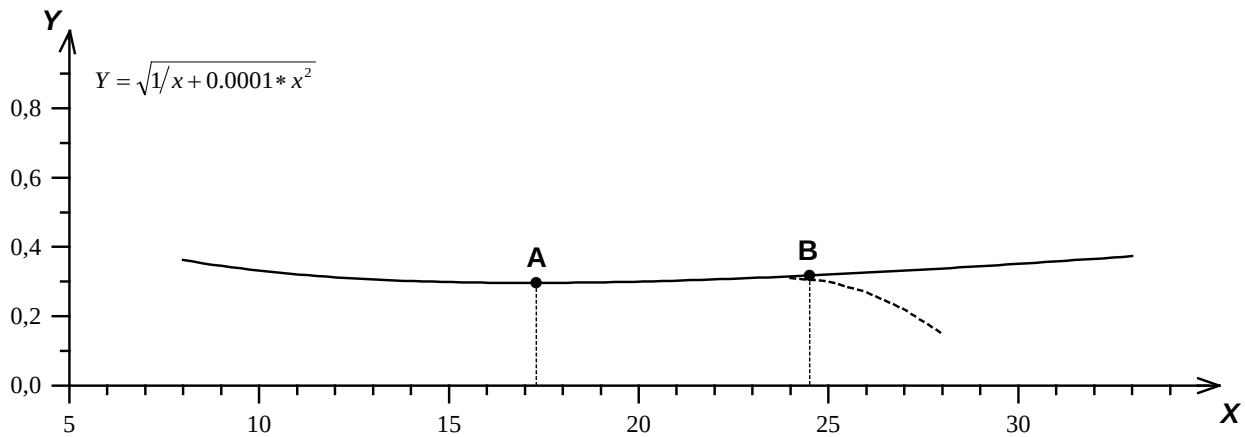


Рис. 7. Вид «хвостовых частей» ротационных кривых, обусловленный тяготением вакуума.

При этом для модельной зависимости, представленной на графике, величина отношения H^2/GM составила 10^{-4} . Для реальных объектов (галактик) это отношение меньше и может начинаться со значений $\sim 10^{-10}$. Протяжённость плато в районе точки «А» на самом деле велика и соответствует внутригалактическим расстояниям. Сама точка «А» на графике является минимумом функции (2.25) и определена из соотношения $dv/dr = 0$. Ей соответствует следующее значение r

$$r = \sqrt[3]{\frac{GM}{2H^2}}. \quad (2.26)$$

Обратите также внимание, что после точки «А» кривая на рис. 7 растущая, т.е. скорости вновь начинают расти с расстоянием.

Следующая точка «В» графика определяется поверхностью нулевой скорости согласно (2.23). За этой точкой в отсутствии вещества будет наблюдаться спад тангенциальной скорости (изображено пунктиром). Поскольку при дальнейшем увеличении расстояния гравитационная связь между массой m и центральным телом практически разрывается и начинается «синхронное» вращение с пространством сферы Хаббла. Для стороннего наблюдателя в точке О (рис. 6) это соответствует быстрому спаду тангенциальной скорости.

Если мы обратимся к реальным ротационным кривым спиральных галактик (рис. 8), то фактически «аномальные хвосты» этих кривых соответствуют графику (рис. 7) вплоть до точки «В».

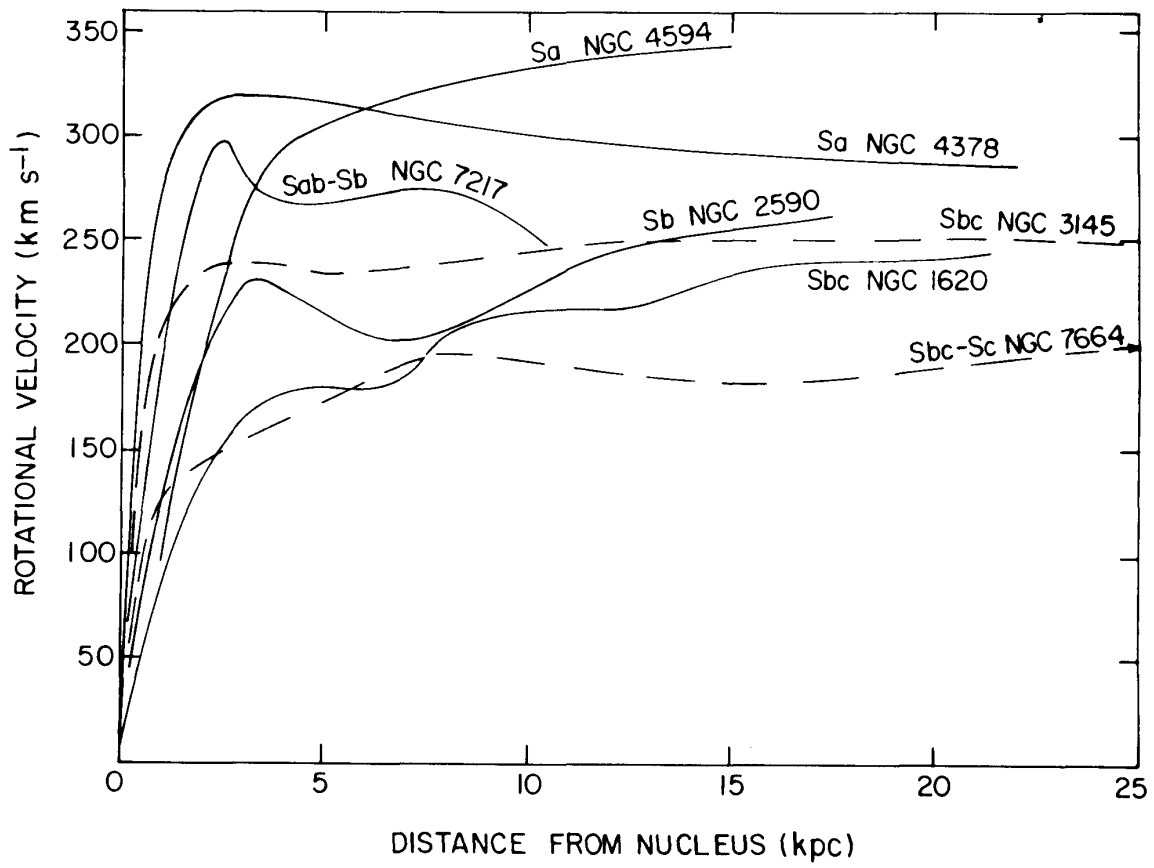


Рис. 8. Кривые вращения 7-ми галактик по данным [13].

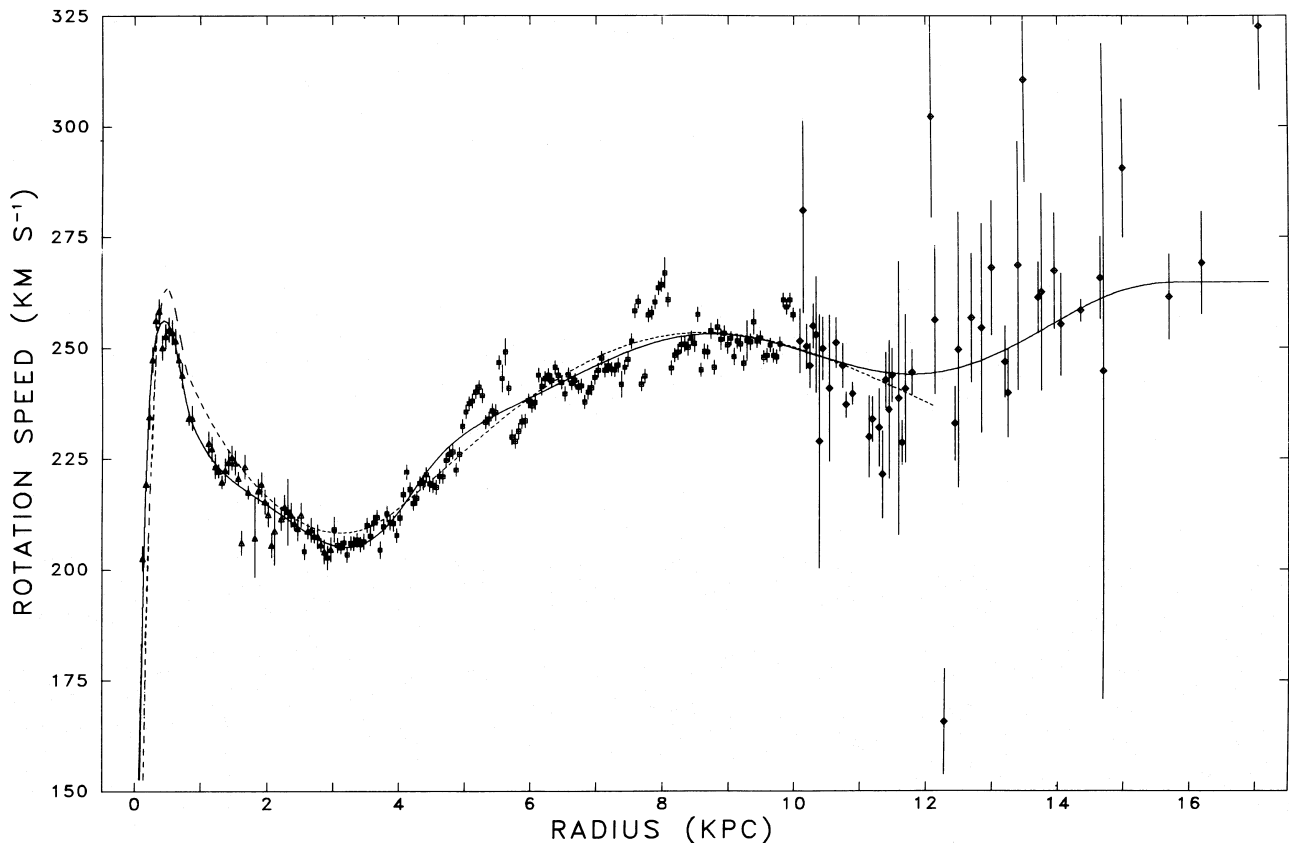


Рис. 9. Кривая вращения Млечного Пути по данным [14].

На рис. 9 приведён вид ротационной кривой нашей галактики Млечный Путь. Вычислим теперь значение r для точки «А» кривой нашей галактики. Основную трудность здесь представляет оценка массы, поскольку входящая в (2.25) масса – есть «чистая» масса вещества внутри радиуса r вычисленная, например, по светимости. Однако же при этом не будет учтена масса чёрных дыр в центре галактики. Мы ограничимся тем представлением, что основная масса вещества галактики сосредоточена в балдже (центральная сферическая область). Его массу можно оценить примерно в 5 миллионов солнечных масс, т.е. примем $M = 1 \cdot 10^{37}$ кг, тогда для точки «А» мы получим из (2.25) значение $r \approx 13$ Кпк. Зависимость скорости от расстояния при $r > 13$ Кпк (см. рис. 9) очевидно растущая. Не следует, конечно, забывать, что ротационная кривая при этом всё ещё идёт «в веществе», пусть и довольно разряжённом по сравнению с центральными областями галактики.

Точка «В» определяется значением $r \approx 18$ Кпк (от центра галактики). Это расстояние соответствует звёздам, обращающимся по периферии (диаметр диска нашей галактики около 40 Кпк), где веществом уже можно пренебречь по сравнению с массивным «вакуумным гало». Для расстояний r в обозначенных выше пределах и должны наблюдаться аномальные ротационные кривые.

На самом деле гравитационное влияние вакуума сказывается не только на форме ротационных кривых. Известно, что вблизи вращающихся масс наблюдается эффект увлечения инерциальных систем отсчёта, т.н. эффект Лензе – Тирринга, который приводит к изменению момента импульса вакуумного гало. Т.е. можно говорить о локальном отклонении от евклидовости пространства из-за увлечения вакуума вращающимся веществом галактики, что позволяет наблюдать эффекты линзирования света непосредственно гравитационным полем вакуумного гало вдали от видимых масс.

В заключение хочу обратить внимание на ещё один интересный момент, связанный с вращением пространства сферы Хаббла. Вернёмся к рис. 6 и предположим, что наблюдатель переместился в точку близкую к массе M , тогда эта точка для него станет новым центром вращения пространства, отсюда он уже не сможет наблюдать «добавочную» тангенциальную скорость массы m . Ротационная кривая примет свой первоначальный «правильный» вид, т.е. вакуумное гало как будто бы исчезнет. Именно с этим явлением связана принципиальная трудность обнаружения веса вакуума (или того что называют «тёмной материей»). Отклонение ротационных кривых от «правильного» вида гораздо проще обнаружить в удалённых галактиках, чем в нашей собственной. Кроме того, очевидно должно существовать преимущественное направление вращения галактик.

3. Геометрические инварианты

Теория геометрических инвариантов не является предметом детального рассмотрения в данной работе, тем не менее, в предыдущих главах уже были затронуты некоторые моменты теории. Дальнейшее изложение материала требует хотя бы краткого обзора основных положений. Не прибегая здесь к описанию полного математического формализма геометрической теории, вкратце проиллюстрирую основные понятия в приложении к излагаемому материалу.*

Начнём с того простого замечания, что вне геометрического пространства ни длин, ни времени не существует, поэтому система геометрических единиц вынуждена быть «замкнутой», т.е. должна полностью определять себя во внутренних терминах.

Следствием вышесказанного является обязательное наличие некоторого начального единичного геометрического «масштаба», посредством деления которого и происходило образование всего остального пространства.

*При строгом математическом подходе речь здесь должна идти о введении двух метрических пространств и нахождении законов преобразования для контра- и ковариантных величин.

Вопрос о длине такого начального масштаба, до тех пор, пока его не с чем сравнивать, не имеет никакого смысла. На рис. 10 изображён процесс образования длин (размеров) геометрического пространства.

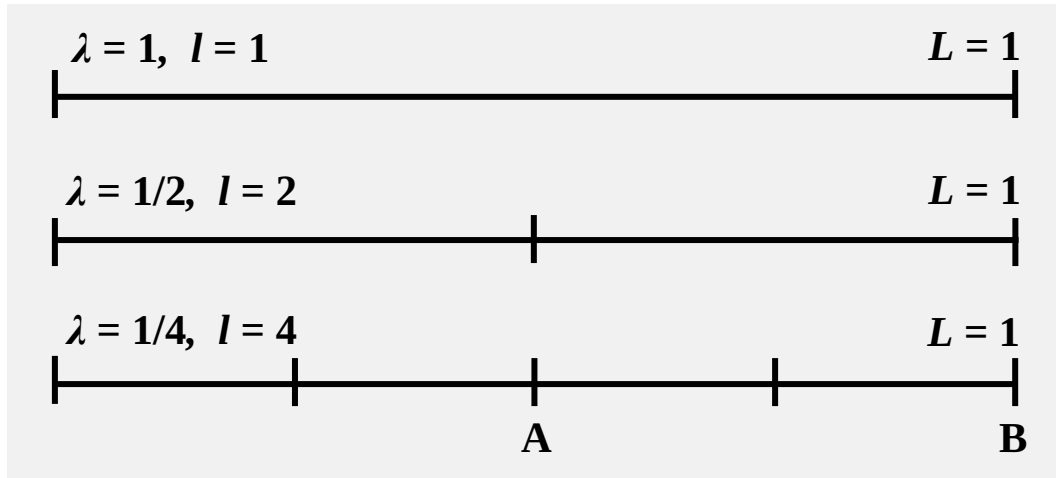


Рис. 10. Деление первоначального масштаба путём сжатия геометрических единиц длины. Так образуются размеры.

Начальный масштаб на рис. 10 это просто некая безразмерная единица. Теперь вспомним материал второй главы, где мы уже ввели понятие масштабного коэффициента λ , точно так же можно ввести понятие коэффициента сжатия геометрической единицы, как величины обратной λ : $\mu = 1/\lambda$.

На рис. 10 показаны 3 состояния геометрии для различных значений λ (или μ). Первое состояние соответствует моменту, когда минимально возможный размер равен максимально возможному при этом $\lambda = 1$. Далее со сжатием геометрических единиц мы начинаем получать внутренние размеры для единичного масштаба. Эти внутренние размеры, есть количество элементарных геометрических единиц l , укладываемых на «длину» масштаба L в соответствии с формулой (2.1)

$$L = l \cdot \lambda, \quad (3.1)$$

для простоты будем считать в этой главе, что коэффициенты $k_l = k_t = 1$, при этом всегда для полной длины масштаба во внутренних единицах l , согласно (3.1) выполняется соотношение

$$L = 1. \quad (3.2)$$

Как уже упоминалось, выполнение этого соотношения требует обратной зависимости l от λ , т.е. чтобы величина $l = 1/\lambda$, что собственно и показано на рисунке. Так для третьего состояния геометрии, внутренняя длина $l = 4$ при той же самой внешней длине равной единице в пространстве внешнем к масштабу. Фактически, это позволяет нам определить два геометрических пространства по их зависимости от масштабного коэффициента.

Прямым (или внешним) геометрическим пространством будем называть пространство, определяемое величинами L согласно (3.1) и соответствующее пространству в котором задан единичный масштаб.

Обратным (или внутренним) геометрическим пространством будем называть пространство, определяемое величинами l из (3.1) и соответствующее пространству образованному делением начального масштаба.

Если говорить о реальных (физических) пространствах, то обратное геометрическое пространство - есть обычное для нас пространство Вселенной. На рис. 3 предыдущей главы как раз оно является пространством внутреннего наблюдателя. Расстояния в нём измеряются количеством геометрических единиц. Все физические законы и величины, известные нам до сих пор, определены именно для обратного пространства.

Прямое пространство соответствует пространству гипотетического внешнего наблюдателя того же рис. 3. Оно определяет некоторые другие величины и зависимости, о которых ещё будет сказано. Например, сам «первоначальный размер» Вселенной и есть та единица (3.2) внешнего пространства. Во внутреннем пространстве сегодняшние параметры Вселенной (скажем, полный диаметр) можно определить по формуле (3.1), если известно значение коэффициента λ .

Ещё один важный момент связан с тем, что любой размер, доступный при данном значении масштабного коэффициента λ , когда-то являлся максимально возможным размером. Так область (AB) рис. 10 имеет размер (назовём его характерным диаметром области) $l = 2$. При значении $\lambda = 1/2$ этот диаметр являлся максимально возможным значением l (во внутреннем пространстве, разумеется).

Хочу также прояснить смысл выражений типа (2.1), (2.2) и (3.1). Может показаться, что они являются своего рода аналогом определения квантования. Однако же сопоставлять их с известным выражением квантования энергии электромагнитных волн ($\Delta E = n \cdot h\nu$, где n – целое число) напрямую не совсем корректно. Связано это в первую очередь с тем, что привычная для нас система единиц длины и времени не различает геометрических пространств и является чистой математической абстракцией реального физического мира геометрических величин. Таким образом, значение масштабного коэффициента λ , в обратном геометрическом пространстве, выраженное в наших единицах длины, может быть любым, хотя с точки зрения теории инвариантов это всегда единица, причём эта единица соответствует наименьшему возможному расстоянию в «обычной» для нас системе единиц. Например, СИ использует в качестве эталона длины расстояние проходимое светом в вакууме за $1/c$ секунды (1 метр), привязывая единицу длины к количеству элементарных интервалов длины l обратного пространства содержащихся в расстоянии, которое проходит свет за вышеуказанное время. Но при этом и сам масштабный коэффициент измеряется в тех же единицах, что приводит к интересному эффекту.

Пусть (см. рис. 10) луч света проходит расстояние от точки «А» до точки «В» за $1/c$ секунды, иными словами, расстояние между точками в точности равно 1 метру. Если мы теперь изготовим эталон минимально возможной длины и начнём укладывать его вдоль пути (AB), то он уложится некоторое количество n раз, причём n здесь будет целым числом и, фактически, будет соответствовать величине l . С другой стороны, численное значение длины такого эталона, есть значение масштабного коэффициента λ и доступно нам опосредованно, через комбинацию фундаментальных «констант», известную как планковская длина l_p . Представим теперь, что коэффициент λ уменьшился в 2 раза, т.е. геометрические единицы сжались. При этом наши секунды также станут вдвое короче, и свет пройдёт теперь уже в два раза меньшее (во внешнем пространстве) расстояние между точками «А» и «В» снова за ту же величину $1/c$ секунды. Т.е. расстояние между точками во внутреннем (обратном) пространстве всё равно будет равно 1 метру. Наш эталон также сократится в длине вдвое, как и все линейки. Укладывая его вдоль пути (AB) мы вновь придём к тому же самому значению n . Однако, его длина, определённая по фундаментальным константам (l_p) станет вдвое меньшей.

Обнаружится странная вещь: с одной стороны изготовить эталон меньше прежнего уже невозможно, с другой стороны частное от деления расстояния (AB) на длину эталона увеличилось вдвое, но и не соответствует результату, полученному путём непосредственного укладывания эталона между точками «А» и «В». На самом деле противоречие здесь связано с тем, что мы смешиваем величины, относящиеся к прямому геометрическому пространству,

такие как планковская длина, с величинами обратного геометрического пространства. В итоге, привязывая нашу систему единиц к скорости света, для Δt , l и тем более λ мы будем получать любые значения, а не только целые и единичные.

Теперь вновь обратимся к равенству (3.2), по сути, здесь мы уже вплотную подошли к важному понятию геометрического инварианта прямого пространства. Разумеется, в общем случае, инвариант может принимать не только единичное значение.

Прямыми (внешними) геометрическими инвариантами назовём величины, сохраняющие своё значение в прямом геометрическом пространстве вне зависимости от значения масштабного коэффициента λ .

Это понятие проиллюстрировано на рис. 11.

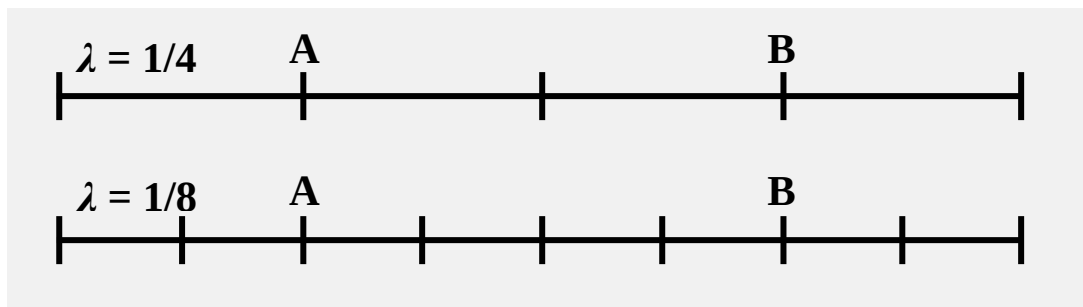


Рис. 11. Инвариант (AB) прямого (внешнего) геометрического пространства.

Для прямого инварианта длины мы должны записать

$$\begin{cases} L = const \\ l = 1/\lambda \end{cases}, \quad (3.3)$$

т.е. l в выражениях вида (3.1) для этого случая становится неявной функцией масштабного коэффициента.

Так, на рис. 11 диаметр L области (AB) во внешнем пространстве сохраняет своё значение вне зависимости от текущего значения масштабного коэффициента (сжатия геометрических единиц). Соответственно для первого и второго состояния $L = 1/2$.

Например, выражение (2.20) в предыдущей главе определяет радиус шара, как прямой геометрический инвариант. Ещё одним примером естественного прямого инварианта является начальный (единичный) диаметр Вселенной. Но, пожалуй, самым важным частным примером прямого инварианта является расстояние между удалёнными (гравитационно не связанными) телами, например двумя далёкими галактиками. Разлетаясь в нашем (обратном) пространстве по закону Хаббла они сохраняют постоянным взаимное расстояние во внешнем пространстве.

Возможна и обратная ситуация к рассмотренной выше, т.е. когда своё значение сохраняет диаметр l области обратного геометрического пространства.

Обратными (внутренними) геометрическими инвариантами назовём величины, сохраняющие своё значение в обратном геометрическом пространстве вне зависимости от значения масштабного коэффициента λ .

Это понятие проиллюстрировано на рис. 12. Так диаметр области (AB) в обратном пространстве одинаков и всегда $l = 2$.

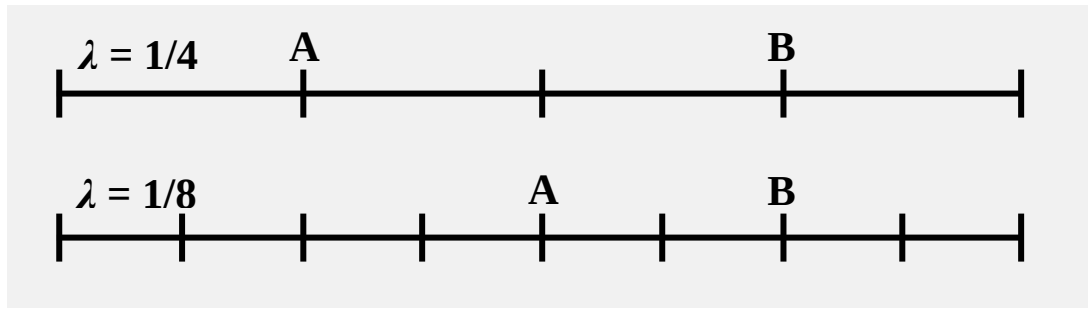


Рис. 12. Инвариант (AB) обратного (внутреннего) геометрического пространства.

Дадим теперь математическое определение обратного инварианта длины

$$\begin{cases} l = const \\ L = l_0 \cdot \lambda \end{cases} \quad (3.4)$$

при этом L становится линейной функцией от λ , т.е. уменьшается пропорционально единицам длины обратного пространства.

Заметим также, что если ввести в рассмотрение относительный масштабный коэффициент λ' по формуле

$$\lambda' = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \quad (3.5)$$

где λ_1 соответствует предыдущему состоянию геометрии, а λ_2 текущему (на рис. 12 $\lambda_1 = 1/4$; $\lambda_2 = 1/8$) то выражение для L из (3.4) можно переписать следующим образом

$$\begin{cases} L_0 = l \cdot \lambda_1 \\ L = L_0 \cdot \lambda' \end{cases} \quad (3.6)$$

С реальным примером такого инварианта мы уже сталкивались в предыдущей главе в выражении (2.21). Здесь достаточно сказать, что размеры всех тел (или системы тел), сила связи которых превышает значение (2.14), являются обратными инвариантами. Например, все наши «линейки» - обратные инварианты длины. Ещё одним важным примером обратного инварианта является диаметр сферы Хаббла.

До сих пор мы рассматривали лишь геометрические единицы длины, но всё то же самое естественным образом распространяется и на время. Представим жёсткую систему координат, в которой вдоль оси X расположены две неподвижные точки «А» и «В» как на рис. 12 (при этом во внешнем геометрическом пространстве расстояние между точками будет постоянно сокращаться). Пусть из точки «А» в момент времени t_1 (по часам внутреннего наблюдателя) выходит луч света и приходит в точку «В» в момент времени t_2 . Тогда разность $\Delta t = t_2 - t_1$ есть обратный геометрический инвариант времени.

Далее рассмотрим наиболее общий случай, когда некоторая область (AB) являлась инвариантом внешнего геометрического пространства вплоть до определённого значения коэффициента λ , после чего начинает сокращаться в диаметре вместе с единицами длины, став обратным инвариантом (рис. 13, область (AB) дополнительно выделена точками).

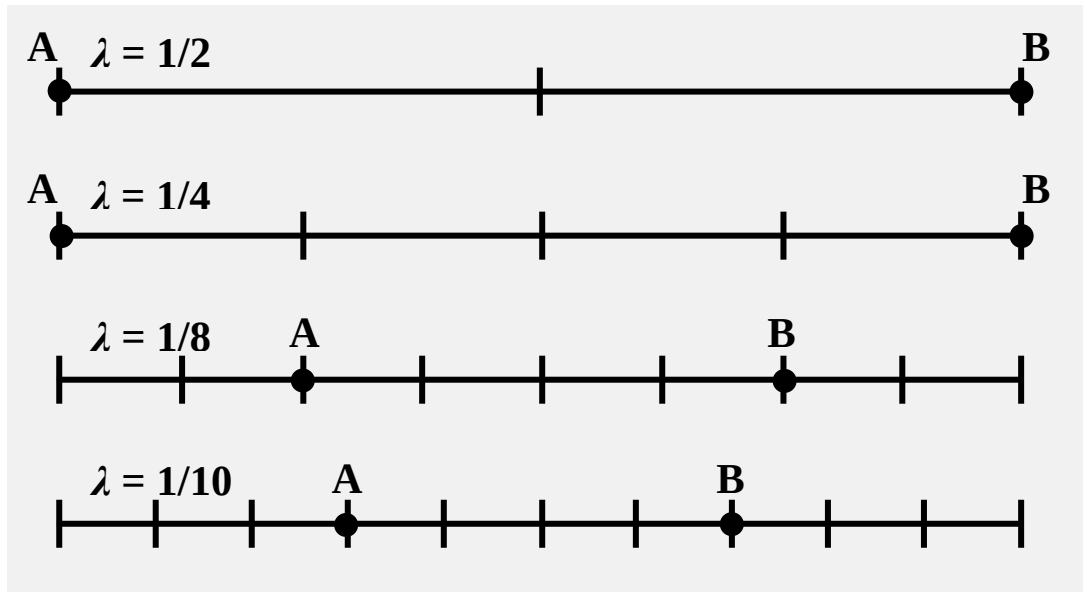


Рис. 13. Область (AB) являлась вначале инвариантом прямого геометрического пространства, а затем стала инвариантом обратного.

Величина начального масштаба во внешнем пространстве здесь снова выбрана равной 1 ($L_0 = 1$). До тех пор, пока область занимает весь начальный масштаб, являясь прямым инвариантом, текущее значение коэффициента λ легко вычислить по формуле

$$\lambda = \frac{1}{l_0} = \frac{1}{\mu_0}, \quad (3.7)$$

где l_0 – диаметр области (AB), μ_0 – начальный коэффициент сжатия, т.е. для такой области $l_0 = \mu_0$.

В данном случае выражение (3.7) выполняется вплоть до значения $\lambda_2 = 1/4$. При дальнейшем сжатии геометрических единиц диаметр области становится обратным инвариантом. Используя относительный масштабный коэффициент из (3.5) для последнего состояния геометрии на рис. 13 ($\lambda_4 = 1/10$) справедливо следующее выражение

$$L = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} = \lambda' = l_0 \cdot \frac{1}{l_0} \lambda',$$

а, следовательно, для любого возможного размера l в пределах области (AB) можно записать

$$L = l \cdot \frac{1}{l_0} \lambda'. \quad (3.8)$$

Это соотношение определяет преобразование длин внутри области (AB) при переходе от обратного геометрического пространства к прямому (внешнему пространству). Введём безразмерную весовую функцию α

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \lambda', \quad (3.9)$$

перепишем теперь выражение преобразования длин (3.8) в наиболее общем виде

(3.10)

$$L = l \cdot \alpha .$$

Внутренний вид весовой функции был нами получен ранее, это экспонента в (2.10). Гораздо больший интерес представляет действительный вид функции во внешнем пространстве и поиск самой величины λ , чем мы вскоре и займёмся.

Вообще говоря, формулы преобразования при переходе между геометрическими пространствами можно получить для всех физических величин. Не вдаваясь в дальнейшие подробности, общее правило здесь таково: если единицы длины и времени входят в какую-либо величину симметричным образом и соответствующие весовые функции сокращаются, то такая величина не изменяет своего значения. Например, пекулярная скорость (скорость не связанная с изменением «веса» геометрических единиц), есть отношение пройденного расстояния ко времени ($v = \Delta l / \Delta t$) и является не изменяющейся величиной. Кроме того, существуют т.н. «абсолютные инварианты» - величины, в принципе сохраняющие своё значение, как в прямом, так и в обратном геометрических пространствах, вне зависимости от значение масштабного коэффициента (т.е. степени «сжатия» геометрических единиц). Например, энергия и связанная с ней масса должны быть абсолютными инвариантами, особенно это понятно, если мы рассматриваем полную энергию системы в прямом геометрическом пространстве.

Многие фундаментальные физические константы, напротив, инвариантами не являются, изменяясь с течением внутреннего времени t . Определить такие «константы» можно по размерности. Так гравитационная постоянная G имеет размерность $\text{м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ и, следовательно, настоящей постоянной не является. Она должна изменять своё значение, уменьшаясь со временем по тому же (обратному) экспоненциальному закону. Уменьшение величины G будет выглядеть, как «похудение» эталонов массы (крайне медленный процесс сточки зрения внутреннего наблюдателя ввиду малости постоянной Хаббла и самого вида закона (2.10)). С другой стороны такая зависимость от масштабного коэффициента λ позволяет вычислить его текущее значение по значению самой гравитационной «постоянной».

Однако же существуют и более сложные случаи. Например, постоянная Планка h имеет размерность $\text{Дж} \cdot \text{с}$ ($\text{кг} \cdot \text{с} \cdot (\text{м}^2/\text{с}^2)$) и также константой не является. Она выступает в качестве коэффициента связи между величиной энергии и временем в формуле $E = h\nu$. Энергия есть абсолютный инвариант а, следовательно, и правая часть этого выражения обязана сохранять своё значение. Последнее является простым следствием того факта, что ускорение хода часов «изнутри» нашего пространства не должно приводить ни к каким энергетическим парадоксам. Например, фотон с некоторой частотой ν_0 в прошлом и другой фотон с той же частотой ν_0 сегодня должны быть равны по энергии, хотя с точки зрения прямого геометрического пространства частота второго (сегодняшнего) фотона, несомненно, выше. Выполнение этого условия возможно, только если «постоянная» Планка уменьшает своё значение со временем (в обратном пространстве, разумеется) по тому же крайне медленному закону, что и G .

Далее определим законы преобразования объёмов и плотностей. Воспользуемся формулой (3.10) и для отношения объёмов получим

(3.11)

$$\frac{V'}{V} = \frac{L^3}{l^3} = \alpha^3 ,$$

где V' - объём в прямом геометрическом пространстве, а V - соответствующий ему объём обратного пространства.

Учитывая, что масса является абсолютным инвариантом, для отношения плотностей запишем

(3.12)

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{m/V'}{m/V} = \frac{V}{V'} = \frac{1}{\alpha^3},$$

где ρ' и ρ плотности в прямом и обратном пространствах соответственно. Разумеется, всё то же самое верно и для плотности энергии, связанной с плотностью массы ρ (поскольку скорость света – инвариант).

Физический смысл последнего выражения состоит в том, что любая плотность во внешнем «компактном» пространстве «размазывается» по огромному объёму внутреннего геометрического пространства.

4. Нулевые колебания и Геометрия

Рассмотрим измерение временной длительности некоторого процесса. Для этого, прежде всего, нам необходимы часы, т.е. временной эталон. Далее, сам тестируемый процесс должен проходить либо с изменением координат тела в пространстве, либо внутренней структуры тела, либо приводить к изменению физических полей в какой-то области пространства. Скорость такого процесса и возможно измерить непосредственно.

На самом деле интересным является вопрос о том, в чём же разница между процессом, которым мы измеряем время и тем, длительность которого мы измеряем.

Иными словами, для того, чтобы сказать о длительности какого бы то ни было процесса, нам нужен ещё один эталонный процесс. В любом и каждом случае, мы будем измерять разницу в достижении какого-то (заранее определённого, маркированного) состояния одним процессом относительно другого.

Процесс, которым измеряют время, очевидно должен быть периодическим. Обычно, говоря о повторяющемся процессе, имеется в виду, что уже существует некоторый другой временной процесс (часы) и, таким образом, наблюдая тестируемый процесс можно сделать вывод о его периодичности (повторяемости). Но поставим вопрос по-другому: может ли периодический процесс сам играть роль времени. В данном контексте, как правило, вызывает сомнения само слово «периодический», подразумевающее уже «запущенное» время, но это не так. Существует другое, более общее определение «периодичности», не предполагающее наличия уже существующего временного процесса.

Итак, процесс, претендующий на «роль» времени, должен удовлетворять нескольким условиям.

1. Сохранение причинно-следственных связей. Это один из самых фундаментальных фактов, важность которого трудно переоценить. Выполнение данного условия невозможно без «синхронизации» временного процесса между различными точками пространства, по крайней мере, в пределах сферы Хаббла.*
2. Проходить вдоль замкнутой кривой в некоторых (не обязательно пространственных) координатах. Данное условие равносильно определению периодичности процесса.
3. Должен существовать (быть доступным) в каждой точке пространства. Известно, что при прочих равных условиях, одни и те же физические процессы проходят одинаковым образом даже в достаточно удалённых в масштабах Вселенной областях.

*Автор здесь не рассматривает и не оспаривает релятивистские эффекты, связанные с переходом между различными ИСО. Данные эффекты носят вторичный характер в рамках обсуждаемой проблемы.

4. Временной процесс, очевидно, не может быть связан с переносом энергии.

Интересно, что возможен и другой подход к понятию времени. В каждой точке пространства существует принципиально неустранимый вид колебаний, происходящий даже при абсолютном нуле и в отсутствии вещества - т.н. нулевые колебания вакуума электромагнитного поля. Эти пульсации вакуума и есть то, что делает «нестабильными» наши физические системы. Так, они «скидывают» поглотившие энергию атомы из неустойчивого равновесия в основное состояние, заставляя испускать излучение. Фактически, они определяют время жизни любых неустойчивых состояний, тем самым «запуская часы» в каждой точке пространства.

С другой стороны, нулевые колебания представляют собой стоячие электромагнитные волны (равновесное излучение), т.е. не связаны с переносом энергии. Сам вакуум является средой высокой симметрии, что автоматически выполняет требование одинаковости (синхронности) вакуумных колебаний в различных точках пространства. Таким образом, нулевые колебания вакуума электромагнитного поля удовлетворяют всем перечисленным выше требованиям к временному процессу.

Подробно остановимся лишь на условии периодичности. Известно, что в стоячей электромагнитной волне колебания векторов напряжённости электрического E и магнитного H полей сдвинуты по фазе на $\pi/2$. Последнее означает, что в координатах E и H мы получим вращение радиус-вектора по окружности (рис. 14), т.е. процесс, проходящий по замкнутому пути.

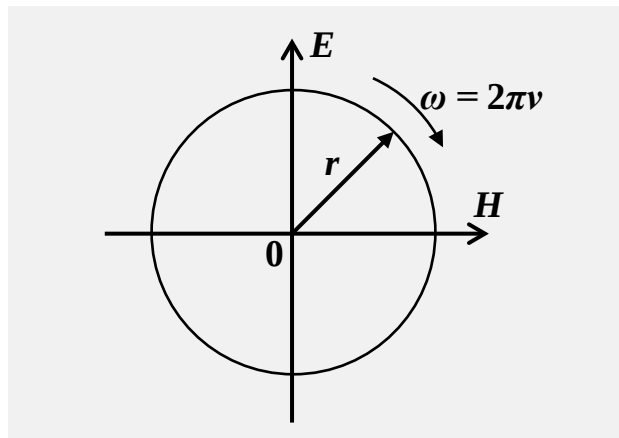


Рис. 14. Вращение в координатах E и H плоской стоячей электромагнитной волны.

В главе 2 говорилось о вращении сферы Хаббла, которое сопоставлялось с вращением самого пространства, существующем в каждой его точке. Именно этот периодический процесс и определяет такое вращение, порождая поле сил инерции (2.14).

Нас здесь интересуют не все возможные вакуумные моды, а только такие, частота которых максимальна (наивысшие моды). Их период и является минимальным (элементарным) интервалом времени.

Далее будем считать, что мода нулевых колебаний с наивысшей частотой «запускает» время в каждой точке пространства, унифицируя физические процессы всюду во Вселенной, и выполняя требование сохранения причинно-следственных связей.

В свете вышесказанного, для произвольного, достаточно малого периода времени Δt мы должны записать

(4.1)

$$\Delta T = k_t \Delta t \cdot \frac{\lambda_0}{c},$$

где ΔT – некоторый интервал времени в прямом пространстве, c – скорость света, λ_0 – длина волны наивысшей моды нулевых колебаний, соответствующая частоте ν_{max} и k_t – некоторый размерный коэффициент (c^{-1}).

Далее, постоянство скорости света требует, аналогично (4.1) связать размер каждой элементарной геометрической единицы длины с длиной волны λ_0 высшей моды нулевых колебаний

(4.2)

$$L = k_l l \cdot \lambda_0,$$

где под l мы понимаем количество элементарных ячеек с длиной λ_0 , укладываемых на длине L , а k_l – некоторый размерный коэффициент (m^{-1}).

Сравнивая (4.1) и (4.2) с (2.1) и (2.2) видим, что текущее значение масштабного коэффициента λ , есть наименьшая на данный момент времени длина волны λ_0 спектра вакуумных колебаний.

Согласно (1.15), для нулевых колебаний мы имеем бесконечный набор мод с различными частотами. Тем не менее, определяя величину λ_0 , мы неявно полагаем конечность спектра нулевых колебаний. Изнутри нашего пространства эта величина, как уже говорилось, определяется планковским значением длины l_p

(4.3)

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}},$$

где G – гравитационная постоянная и $\hbar = h / 2\pi$ – приведённая постоянная Планка.

Минимальная длина волны λ_0 , как и масштабный коэффициент λ связаны с планковской длиной выражением

(4.4)

$$\lambda_0 = \sqrt{2\pi} \cdot l_p,$$

поскольку мы используем приведённое значение $\hbar$ в (4.3).

Таким образом, изменение планковской длины через изменение гравитационной «постоянной» G и «постоянной» Планка $\hbar$ со временем как раз определяет значение масштабного коэффициента, т.е. текущую степень сжатия наших геометрических единиц.

Далее будем считать, что спектр нулевых колебаний (рис. 15), во-первых, занимает некоторый интервал частот ($\nu_0 - \nu_{min}$). Во-вторых, верхний предел частоты $\nu_0 = c / \lambda_0$ как раз соответствует длине волны, определяемой выражением (4.4) и, следовательно, спектр продвигается вверх по шкале частот с течением внутреннего времени t по тому же экспоненциальному закону (2.10).

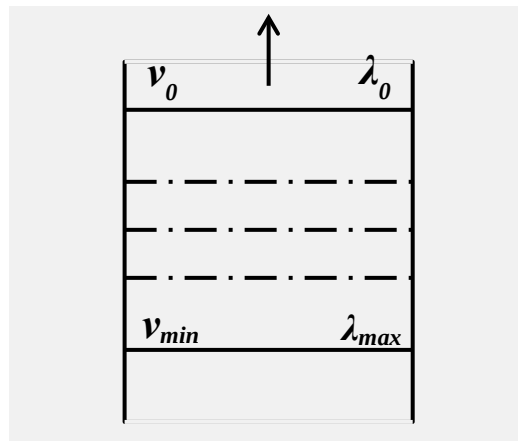


Рис. 15. Спектр нулевых колебаний вакуума электромагнитного поля.

Очевидно, что сами нулевые колебания электромагнитного поля принадлежат прямому геометрическому пространству. Их продвижение вверх по спектру частот сопровождается сжатием единиц обратного пространства и приводит к наблюдаемому эффекту «раздувания» внутреннего объёма.

Здесь интересно заметить, что в спектре нулевых колебаний присутствует как мода, задающая нашу сегодняшнюю геометрию, так и моды определявшие геометрию нашего пространства в прошлом. Мода с максимальной длиной волны λ_{max} появилась самой первой, следовательно, её длина волны в прямом пространстве и есть тот самый единичный масштаб (3.2). В обратном же пространстве длина волны λ_{max} должна быть в точности равна сегодняшнему диаметру Вселенной, этого от нас требует выполнение равенства (3.1).

Другой фундаментальный факт состоит в том, что пространство прямой геометрии не является простой математической абстракцией. Геометрии в некотором смысле, сосуществуют вместе, и энергии пространства прямой геометрии проявляются в каждой точке нашего обратного пространства в виде флуктуаций физического вакуума. Чтобы лучше представить, о чём идёт речь, проиллюстрируем связь этих геометрий следующим образом (рис. 16).

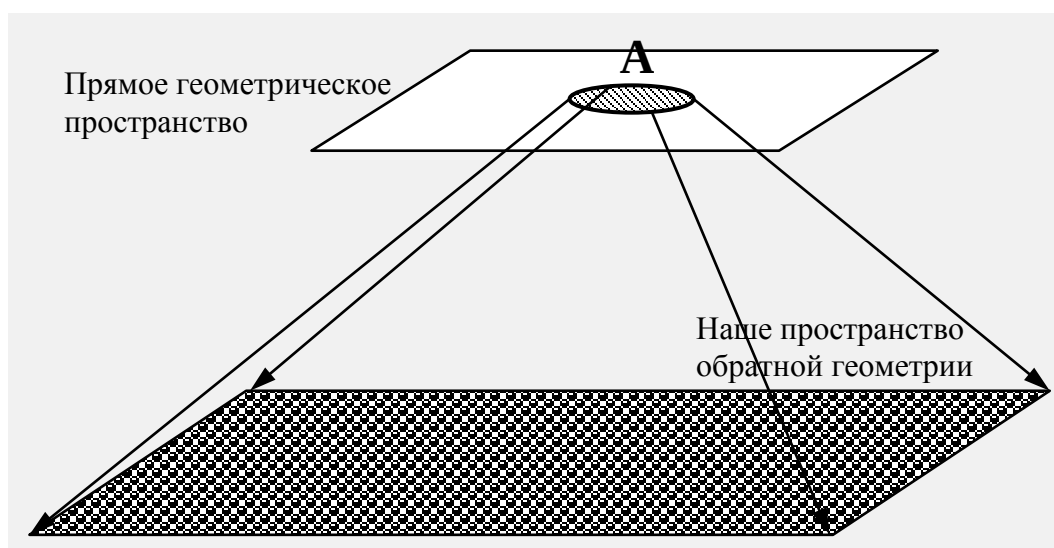


Рис. 16. Каждая точка нашего пространства связана с одной и той же областью «А» пространства прямой геометрии.

Область «А» прямого геометрического пространства заполнена нулевыми колебаниями стоячих электромагнитных волн с длинами от λ_{max} до λ_0 , причём, существовать в этой области могут только такие колебания, интенсивность которых на границах равна нулю. Это резонатор, который самой высокой частотой своих мод размечает наше пространство обратной геометрии «линейками» и «часами», и каждая точка пространства оказывается «синхронизована» областью «А». В результате чего мы получаем «одинаковость» (однородность и изотропность) Вселенной на любых доступных расстояниях. Каждый раз, наблюдая физический вакуум, мы на самом деле получаем доступ к одной и той же области «А» прямого геометрического пространства из разных областей нашего пространства. Благодаря такому эффекту отображения на область «А», физический вакуум выглядит столь однородно и симметрично.

Понятно, что никакой «бесконечной» энергии вакуум не содержит. Энергия нулевых колебаний создаёт нашу геометрию, и, следовательно, уже учтена. Получая непосредственный доступ к нулевым колебаниям, мы пытаемся учесть одну и ту же энергию дважды, к тому же неоправданно «растираживая» её по всему огромному объёму нашего обратного пространства. В результате возникает трудноразрешимая проблема бесконечной энергии вакуума и проблема «самодействия».

Выражения (4.1) и (4.2) были составлены полуэмпирическим путём, в большей степени опираясь на физическую природу времени и теорию инвариантов. Попробуем теперь прийти к выражению для весовой функции α , но уже строго математически. Для этого, прежде всего, необходимо сделать два замечания.

Замечание первое. Физический вакуум обычно представляют как некий «кипящий суп» всевозможных виртуальных частиц. Здесь же, вакуум отождествляется с нулевыми колебаниями электромагнитного поля и моделируется квантовым газом вакуумных фотонов. Связано это с тем, что фактически, энергия нулевых колебаний электромагнитного поля единственная на сегодняшний день подтверждённая прямым экспериментом энергия вакуума. Можно сколь угодно долго спорить о «кипящем супе» различных виртуальных частиц, но эффект Казимира надёжно и точно установил соответствие энергии вакуумных колебаний выражению (1.15). Стало быть, рождения всевозможных элементарных частиц следует воспринимать, как явление вторичное, обусловленное той же самой энергией (1.15) нулевых колебаний электромагнитного поля.

Замечание второе. Выражения (4.1) и (4.2) фактически приравнивают масштабный коэффициент длине волны λ_0 , определяемой через планковскую длину l_p по формуле (4.4). Поступая так, мы, тем не менее, не можем заранее утверждать, что выражение (4.4) даёт нам абсолютное значение коэффициента λ . Планковская длина, так же точно, может определять и текущее относительное значение масштабного коэффициента, аналогично (3.5).

Учитывая вышесказанные замечания, приступим теперь к нахождению уравнения, определяющего эволюцию геометрии.

Поскольку, процесс видимого расширения пространства является довольно медленным, далее будем считать, что вакуумное электромагнитное излучение находится в состоянии квазистатического равновесия и подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна для фотонного газа.

Для плотности энергии нулевых колебаний мы можем записать

(4.5)

$$w = \frac{1}{V} \sum_k \frac{1}{2} \hbar \omega_{\vec{k}} ,$$

где V - некоторый, достаточно большой объём.

Далее сделаем стандартный квазиклассический переход от суммирования по волновым числам фотонных состояний к интегрированию по непрерывному распределению частот

спектра нулевых колебаний. Воспользуемся известным выражением для числа dN квантовых состояний фотона, приходящихся на интервал частот $d\omega$

$$dN = V \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \cdot d\omega ,$$

где V – объём полости, заполненной равновесным электромагнитным излучением.

Верхний предел интегрирования выберем равным частоте ω_0 , соответствующей длине волны λ_0 по формуле $\omega_0 = 2\pi c / \lambda_0$, а нижний предел будем считать равным 0. Строго говоря, это не так и нижний предел равен частоте соответствующей длине волны λ_{max} (о которой здесь уже говорилось, см. рис. 15), но в данном случае, ввиду малости величины, последнее не имеет принципиального значения.

(4.6)

$$w = \frac{\hbar}{2\pi^2 c^3} \int_0^{\omega_0} \omega^3 \cdot d\omega = \frac{\hbar}{8\pi^2 c^3} \cdot \omega_0^4 ,$$

переходя в этом выражении от частоты ω_0 к длине волны λ_0 , запишем

(4.7)

$$w = 2\pi^2 c \hbar \cdot \frac{1}{\lambda_0^4} .$$

Полученное выражение определяет плотность энергии нулевых колебаний во внешнем геометрическом пространстве, его необходимо сопоставить с наблюдаемым значением плотности энергии вакуума ε из (2.19). Сделать это можно воспользовавшись формулой (3.12) для преобразования плотностей при переходе между геометрическими пространствами.

(4.8)

$$2\pi^2 c \hbar \cdot \frac{1}{\lambda_0^4} = \frac{\rho_c}{\alpha^3} c^2 ,$$

где α – весовая функция. Видим, что λ_0 и α входят в это соотношение в разных степенях, чего не должно быть, если исходить из линейного вида (4.2) для преобразования длин между геометрическими пространствами. Т.е. либо ошибочно само предположение о линейности по λ_0 в (4.1) и (4.2), либо существуют неучтённые (скрытые) зависимости от λ_0 в последнем равенстве. Наличие таких зависимостей уже понятно исходя из вида определения для критической плотности

$$\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G} ,$$

где в знаменателе присутствует гравитационная «постоянная» G , сама зависящая от текущего значения масштабного коэффициента, равного длине волны λ_0 . Для того чтобы понять, что именно здесь происходит, перепишем равенство (4.8) следующим образом

(4.9)

$$\frac{\rho_c}{\alpha^3} c^2 \cdot [(\lambda_0)^3]^{4/3} = 2\pi^2 c \hbar .$$

А теперь сравним это уравнение с уравнением адиабатического процесса для фотонного газа

$$P \cdot V^{4/3} = \text{const}.$$

Первый множитель в уравнении (4.9), очевидно, есть давление вакуума, тогда как второй множитель - его объём. Т.е. наши объёмы пропорциональны кубу длины волны мод нулевых колебаний с наиболее высокой частотой $V \propto \lambda^3$, а, следовательно, никакой ошибки на счёт линейной зависимости от λ_0 в выражениях (4.1) и (4.2) нет.

Фактически уравнение (4.9) и есть искомое уравнения сжатия геометрических единиц, нужно лишь определиться с правильной степенью весовой функции α . Но полученный вид уравнения не совсем удобен для этого. Так величины давления и объёма стоящие в (4.9) слева относятся к внешнему геометрическому пространству, в то время как справа стоит величина $\hbar$ из обратного пространства. Чтобы найти степень весовой функции α необходимо формально перейти в прямое геометрическое пространство и учесть все скрытые зависимости.

Кубический вид весовой функции (α^3) явно учтённый для критической плотности ρ_c в (4.8) здесь уже не применим. Формула преобразования для плотностей, полученная нами в предыдущей главе выводилась из предположения, что величина массы является абсолютным инвариантом и сохраняет своё значение. Тогда в формуле (3.12) учёт всех зависимостей в явном виде сводился лишь к учёту преобразования для объёмов и приводил к кубу весовой функции, что неверно для критической плотности, поскольку там присутствует скрытая зависимость от λ_0 через величину G . Учтём её и точно также учтём зависимость для «постоянной» Планка $\hbar$

(4.10)

$$\begin{cases} G = G_{inv} \cdot \alpha \\ \hbar = \hbar_{inv} \cdot \alpha \end{cases},$$

где G_{inv} и $\hbar_{inv}$ значения констант в прямом геометрическом пространстве, они очевидно инвариантны.

Если подставить эти зависимости в явном виде в уравнение (4.9), то выполнение последнего будет возможно, только если степень весовой функции α та же, что и у λ_0 . Следовательно, в уравнениях (4.8) и (4.9) должен стоять квадрат весовой функции (α^2).

Перепишем теперь (4.8) с учётом квадрата весовой функции, а также подставив туда выражение для критической плотности и величины λ_0 из равенства (4.4)

$$\alpha^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{H^2}{c} \cdot \frac{c^2}{\hbar G} \cdot (l_p)^4,$$

пумножим числитель и знаменатель на c (от этого, очевидно, ничего не изменится)

$$\alpha^2 = \frac{3}{4\pi} \cdot \frac{H^2}{c^2} \cdot \frac{c^3}{\hbar G} \cdot (l_p)^4.$$

Теперь видно, что произведение справа довольно интересно «сворачивается». Так второй множитель согласно (2.11) есть величина обратная квадрату радиуса сферы Хаббла $(1/R_H)^2$, а третий, согласно определению (4.3), - величина обратная квадрату планковской длины $(1/l_p)^2$. Введём также диаметр сферы Хаббла $D_H = 2R_H$. В итоге получим

(4.11)

$$\alpha^2 = \frac{3}{\pi} \frac{1}{(D_H)^2} \cdot (l_p)^2 \approx 3.7 \cdot 10^{-123}.$$

Напомним, что численное значение для α^2 есть отношение наблюдаемой плотности энергии вакуума к плотности энергии, вычисляемой по нулевым колебаниям поля из (4.6). Наблюдаемая плотность относится к обратному геометрическому пространству, тогда как её действительное значение к пространству прямому и больше на 123 порядка наблюдаемой величины. Данный эффект уже обсуждался в предыдущей главе, он связан с огромным внутренним объёмом обратного пространства. С течением времени разница в плотностях энергий будет лишь увеличиваться, поскольку сжатие геометрических единиц продолжится.

Здесь мы также пришли к искомому выражению для весовой функции α

(4.12)

$$\alpha = \sqrt{3/\pi} \frac{1}{D_H} \cdot l_p,$$

сравните это выражение с формой (3.9) для весовой функции из теории геометрических инвариантов. Видно, что эволюция сферы Хаббла довольно хорошо моделируется областью (AB) на рис. 13 предыдущей главы. Т.е. диаметр сферы Хаббла вплоть до значения $\lambda = 1/D_H$ представлял собой прямой геометрический инвариант и «занимал» весь начальный единичный масштаб L_0 , после чего начал «сжиматься» во внешнем пространстве и в настоящее время сфера Хаббла является классическим примером естественного инварианта в обратном геометрическом пространстве. Планковская длина l_p , таким образом, определяет относительный масштабный коэффициент λ' , т.е. позволяет нам вычислить сегодняшнюю относительную степень сжатия геометрических единиц с момента образования обратного инварианта.

Найдём теперь абсолютное значение масштабного коэффициента λ . Сравним выражение (3.10) для ΔL , записанное через весовую функцию, с формой (4.2)

$$l \cdot \alpha = k_l l \cdot \lambda,$$

откуда

(4.13)

$$\lambda = \frac{1}{k_l} \cdot \alpha.$$

Интересно также с помощью установленного вида для весовой функции α найти величину самой гравитационной «постоянной» G соответствующей двум периодам в эволюции Вселенной: G_1 - величину для момента времени т.н. «Великого объединения» и G_2 - величину для момента времени $\lambda = 1/D_H$. Начнём с последнего.

$$G_2 = \frac{G_0}{k_l l_p} \approx 4 \cdot 10^{24} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2),$$

где $G_0 \approx 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ – сегодняшнее значение гравитационной «постоянной», $l_p \approx 1.62 \cdot 10^{-35} \text{ м}$ – планковская длина и $k_l = 1 \text{ м}^{-1}$ размерный коэффициент.

Для значения G_1 запишем

$$G_1 = G_0/\alpha = \sqrt{\pi/3} \cdot \frac{G_0 D_H}{l_p} \approx 1.1 \cdot 10^{51} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2),$$

где $D_H \approx 2.6 \cdot 10^{26} \text{ м}$ – диаметр сферы Хаббла. Эта огромная величина гравитационной постоянной на самом деле и есть её действительная величина в прямом геометрическом пространстве.

Чтобы была возможность сравнить полученные численные значения для гравитационного взаимодействия с сильным (ядерным), электромагнитным и слабым взаимодействиями, перейдём к безразмерной константе связи $a = g^2 / \hbar c$, где g – заряд источника взаимодействия, а величина $\hbar$ берётся равной её сегодняшнему значению. Так для гравитационного взаимодействия $a_g = G m_n^2 / \hbar c$, где $m_n \approx 1.7 \cdot 10^{-27}$ кг – масса нуклона. Для электромагнитного взаимодействия $a_e = e^2 / \hbar c$, где e – заряд электрона. Для ядерного взаимодействия (потенциал Юкавы) $a_s = g_s^2 / \hbar c$ и для слабого $a_w = G_F / (\hbar c \cdot (\hbar / m_p c)^2)$, где $G_F = 1.4 \cdot 10^{-49}$ эрг·см³ – константа Ферми, $\hbar / m_p c$ – комптоновская длина волны протона.

Ниже в таблице представлены значения всех констант связи:

Таблица 1. Основные виды взаимодействий.

Взаимодействие	Константа
Сильное	$a_s \approx 14$
Электромагнитное	$a_e \approx 7 \cdot 10^{-3}$
Слабое	$a_w \approx 1 \cdot 10^{-5}$
Гравитационное (G_0 сегодняшнее значение)	$a_{g0} \approx 5 \cdot 10^{-39}$
Гравитационное (G_2 при $\lambda = 1/D_H$)	$a_{g2} \approx 3 \cdot 10^{-4}$
Гравитационное (G_1 «Великое объединение»)	$a_{g1} \approx 1 \cdot 10^{23}$

В принципе, комментировать здесь особо нечего. Уже при величине гравитационной постоянной равной G_2 гравитационные силы больше не «выпадают» из общего ряда других взаимодействий. Напомню, значение G_2 относится к переходному моменту времени, когда сфера Хаббла перестала занимать весь доступный объём Вселенной и начала своё сокращение относительно начального единичного масштаба.

Конечно же, значения других констант взаимодействий также будут «дрейфовать» по мере приближения к начальной точке («Великому объединению»), тем не менее, общая тенденция объединения всех сил не может вызывать сомнений, ещё и вот почему. Физический вакуум, как уже говорилось выше, принадлежит прямому геометрическому пространству, т.е. пространству «Великого объединения» всех сил. Последнее проявляется в свойствах вакуума, когда единая энергия нулевых колебаний (1.15) порождает всевозможные виды частиц и взаимодействий. Обычно, говоря о «Великом объединении», имеют в виду очень короткий начальный этап эволюции Вселенной, оставшийся далеко в прошлом. Фактически же, это не так. Физический вакуум является средой того самого «Великого объединения», которое существует и сегодня во внешнем геометрическом пространстве.

Ещё одно замечание касается зависимости критической плотности от величины гравитационной «постоянной». Уменьшение величины G вместе с коэффициентом λ приводит ко всё возрастающему численному значению критической плотности (поскольку $\rho_c \propto 1/G$). Но сам вес вакуума при этом не изменяется, что понятно из формы закона тяготения (величина G , входящая в закон тяготения, будет сокращаться с G из ρ_c).

5. Эволюция Вселенной

Всё что ранее обсуждалось здесь относительно свойств нашей внутренней геометрии, приводит к единственному и неизбежному выводу: пространство нашей вселенной представляет собой внутренности чёрной дыры, а мы – жители сингулярности. Именно с этой точки зрения и следует рассматривать вопрос эволюции Вселенной, начиная с самых первых моментов её существования.

Рассмотрим коллапс массивного тела. Под действием собственных сил гравитации оно будет сжиматься всё дальше и дальше, уходя, в итоге, за свой гравитационный радиус. Но даже такое сжатие не может длиться вечно. При достижении плотности порядка планковской величины $\rho_p \approx 5.1 \cdot 10^{96} \text{ кг/м}^3$ в веществе возникает вакуум-подобное состояние, а в спектре нулевых колебаний появляются первые моды с длиной волны $\lambda_{\max}$.

Именно эта точка и является в самом прямом смысле началом отсчёта – нулевым временем, рождением Вселенной. В этой точке происходит разделений геометрий на внешнюю (прямую) и внутреннюю (обратную). Теперь у нас есть пространство и время, размеченные длиной волны $\lambda_{\max}$ первого вакуумного колебания. Пока что геометрические единицы обоих пространств совпадают, однако такое положение будет сохраняться совсем недолго. Начиная с этого момента, характер сжатия коллапсирующего тела полностью изменяется и вместо уменьшения внешнего радиуса начнётся внутреннее сжатие геометрических единиц. Сама же первоначальная область (единичный масштаб) начнёт играть роль резонатора. В следующее мгновение (t_1) под действием гравитационной накачки в спектре появится второе вакуумное колебание с удвоенной частотой (рис. 17).

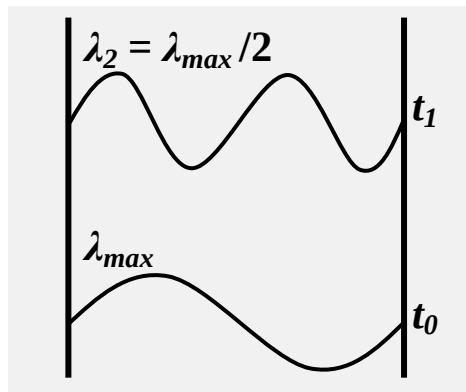


Рис. 17. Момент зарождения второго вакуумного колебания.

В нашей модели это соответствует резкому, взрывному удвоению внутреннего объёма Вселенной. Поскольку в начальный момент относительный масштабный коэффициент λ' имел огромную величину по сравнению с его сегодняшним значением (так моменту времени на рис. 17 соответствует значение $\lambda' = 1/2$), то «раздувание» пространства шло катастрофическими темпами. Спектр нулевых колебаний интенсивно продвигался вверх по шкале частот, что, в свою очередь, сопровождалось сжатием единиц обратной геометрии. Внутренний объём Вселенной быстро возрастал.

Углубляясь обратно в прошлое, мы в итоге приходим к моменту, когда плотность и температура вещества определялись начальными планковскими значениями, а единицы геометрических пространств совпадали. В этом смысле, флуктуации вакуума есть проявление энергий, давно лежащих за планковским пределом. Их уход за такой предел позволил развиваться огромному пространству обратной геометрии.

По современным данным Вселенная появилась 13.79 млрд. лет назад, но процесс сжатия геометрических единиц продолжается и в наше время. Обычно, сравнивая возраст

Вселенной с её размерами, говорят о некотором «дисбалансе» между этими числами. Сравним примерный «вес» секунды во времена Большого Взрыва и сейчас. Поскольку первоначально геометрические пространства совпадали, будем считать для простоты вычислений, что в короткий период времени часы в обоих пространствах шли одинаково и, таким образом, определим также количество сегодняшних секунд в секунде внешнего времени. Воспользуемся для этого выражением (4.1), где вместо длины волны λ_0 подставим её значение через весовую функцию из (4.13)

$$\Delta T = \Delta t \cdot \frac{1}{c} \frac{k_t}{k_l} \sqrt{3/\pi} \frac{l_p}{D_H} = 1,$$

примем размерные коэффициенты $k_t = 1\text{с}^{-1}$ и $k_l = 1\text{м}^{-1}$, откуда для количества секунд Δt в секунде внешнего времени найдём

$$\Delta t = c \frac{k_l}{k_t} \sqrt{\pi/3} \frac{D_H}{l_p} \approx 5 \cdot 10^{69} \text{ с}. \quad (5.1)$$

В то время как, современный возраст Вселенной составляет «всего-то» $4.35 \cdot 10^{17}$ с. Разумеется, сегодняшние секунды несопоставимо «короче» тех, что были в далёком прошлом и «длиннее» тех, что ожидаются в будущем. Но, тем не менее, по часам внешнего наблюдателя, скорее всего, прошёл лишь краткий миг с момента рождения Вселенной. Полученный удивительный факт – простое следствие сильно изменившейся геометрии. Уже давно наши «внутренние» годы, сотни и даже тысячи лет, ничего не прибавляют к показаниям часов внешнего наблюдателя. То же самое касается и скорости изменения величин, зависящих от коэффициента λ , например значений фундаментальных «констант». Невероятно медленное изменение последних с течением внутреннего «быстрого» времени t отлично демонстрирует, что на самом деле означает экспоненциальная зависимость вида (2.6). Её модельный график представлен рис. 18. Зависимость моделировалась обычной экспонентой e^{-t} .

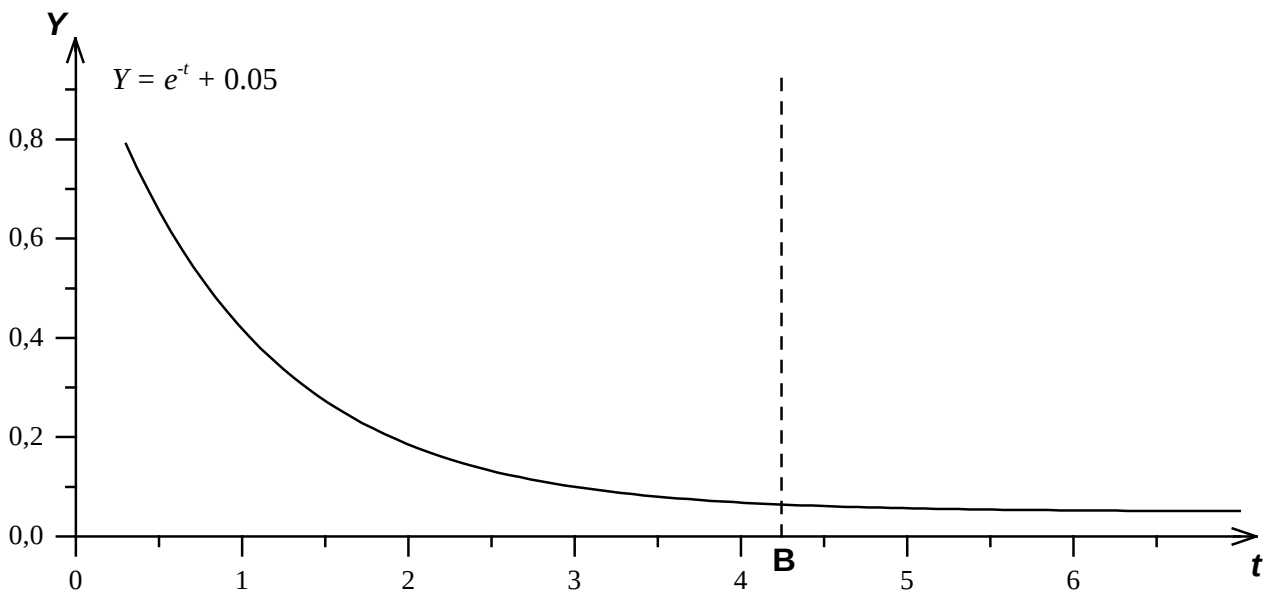


Рис. 18. Модельная зависимость экспоненциального закона (2.6). График сдвинут вверх по оси Y на 0.05 единиц для лучшего восприятия.

Область около нуля на графике соответствует эпохе Большого Взрыва, практически отвесный вид кривой говорит о сильном изменении начальных значений всех физических констант пропорционально сжатию геометрических единиц. Примерно до точки «В» мы наблюдаем дальнейший, но уже более медленный спад кривой, обусловленный значительным «разгоном» внутренних часов. Область после точки «В» соответствует «нашей физике», т.е. тем значениям «констант», которые мы сейчас наблюдаем. Далее функция идёт практически параллельно оси времени, что означает крайне медленное изменение физических параметров Вселенной с течением внутреннего времени t .

Для гипотетического наблюдателя, жившего в эпоху Большого Взрыва, секунды по его часам довольно быстро теряли бы в «весе». Вместе со стремительным раздуванием пространства его часы бы столь же стремительно «ускорялись». Вот почему оценки возраста нашей Вселенной по внутреннему времени, как и другие временные зависимости, абсолютно неадекватны, с точки зрения внешнего наблюдателя и наоборот.

Вычислим теперь современный «внутренний» диаметр Вселенной, используя равенства (3.2) и (3.10) теории геометрических инвариантов

$$l = \frac{1}{\alpha} = \sqrt{\pi/3} \frac{D_H}{l_p} \approx 1.7 \cdot 10^{61} \text{ м} \sim 2 \cdot 10^{36} \text{ млрд. св. лет.} \quad (5.2)$$

Эта поистине огромная величина «умещается» в начальном единичном масштабе внешнего пространства. С таким сжатием геометрических единиц связан ещё один интересный эффект видимого остывания Вселенной.

Известно, что сейчас вся наблюдаемая часть Вселенной заполнена микроволновым фоновым излучением, оставшимся от эпохи Большого Взрыва (рис.19).

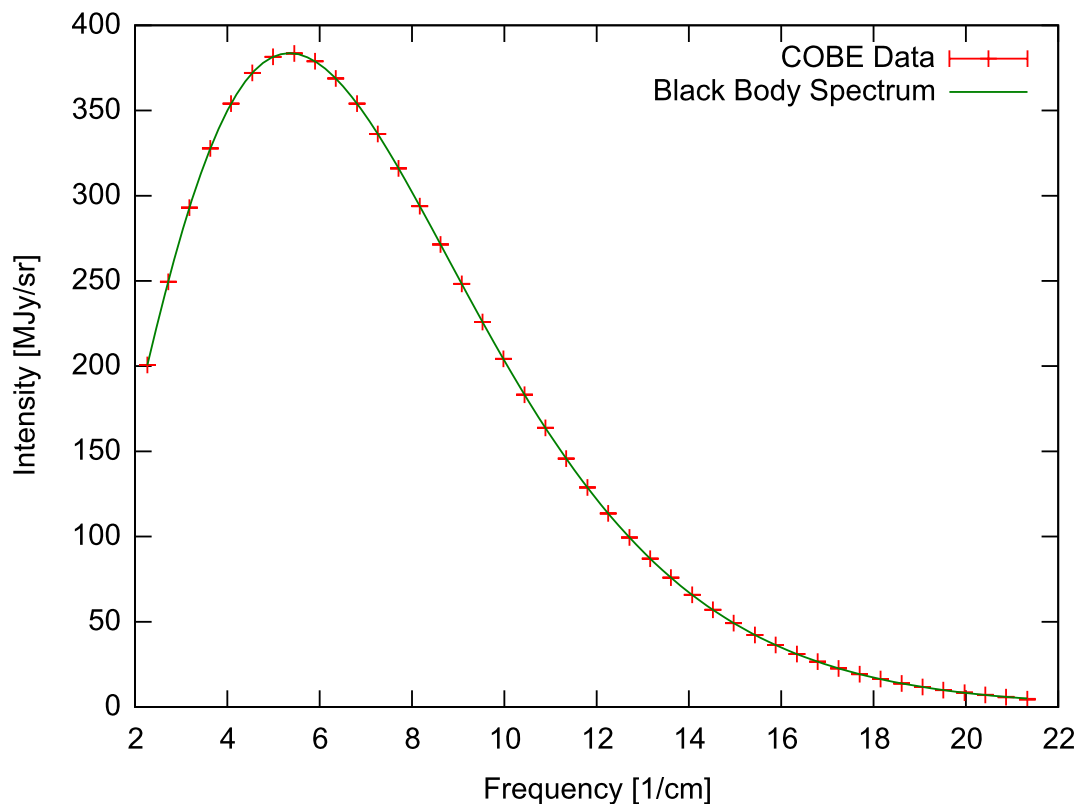


Рис. 19. Спектр космического реликтового излучения. Зависимость интенсивности от частоты (по данным COBE).

Это равновесное электромагнитное излучение, носящее название реликтового излучения, согласно стандартной модели остывало по мере «расширения» Вселенной (волны «растягивает» вместе с пространством), и к сегодняшнему моменту его температура составляет 2.725K, а максимум интенсивности приходится на длину волны 1.9 мм.

Данному эффекту имеется и другое объяснение. Вообще говоря, любая энергия рассчитывается с точностью до некоторой константы, т.н. «нулевого уровня». Таким уровнем является энергия вакуума. Поскольку «гравитационная накачка», с не меньшим успехом продолжает работать и сегодня, энергия вакуума растёт, и вместе со сжатием геометрических единиц мы также поднимаемся вверх по шкале энергий. В связи с этим гораздо правильнее считать, что с температурой (длинами волн) реликтового излучения на самом деле ничего не происходит, а вот наши часы и линейки «сплющиваются» в результате чего излучение, оставшееся от той далёкой эпохи, выглядит «сползающим» вниз по шкале частот относительно постоянно растущего уровня отсчёта энергии. Т.е. имеет место обратный процесс: остывает не излучение, а растёт температура нулевых колебаний вакуума и, соответственно, вещества. Сейчас эта температура на много порядков превосходит температуру Большого Взрыва.

Мы являемся жителями сингулярности и населяем область коллапсирующей материи. Вокруг нас раскалённые кипящие недра бывшей звезды, но являясь уровнем отсчёта энергии, они выглядят как физический вакуум.

Поскольку вакуум в нашей модели создаёт силу тяготения, вычислим теперь гравитационный радиус r_g (радиус Шварцшильда) для вакуумной сферы

$$r_g = G \frac{2m}{c^2}. \quad (5.3)$$

Эффективная (гравитирующая) масса вакуума, заключённая внутри сферы радиуса r_g определяется по формуле

$$m_{vac} = 2\rho_c \cdot V = \frac{H^2}{G} \cdot (r_g)^3,$$

подставив эту величину в (5.3) и разрешая равенство относительно r_g , получим

$$r_g = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{c}{H} \equiv \frac{1}{\sqrt{2}} R_H. \quad (5.4)$$

Т.е. вновь в выражении для наибольшей причинно-связанной области (горизонта событий) фигурирует радиус сферы Хаббла. Поскольку мы рассматриваем модель вращающейся сферы Хаббла, где вращение понимается в смысле вращения самого пространства, то решение вида (5.3) вызывает сомнения, поскольку неприменимо для вращающихся чёрных дыр. Здесь, скорее всего, следовало бы применить решение Керра (или даже использовать наиболее общую метрику Керра – Ньюмена) для вращающихся чёрных дыр.

Тем не менее, основной вопрос заключается в общей корректности применения этих метрик для внутренней (обратной) геометрии. Дело всё в том, что гравитационный радиус тела существует лишь во внешнем пространстве. Во внутреннем пространстве, как уже было показано, гравитационное притяжение вакуума полностью компенсируется полем инерциальных сил вращения и соответственно в масштабах Вселенной (или, по крайней

мере, сферы Хаббла), мы получаем простейшую евклидову геометрию. Поэтому физический смысл оценок типа (5.4), вообще говоря, не очень ясен.

Интересно также сравнить обсуждаемую здесь модель с известными «каноническими» моделями Вселенной. Так, согласно модели горячей Вселенной, частицы, находящиеся сейчас на расстояниях, не превышающих размера наблюдаемой области (10^{26} м), в эпоху Большого Взрыва находились на расстояниях порядка 10^{-5} м. А размер горизонта (причинно-связанной области) составлял 10^{-33} м, т.е. существовало огромное количество областей ($\sim 10^{90}$) не взаимодействующих между собой. Следовательно, в наше время должна была бы существовать заметная анизотропия реликтового излучения, чего в действительности нет.

Представленная здесь теория геометрических инвариантов автоматически решает вопрос о существенной однородности реликтового излучения. В начальный период существования Вселенной максимально возможный размер (диаметр области) равнялся минимально возможному, в силу особенностей начальной геометрии обратного пространства, поэтому в рассматриваемую эпоху в принципе не могло существовать причинно-несвязанных областей. Последнее подтверждается высокой однородностью наблюдаемого в наше время реликтового излучения (флуктуации не превышают 0.01%).

Другая проблема практически всех космологических моделей (в первую очередь Фридмана) не так очевидна, но очень важна. Вообще критерием несостоятельности любой физической теории может стать наличие т.н. «магических чисел», к которым должны сходиться вычисляемые значения от некоторых, абсолютно не связанных между собой (в рамках теории) величин. В этом случае начинают говорить о «непонятном, но чрезвычайно тонко настроенном балансе». Совершенно очевидно, что подобного рода балансы противоречат наблюдаемой нами удивительной стабильности мира, если конечно не впадать в мистицизм и не принимать всерьёз гипотезу о «разумном замысле». Иными словами, чем сложнее теория, чем больше независимых констант она содержит, тем меньше вероятность получить правильный результат. Потому так необходим поиск простого, устойчивого решения.

Данную точку зрения подтверждает и евклидовость пространства в космологических масштабах – мы вновь наблюдаем, что в природе реализуется наипростейший вариант из всех возможных. Фактически, каждый раз остаётся неизменным принцип «Бритвы Оккама»: не множить сущности без надобности. Таким образом, весь громоздкий математический аппарат ОТО не привносит ничего нового в космологическую модель, и мы бы имели классический пример того, как гора родила мышь, если бы не одно «но». Безо всяких на то математических оснований Эйнштейн вводит в свои уравнения космологическую постоянную, которая затем начинает фигурировать в основных уравнениях фридмановской модели. На самом деле это была догадка о вращении пространства Вселенной. Однако позже, космологическая постоянная абсолютно безосновательно стала отождествляться с плотностью энергии вакуума, и дело запуталось окончательно.

Так вот, если говорить о фридмановских моделях Вселенной, то там существует проблема «магического числа» в виде критической плотности. При этом реальная плотность материи, как показывают наблюдения, в принципе должна точно ему соответствовать. Эта плотность складывается из абсолютно независимых значений для плотностей барионного вещества, тёмной материи и тёмной энергии. Такое удивительное равенство суммы всех плотностей значению критической плотности совершенно необъяснимо в рамках стандартной теории, как необъяснимо и само «расширение» Вселенной.

Теория геометрических инвариантов строилась мной совсем по другому принципу. Она не изобретает ни новых констант, ни «магических чисел». И в противоположность каноническим теориям, отталкивается от известных экспериментальных фактов, пытаясь объяснить эти факты наипростейшим способом, сводя к минимуму «число степеней свободы» и объединяя уже существующие закономерности.

Так критическая плотность, с точки зрения теории инвариантов, не играет решающей роли в эволюции Вселенной и более того не является постоянной величиной. Все плотности

«тёмных сил» объединяются в единую плотность вакуума, которая (в условиях пустого пространства, а возможно и всегда) как раз и есть критическая плотность материи. Евклидовость пространства есть следствие его вращения в условиях гравитирующего вакуума, однако же, и то и другое непосредственно связано с нулевыми колебаниями электромагнитного поля. В прямом геометрическом пространстве мы имеем единую энергию, ответственную за все силы, которые с точки зрения наблюдателей из внутреннего (обратного) пространства выглядят как совершенно независимый набор неких «констант взаимодействий» и величин, дающих в результате те самые «магические числа». В действительности же всё невообразимое множество наблюдаемых явлений не более чем «игра», вызванная наличием гигантского обратного пространства Вселенной. Само раздувание пространства есть следствие сжатия геометрических единиц, которое, в свою очередь, объясняется работой гравитационных сил.

6. Заключение

Здесь была кратко представлена теория геометрических инвариантов, в приложении к проблеме космологической постоянной. Стоит заметить, что сведения по данной теории изложены в простейшем виде и не полном объёме, поскольку она постоянно развивается и совершенствуется автором. Применение теории геометрических инвариантов к космологическим моделям позволяет дать совершенно другое объяснение наблюдаемым процессам и явлениям во Вселенной, как на микро-, так и на макро-уровне. Далее приводится список ключевых моментов обсуждаемых в работе.

1. Вакуум является самогравитирующей средой с огромным положительным давлением и отрицательной плотностью энергии. С положительным давлением вакуума связана сила гравитационного притяжения, т.е. вакуум весит сам и оказывает гравитационное влияние на другие материальные тела. Тёмная материя есть проявление веса вакуума.
2. Вселенная имеет два сосуществующих геометрических пространства: прямое (внешнее) и обратное (внутреннее). Расширение внутреннего пространства Вселенной обусловлено сжатием единиц обратной геометрии. Этот процесс сопровождается постоянным продвижением вверх «нулевого уровня» отсчёта энергии, что выглядит аналогично «остыванию» Вселенной.
3. Единой энергии нулевых колебаний вакуума соответствует сразу две плотности: огромная плотность во внешнем «компактном» пространстве и плотность, более чем на 120 порядков меньшая, в огромном внутреннем пространстве. Во внутреннем пространстве плотность материи физического вакуума равна критической плотности вещества во фридмановских моделях.
4. Пространство вращается. Поле инерциальных сил, порождённое таким вращением, в точности компенсирует гравитационное притяжение вакуума. С этим же вращением связана плотность тёмной энергии, ложно приписываемая вакууму. Вес вакуума и инерциальное поле вращения пространства приводят к необычному поведению ротационных кривых галактик и наблюдению эффектов линзирования света в пустом пространстве возле вращающихся масс вещества.
5. Глобальные физические константы не сохраняют своего значения и дрейфуют по мере «раздувания» внутреннего пространства Вселенной.

Здесь отдельно не упоминалось о законах преобразования для полей потенциальных сил при переходе между геометрическими пространствами. Тем не менее, я приведу один интересный результат, полученный с помощью закона тяготения, если формально учесть в нём преобразование длины радиус-вектора. Для этого запишем закон тяготения в скалярной форме для обратного пространства

$$F = G \frac{mM}{r^2}, \quad (6.1)$$

где m – точечная масса, находящаяся в центральном гравитационном поле массы M (например, звезда, обращающаяся по периферии галактики), r – расстояние между массами в обратных геометрических единицах.

Вообще говоря, потенциальные силы не должны подвергаться преобразованиям, т.е. r в (6.1) всегда есть расстояние, выраженное в единицах внутреннего пространства. Но всё же перепишем данное выражение с учётом преобразования длины радиус-вектора r , а изменение гравитационной «постоянной» G напротив, учитывать не будем

$$F' = G \frac{mM}{r_0^2 \cdot e^{-2Ht}}, \quad (6.2)$$

далее возьмём отношение этих двух сил, где примем на начальный момент времени ($t = 0$) для величины r из (6.1) $r = r_0$, очевидно, что это равенство будет сохраняться и в любой другой момент времени, тогда

$$\frac{F'}{F} = e^{2Ht}. \quad (6.3)$$

Это отношение определяет относительное возрастание силы F' со сжатием геометрических единиц, но точно так же это отношение можно рассматривать, как появление в системе скрытой массы через некоторое время t . Поэтому подставим в (6.3) отношение плотностей тёмной материи и барионного вещества по оценке на сегодняшний день (см. рис. 1), т.е. примем $F'/F \approx 5.2$. И разрешая это уравнение относительно времени, найдём

$$t = \frac{1}{2H} \ln\left(\frac{F'}{F}\right) \approx 3.7 \cdot 10^{17} \text{ с} \approx 12 \text{ млрд. лет}, \quad (6.4)$$

что составляет средний возраст старейших шаровых звёздных скоплений из сферического гало нашей галактики и соответствует времени формирования самой галактики. Теперь уже (6.3) действительно выглядит как «накопление» скрытой массы в галактиках за время их существования.

Является ли полученное значение простым совпадением «больших чисел»? Или же (что в принципе также не очень логично) объясняется возрастанием веса вакуума через изменение гравитационной «постоянной», либо просто, – данный результат связан с особенностью современного определения плотности тёмной материи. Убедительного ответа я пока не нашёл. Вопрос остаётся открытым...

Список литературы

1. Эйнштейн А *Теория относительности. Избранные работы* (НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000)
2. Толмен Р *Относительность, термодинамика и космология* (Москва: Издательство «Наука», 1974)
3. Вайнберг С *Гравитация и космология* (Москва: Мир, 1975)
4. Вайнберг С *Проблема космологической постоянной* (Лекции имени Мориса Леба по физике в Гарвардском университете, 1988)
5. Планк М *Избранные труды* (Москва: Наука, 1975)
6. Хриплович И Б *Общая теория относительности* (Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001) с. 33-37
7. Мартинсон Л К, Смирнов Е В *Квантовая физика* (Москва: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2004) с. 20-31
8. Засов А В, Постнов К А *Общая астрофизика* (Фрязино: Век 2, 2006) с. 290-321, с 396-460
9. Зельдович Я Б *Теория расширяющейся Вселенной, созданная А. А. Фридманом* («Успехи Физических Наук», Том LXXX, вып. 3, 1963)
10. Ципенюк Ю М *Нулевая энергия и нулевые колебания: как они обнаруживаются экспериментально* («Успехи Физических Наук», Том 182, № 8, 2012)
11. R L Jaffe *The Casimir Effect and the Quantum Vacuum* (Massachusetts, Cambridge: Center for Theoretical Physics, Laboratory for Nuclear Science and Department of Physics Massachusetts Institute of Technology, 2005)
12. C M Wilson, G Johansson, A Pourkabirian, M Simoen, J R Johansson, T Duty, F Nori, P Delsing *Observation of the dynamical Casimir effect in a superconducting circuit* (Nature 479, 376-379, 2011)
13. Vera C Rubin, W Kent Ford, Norbert Thonnard *Extended rotation curves of high-luminosity spiral galaxies. Systematic dynamical properties, $S_a \rightarrow S_c$* (The Astrophysical Journal, 255: L107-L111, 1978)
14. Dan P. Clemens *Massachusetts - Stony Brook galactic plane co survey: the galactic disc rotation curve* (The Astrophysical Journal, 295: 422-436, 1985)