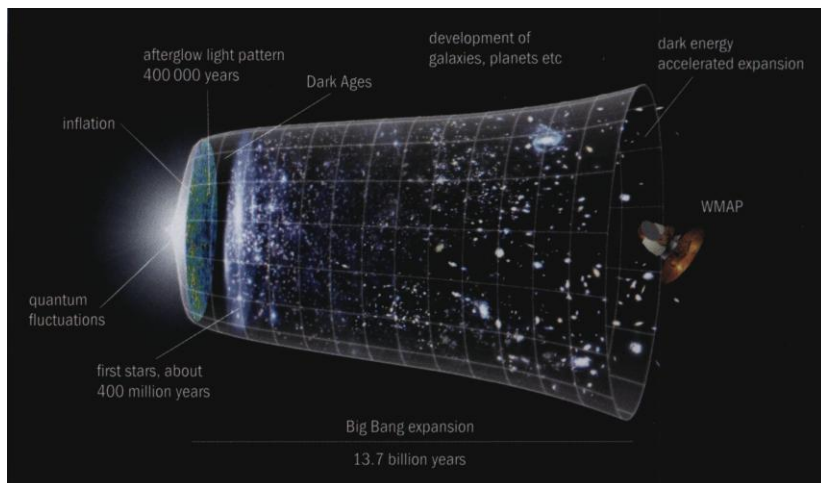


В.А.Трясучёв



Современная космология*

*В основе доклад, сделанный на «ЧЕТЫРНАДЦАТЫХ Духовно - исторических Чтениях памяти равноапостольных Кирилла и Мефодия » 11-14 мая 2004 года. г.Томск.

Глядя в ночное небо, каждый из нас задумывался о вечном и бесконечном. Вечное и бесконечное у нас ассоциируется с нависшей громадой «Млечного пути», космоса. А так ли уж вечна наша галактика, наша Вселенная? Ответить на этот вопрос человеку верующему не трудно, но не будем упрощать ответа.

«Не познав малого, не познаешь большого». Эти слова в полной мере относятся к космологии. До тех пор пока человеческий мозг не проник в «глубь вещей», не охватил понимание микромира, до тех пор мы не понимали макромир – Вселенную. Очень давно (по земным меркам) человечество довольствовалось «плоскими» изображениями дневных и ночных светил, ну скажем, на сферах изготовленных из «твёрдых материалов» (по Данте). Потом были Н. Коперник, Дж. Бруно, И. Ньютон, П. Лаплас, которые поставили понятие неба с головы на ноги и об этих важных открытиях знает каждый первоклассник.

И так, что же мы знаем о большом космосе, о Вселенной? Теми, кто смотрел на светящиеся объекты вооружённым глазом, было обнаружено, что не все они одинаковы. Среди них выделяли: метеоры, кометы, планеты, звёзды – раскалённые газовые шары, скопления звёзд – галактики, скопления галактик – метагалактики и т.д. Вооружившись спектрометрами люди к своему удивлению обнаружили, что все звезды удаляются

от Земли и от всей солнечной системы в целом (красное смещение). Удалялись от нас как отдельные звёзды, так и целые галактики. Если, как полагали в начале XX века, Вселенная однородна и изотропна, то в ней должны быть звезды и галактики, которые как приближались бы к нам – солнечной системе, так и удалялись бы от нас. Но сколько не искали, звёзд приближающихся к нам так и не нашли! Почему? Уж не потому ли, что все звёзды и галактики во Вселенной убегают от нас? Более того, было установлено, что галактики удалялись не только от нас, но и друг от друга. Подобные примеры в механике есть, так, например, обычный взрыв, во время которого расстояние между 2-мя любыми отслеживаемыми частицами будет только увеличиваться. Разбегание галактик не стало неожиданностью для учёных, правда мало кто знал о русском метеорологе Александре Фридмане и его решении в 1922 году неисправленного (без Λ члена) уравнения А. Эйнштейна, из которого следовало, что Вселенная расширяется, но это решение сам Эйнштейн признал неверным.

Оказалось, что не только все галактики удаляются одна от другой, но и скорости их удаления тем больше, чем дальше галактики находятся друг от друга. Отношения скоростей разлетания галактик к расстоянию между ними оказались почти одинаковыми для всех видимых

галактик, и оно получило название постоянной Хаббла (по имени американского астронома Э. Хаббла, обнаружившего и исследовавшего это удивительное явление) равной, приблизительно, 71 (км/сек)/ Мгпс (1 пс есть расстояние, проходимое светом приблизительно за 3,26 года). Что же за взрыв произошёл в нашей Вселенной и как давно? На последний вопрос есть довольно точный ответ из многочисленных источников: 13,8 миллиардов лет назад. Чтобы ответить на первый, вооружившись знаниями общего курса физики, последуем в горнило этого взрыва названного в астрофизике «Большим взрывом». Поскольку силы тяготения препятствуют разлетанию галактик, постольку раньше скорости галактик (и отдельных звёзд) были ещё больше, чем сейчас, а объём, который они занимали, был меньше нынешнего объёма. Пройдя 13,4 миллиарда лет назад по однообразной и нам знакомой Вселенной, мы увидим образование первых звёзд из газово-пылевых сгустков, а затем погрузимся во мрак, когда вещество равномерно распылено в виде электрически нейтральных атомов водорода и гелия, с небольшой примесью других лёгких элементов. Сгустков вещества уже не хватает для образования из них под действием гравитации звёзд и планет. Но чем ближе к «точке» Большого взрыва, тем больше плотность вещества и его кинетическая энергия – температура, тем быстрее

движется вся материя в начальную «точку» взрыва в обратном времени. При дальнейшем увеличении температуры и плотности, атомы часто (плотность большая) и «сильно» (температура высокая) сталкиваются друг с другом, теряя электроны из своих электронных оболочек. Заряженные атомы – ионы сосуществуют в равновесии со своими потерянными электронами. Гамма-излучение возникает в столкновениях заряженных частиц и исчезает благодаря поглощению его теми же частицами и образованию пар частица – античастица. Вселенная сначала начинает слабо светиться и уже скоро превращается в один огненный шар с веществом, которое сейчас есть в звёздах, и которое называется плазмой (четвёртое состояние вещества).

Однако ядра водорода и некоторые лёгкие ядра, на которых до сих пор «работают» звёзды, не есть первоматерия. Приблизившись к молодой Вселенной, которой исполнилось три минуты отроду, мы будем наблюдать высоко температурную плазму. Протоны с такой высокой температурой (энергией) преодолевают электростатическое отталкивание и сближаются до расстояния действия ядерных сил между ними. В результате ядерного взаимодействия протонов появляются ядра дейтерия, которые, взаимодействуя в свою очередь, приводят к образованию ядер гелия, лития и других лёгких

элементов. Вселенная в этот момент становится термоядерной бомбой или одной большой звездой. Эту фазу в развитии Вселенной называют «Большим взрывом нуклеосинтеза». При дальнейшем увеличении температуры и плотности, «вечные» ядра водорода - протоны «лопаются», выкидывая своё содержимое в «общей котёл». Состоят же протоны из частиц, называемых кварками, которые до этого удерживались в протоне благодаря сильному притяжению друг к другу за счёт наличия у них не электрических, а **цветовых** зарядов. Переносчиками взаимодействия между цветовыми зарядами кварков являются безмассовые глюоны (клей). *Теория взаимодействия кварков и глюонов носит название квантовой хромодинамики (цветодинамики).* Наступает эра кварков и глюонов (кварк - глюонная плазма – пятое состояние вещества), которая началась после того, как Вселенная прожила $\approx 10^{-5}$ с. В это время ни куда не исчезают γ -кванты, электроны, позитроны, нейтрино и другие не упомянутые здесь частицы-лептоны и существуют четыре разных взаимодействия между частицами: слабое, электромагнитное, сильное и гравитационное. *В настоящее время учёные создают условия на земле, где гораздо «жарче», чем в эпицентре термоядерного взрыва и поэтому становится возможным образование пятого состояния*

вещества. В лабораторных условиях (Брукхейвинская национальная лаборатория, США) наблюдают адронную материю: переходное состояние между обычными элементарными частицами и кварк-глюонной плазмой.

К этому моменту, называемому деконфайнментом адронов, физики-теоретики относят и восстановление нарушенной в наши дни киральной симметрии, когда большинство известных фундаментальных частиц (кварки, их античастицы, а также переносчики всех видов взаимодействия) становятся безмассовыми. Соответственно Вселенная становится радиационной. В возрасте Вселенной 10^{-12} с слабое и электромагнитное взаимодействия частиц объединяются в одно, называемое электрослабым взаимодействием и квантами этого взаимодействия становятся четыре бозона: фотон, Z^0 -, W^- -, W^+ - векторные мезоны. *Теория единого электромагнитного и слабого взаимодействий – электрослабого взаимодействия, созданная Ш. Глэшоу, С. Вайнбергом и А. Саламом, прекрасно подтверждена экспериментом. Обнаружены и изучены свойства квантов этого взаимодействия Z^0 - и W^- -, W^+ - бозонов, ставших массивными в наше время.*

Когда Вселенной $\approx 10^{-22}$ с, лептокварки – кванты некогда существовавшего электросильного

взаимодействия (см. ниже), по-видимому, стали распадаться преимущественно на кварки - лептоны, в то время как до этого момента они распадались с равной вероятностью как в антикварки - лептоны, так и кварки - лептоны, что вело к одинаковому на этом этапе количеству кварков и антикварков в Мире. То есть, во Вселенной, при движении в более ранние моменты её эволюции исчезает, избыток материи над антиматерией, из которого сейчас состоит всё вещество и, наконец, мы сами (барионная асимметрия Вселенной).

В момент близкий к 10^{-34} с электрослабое и сильное взаимодействия объединяются в одно, называемое электросильным взаимодействием. Квантами этого взаимодействия, как об этом говорилось выше, были лептокварки векторные частицы с дробным электрическим зарядом. После спонтанного нарушения симметрии или другого фазового перехода во Вселенной, связанного с изменением свойств вакуума, лептокварки стали очень тяжёлые ($\approx 10^{15}$ ГэВ/ c^2) и в настоящее время, если они все не распались, находятся в области энергий, недостижимой для ускорителей.

Теория, в которой негравитационные взаимодействия элементарных частиц объединены называется Теорией великого объединения (ТВО). Модель, в которой всё состоит из точечных кварков и лептонов, а негравитационные

взаимодействия элементарных частиц едины, называется Стандартной Моделью. Здесь следует заметить, что из ТВО следует нестабильность протонов: протоны должны спонтанно распадаться, например, в позитроны. Измеренное время жизни протона сегодня превышает 10^{33} лет, но возможно оно ещё больше, но не бесконечно.

Когда все негравитационные поля объединяются в единое, Вселенной исполнилось $\approx 10^{-36}$ с, а её температура была $\approx 10^{28}$ К.

Приблизившись вплотную к моменту Взрыва по временной и температурной шкале, мы не приблизились бы к «точке», в которой произошёл Взрыв. Размеры нашей Вселенной оказываются бóльшими, чем это следует из стандартной модели расширяющейся Вселенной Фридмана (проблема горизонта). Высокотемпературный взрыв перваначального нуклеосинтеза произошёл не в точке, а в объёме! Быстрое расширение полевой (без вещества) Вселенной произошло до событий, описанных выше. Проблема горизонта существовала в астрофизике 25 лет и была решена Алоном Гутом, который нашёл решение уравнения Эйнштейна с этапом быстрого расширения Вселенной в её очень раннем возрасте ($\approx 10^{-36}$ с). Быстрое расширение пространства занимаемого скалярным полем без изменения плотности энергии

теоретически было изучено ещё в начале прошлого века физиком де Ситтером (модели де Ситтера). Это расширение происходит экспоненциально быстро во времени и поэтому его называют раздуванием. Вселенная, заполненная полем, расширялась всего $\approx 10^{-35}$ с, но со средней скоростью порядка 10^{61} см/с. В результате, её размеры, стали почти такими, какими мы их находим сейчас. Раздувание – короткий по земным меркам, но важный период развития Вселенной, назван инфляционным, а изложенную гипотезу, называют инфляционной парадигмой, в силу того, что она стала общепринятой. Считается, что объединение трёх негравитационных взаимодействий предшествует в обратном времени началу инфляции!

В этот рассматриваемый момент частицы и кванты их взаимодействия ничем, кроме величины спина, не будут отличаться друг от друга. Гипотеза, по которой частицы материи и переносчики их сильных, слабых и электромагнитных взаимодействий – калибровочные бозоны, когда-то взаимодействовали друг с другом **на равных (!)**, называется суперсимметрией частиц. Согласно этой гипотезе, в очень ранний момент взрыва, раньше чем 10^{-35} с, существовала симметрия всех частиц: каждая известная частица с полуцелым спином (в единицах \hbar), фермион имела своего

партнёра с целочисленным спином, бозон. И наоборот. Однако по какой-то причине (?) суперсимметрия ранней Вселенной была нарушена и фермионы стали частицами, а не составные бозоны, калибровочные бозоны – переносчиками их взаимодействий: глюоны-сильных, Z и W бозоны – слабых, фотоны – электромагнитных. Судьба же суперпортнёров известных нам частиц, таких как нейтрино (нейтралино), кварка (скварка), фотона (фотино), глюона (глюино) и т. д. до сих пор неизвестна. Возможно, в результате какого то фазового перехода суперпортнёры ныне известных частиц обрели очень большую массу, и их обнаружение лежит за пределами энергий современных ускорителей. Но может быть суперпортнёры распались на известные нам частицы и больше не существуют. Если они всё-таки остались, то по одной из гипотез стабильные легчайшие суперпортнёры известных частиц есть, так называемые, слабо взаимодействующие массивные частицы, *WIMP*, из которых состоит тёмная материя Вселенной. Парадоксально, но это почти факт, что видимая (барионная) материя (межзвёздный газ, звёзды с планетами, галактики, метagalaktiki), о которой идёт речь в данном повествовании, составляет 4,5% от всей энергии Вселенной. *WIMP-сам* уделяется 23%, а 72% энергии Вселенной составляет антигравитирующая тёмная энергия Вселенной,

учитённая интуитивно Эйнштейном в своём уравнении космологическим членом Λ . Изучение тёмной энергии началось совсем не давно, в третьем тысячелетии новой эры, когда были получены астрономические данные об ускорении расширения нашей Вселенной, несмотря на существование гравитационного притяжения между телами. Это ускорение особенно стало заметным в последние 2-3 миллиарда лет. Расширение Вселенной с ускорением изображено на двумерной картинке её эволюции, взятой из журнала «*CERN COURIER*» и помещенной на обложке данной брошюры. Сейчас, пока можно сказать, что эта антигравитирующая материя заполняет равномерно всю Вселенную и тела в ней. Сила, которая «правит Миром», это сила отталкивания материальных тел, удалённых на большие расстояния. Наиболее правдоподобна гипотеза о тёмной энергии, как о вакууме Глинера, являющимся физическим обоснованием космологической постоянной Эйнштейна. (Э. Глинер – советский физик, давший физическое объяснение космологической постоянной с помощью введения однородной космической макросреды -- вакуума).

Чтобы продолжить движение «назад», в точку взрыва необходимо познакомиться с современным понятием вакуума, согласно которому вакуум не есть абсолютная пустота, а

характеризуется классическим медленно меняющимся скалярным полем ϕ , зависящим от температуры T и обладающим потенциалом самодействия $V(\phi)$. Это поле имеет огромную (внеземную) плотность энергии. Сейчас под тривиальным вакуумом в физики понимают минимум энергии поля ϕ , достигаемый при $\phi = 0$. Однако, минимум энергии поля ϕ может оказаться и при значениях поля ϕ отличных от нуля, например при $\phi = \phi_0$, в зависимости от вида потенциала самодействия $V(\phi)$ (хиггсовский вакуум, например, модель $V(\phi) \sim \phi^4$). В последнем случае вакуум приобретает свойства поля ϕ_0 , переставая быть пустотой. Многие физики сходятся на том, что вакуум и тёмная энергия это одно и то же. Носители скалярного поля нашей Вселенной возможно есть «легендарные» бозоны Хиггса (но это не обязательно), масса которых оценивается больше, чем $150 \text{ ГэВ}/c^2$ и для поиска, которых проектируется мощный ускоритель со встречными $\mu^- - \mu^+$ пучками с энергией по 500 ГэВ.

То, что наша Вселенная была горячей (Георгий Гамов 1930-е годы) подтверждает открытие реликтового γ -излучения с температурой $T = 2,725 \text{ К}$ американскими радиоастрономами А. Пензиасом и Р. Вильсоном в 1965 году. Но кто же подогрел нашу Вселенную? Версия разогрева с помощью энергии вакуума нашей холодной Вселенной по Андрею Линде такова. Раздувание

Вселенной приводило к изменению поля ϕ и заканчивалось, по-видимому, при достижении полем минимума со значением ϕ_0 . После достижения минимума, поле начинало колебаться около положения равновесия ϕ_0 , рождая пары частиц-античастиц больших энергий $\sim 10^{15}$ ГэВ, которые за очень короткое время успели всё же прийти в квазиравновесное состояние и Вселенная разогревается до температуры $\sim 10^{28}$ К, становясь однородной и изотропной в больших масштабах, какой мы её знаем сейчас. Источником гигантской энергии является само скалярное поле; скрытая теплота $\sim (\phi^2 - \phi_0^2)$ пошла на мгновенный (10^{-35} с) разогрев Вселенной. Разогрев большого объема полевой материи и есть «Большой взрыв». Последствия этого взрыва – большой взрыв нуклеосинтеза и последовавшее за ними охлаждение вещества до образования атомов. Медленное расширение и остывание нашей Вселенной привело за 14 миллиардов лет (которые мы быстро прошли в обратном направлении) к зарождению звёзд, планет и развитию (до разумной) жизни в ней.

Продолжая движение «назад» в доинфляционный период мы будем вынуждены рассмотреть вопрос об объеме Вселенной. Откуда он взялся? Дело в том, что пространство (и его объем) появилось в процессе расширения Вселенной, вместе с Вселенной, а не существовало

само по себе. Увеличение плотности энергии при **нулевой** температуре (т.к. мы рассматриваем период перед разогревом) и уменьшение без того малого объёма Вселенной, мы будем наблюдать до момента времени 10^{-43} секунды, так называемого планковского времени. К этому моменту линейные размеры Вселенной станут равными 10^{-33} см по всем трём измерениям, а плотность энергии – огромной, но конечной и ни общая теория относительности, ни квантовая механика, по отдельности, не могут нам дать ответа на вопрос, что происходит со Вселенной в этот период. Огромная энергия гравитации и малые размеры требуют подхода, нарождающейся сегодня теории, квантовой гравитации. Объединение гравитационного и электросильного взаимодействий в рамках квантовой гравитации требует отказа от непрерывности пространства и, как следствие, точечности фундаментальных частиц, что делается в теории суперструн или просто теории струн.

Вот версия теории суперструн. Когда уменьшающиеся размеры Вселенной достигнут планковских, три её пространственные размерности и одна временная станут скрученными размерностями с радиусами 10^{-33} см (10^{-43} с). *Теории Калуцы – Клейна – квантовые теории со скрученными размерностями.* Кроме того, полагают, что семь таких скрученных

размерностей уже существует в кванте пространства-времени, из которых состоит сегодняшнее наше пространство-время. В результате Вселенная превратится в планковский домен – область, в которой все, согласно теории струн, $4+7$ (!), размерностей скручены и определённым образом **упакованы**. Вариантов упаковок такого пространства, которые математики называют пространствами Калаби-Яу, трудно выразить даже значением логарифма этого числа, настолько их много. Сегодня мы мало что знаем об планковских доменах с их упаковкой и с колоссальной энергией в них.

И так, **нулевого момента и точки взрыва** нет, а существовал планковский домен праматерии со времени 10^{-43} секунды, размерами $(10^{-33}$ сантиметра)³ и планковской плотностью энергии 10^{93} г/см³. В результате **квантовой флуктуации, которая не закончилась благополучно**, три пространственных размерности и одна временная из 11 имеющихся в домене развернулись, и образовалось наше четырёхмерное пространство – время. То, что четыре размерности расширились до гигантской величины ($R = 10^{28}$ см — радиус Вселенной, $T = 13,8$ миллиардов лет — её возраст), мы видели, когда рассматривали инфляционный и после инфляционный периоды развития Вселенной. Почему 4 из 11 скрученных размерностей развернулись, и какой осталась

упаковка 7 оставшихся скрученными размерностей пространства Калаби-Яу? Ответы на эти вопросы содержит ответы на вопрос, почему наш Мир такой, а не другой; будем надеяться, что они будут получены уже в XXI веке!

Из выше сказанного следует, что, в принципе, возможны «раздувающиеся» физические области поля с развёртыванием другого числа размерностей и другие стабильные хиггсовские вакуумы. Это будут другие вселенные, с другими свойствами, не похожими на свойства Нашей. *Так в некоторых вселенных могут развернуться не одна, а две временных размерностей, или даже три. Что это за мир?* Пока есть основания считать, что разные пузыри-Мультивселенной не перекрываются друг с другом и нам (нашим потомкам) не удастся узнать о законах других вселенных Мультивселенной.

Не исключено, что во Вселенной целенаправленно всё выше перечисленное развивалось для создания *homo sapiens*, и теперь Вселенная знает о нашем существовании (антропный (антропологический) принцип в космологии). Сам автор на этот счёт придерживается другого «принципа», выраженного известным отечественным поэтом:

«... И с высокой сетки птичьей,
От лазурных влажных глыб
Льётся, льётся безразличие
На смертельный твой ушиб».