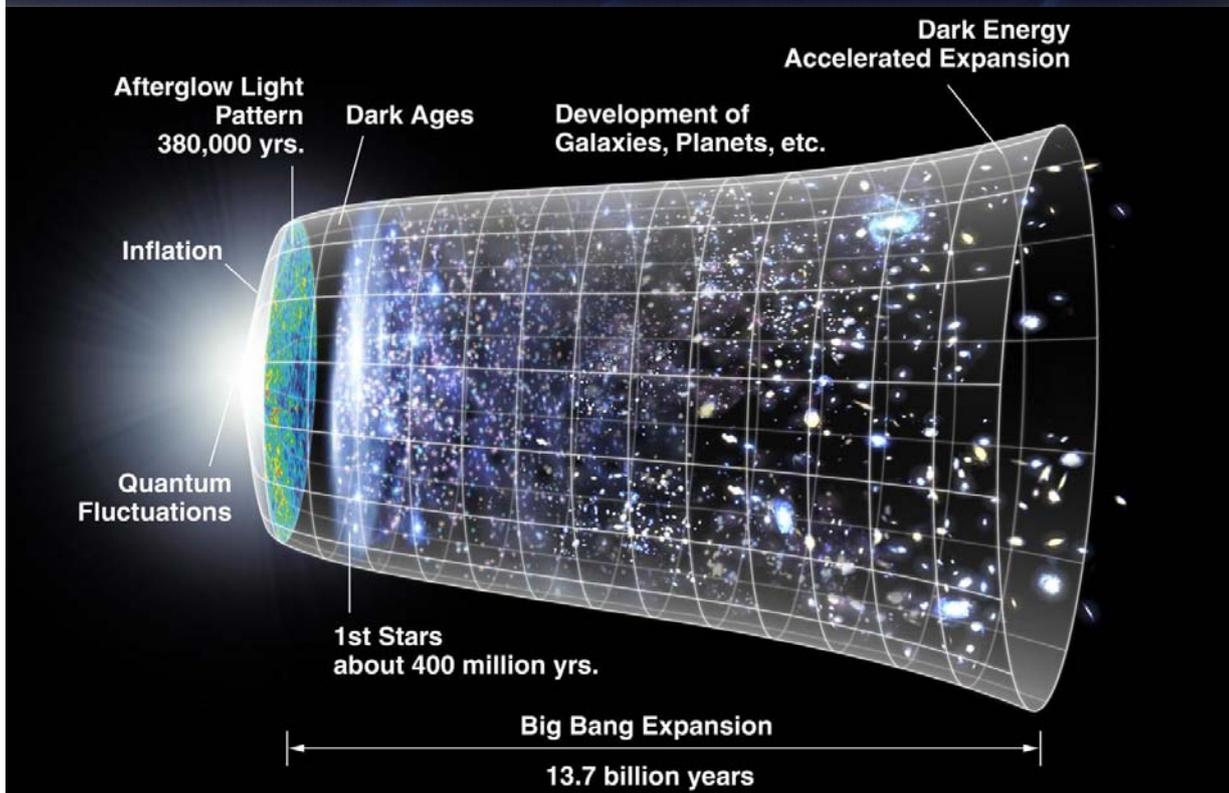
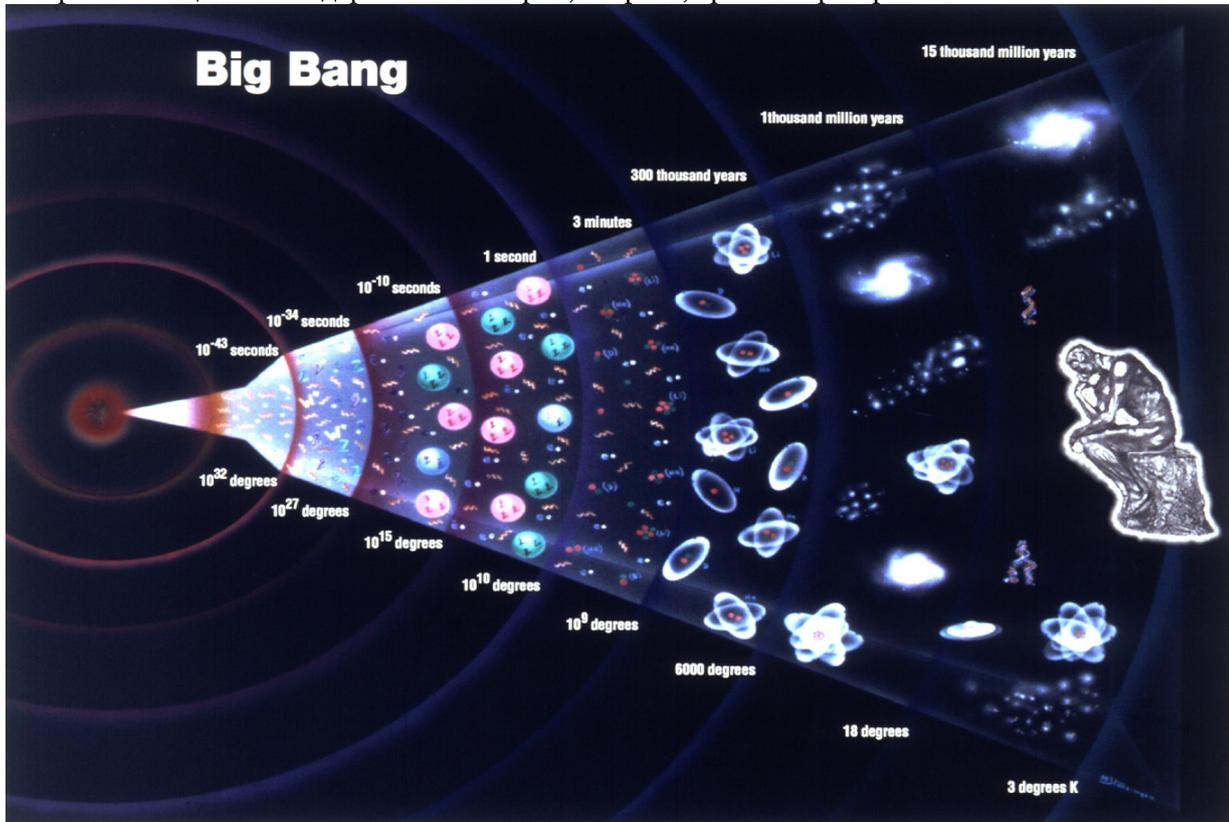


Лекция 3. ТЕОРИЯ СОЗДАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

*Беспорядок растёт со временем,
потому что мы измеряем время в направлении,
в котором растёт беспорядок.
Стивен Хокинг*

Материалисты всегда утверждали, что Вселенная вечна. Однако, физическая теория «первоначального взрыва» утверждает, что Вселенная, не существовавшая ранее, возникла из некой первоначальной точки, в которой потенциально содержались материя, энергия, время и пространство.



Чем-то эта физика напоминает библейскую историю сотворения мира.

Большой взрыв (Big Bang) — космологическая модель, описывающая раннее развитие Вселенной, т.е. начало расширения Вселенной, перед которым Вселенная находилась в сингулярном состоянии.

Космологическая сингулярность — состояние Вселенной в определённый момент времени в прошлом, когда плотность энергии (материи) и кривизна пространства-времени были очень велики — порядка планковских значений. Это состояние, вместе с последующим этапом эволюции Вселенной, пока плотность энергии (материи) оставалась

высокой, называют Большим Взрывом. Эта сингулярность является одним из примеров гравитационных сингулярностей, предсказываемых общей теорией относительности, ОТО. Возможность возникновения этой сингулярности при продолжении назад во времени любого решения ОТО, описывающего динамику расширения Вселенной, была доказана в 1967 Стивеном Хокингом. Он писал: "Результаты наших наблюдений подтверждают предположение о том, что Вселенная возникла в определённый момент времени. Однако сам момент начала творения, сингулярность, не подчиняется ни одному из известных законов физики". Например, не могут быть одновременно бесконечными плотность и температура, т. к. при бесконечной плотности мера хаоса стремится к нулю, что не может совмещаться с бесконечной температурой. Существования космологической сингулярности - серьёзная проблема физической космологии. Сведения о событиях после Большого Взрыва не дают нам никакой информации о том, что происходило до этого. Попытки решения проблемы существования этой сингулярности идут в нескольких направлениях: 1) считается, что квантовая гравитация даст описание динамики гравитационного поля, свободного от сингулярностей, 2) учёт квантовых эффектов в негравитационных полях может нарушить условие энергодоминантности, на котором базируется доказательство Хокинга, 3) предложены теории гравитации, в которых сингулярность не возникает, т. к. предельно сжатое вещество начинает расталкиваться гравитационными силами, а не притягиваться друг к другу.

Эдвин Хаббл в 1929 г. показал, что величина эффекта Доплера (зависимость длины волны света от скорости источника света, здесь «красное смещение»), наблюдаемого в световом спектре удалённых галактик, возрастает пропорционально расстоянию до галактики от Земли. Эта пропорциональная зависимость – закон смещения Хаббла. Поскольку более далекие галактики кажутся более «красными», то предположили, что и удаляются они с большей скоростью. Разбегаются не звезды и даже не отдельные галактики, а скопления галактик. Ближайшие от нас звезды и галактики связаны друг с другом гравитационными силами и образуют устойчивые структуры. Важно, что в любом направлении скопления галактик разбегаются от Земли с одинаковой скоростью, и может показаться, что наша Галактика является центром Вселенной, однако это не так. Где бы ни находился наблюдатель, он будет везде видеть одну картину – все галактики разбегаются от него.

Такой разлёт вещества обязан иметь начало. Значит, все галактики должны были родиться в одной точке (точнее – в первоначальном объёме 10^{-99} см³).

Описание сверхбыстрого инфляционного расширения Вселенной основано на общей теории относительности Эйнштейна и квантовой теории поля.

Согласно теории Большого Взрыва, наблюдаемая нами сейчас Вселенная возникла $13,77 \pm 0,059$ млрд лет назад из некоторого начального сингулярного состояния и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается. Наиболее ранним моментом считается момент Планковской эпохи с температурой $\sim 10^{32}$ К (Планковская температура) и плотностью $\sim 10^{93}$ г/см³ (Планковская плотность). В первые мгновения своей жизни Вселенная имела размер 10^{-27} см. Ранняя Вселенная представляла собой высокооднородную и изотропную среду с необычайно высокой плотностью энергии, температурой и давлением. В результате расширения и охлаждения во Вселенной произошли фазовые переходы, аналогичные конденсации жидкости из газа, но применительно к элементарным частицам. Расширение продолжалось 10^{-35} с, но этого времени достаточно для того, чтобы диаметр Вселенной возрос в 10^{27} раз и к окончанию инфляционного периода наша Вселенная приобрела размер ~ 1 см. Через $\sim 10^{-35}$ с после наступления Планковской эпохи (Планковское время – 10^{-43} с после Большого взрыва) фазовый переход вызвал экспоненциальное расширение Вселенной. Этот период получил название Космической инфляции.

Область, занятая инфлатонным полем, разрасталась со скоростью, существенно большей скорости света, что не противоречит теории относительности. Быстрее света не могут двигаться лишь материальные тела, а здесь двигалась нематериальная граница области, где рождалась Вселенная.

Инфляция заканчивается, когда инфлатонное поле достигает минимума энергии. При этом накопившаяся кинетическая энергия перешла в энергию рождающихся и разлетающихся частиц. После окончания этого периода вещество Вселенной представляло собой кварк-глюонную плазму. По прошествии некоторого времени температура упала до значений, при которых стал возможен следующий фазовый переход - бариогенезис. На этом этапе кварки и глюоны объединились в барионы (протоны и нейтроны). При этом одновременно произошло асимметричное образование как материи, которая превалировала, так и антиматерии. Они аннигилировали, превращаясь в излучение.

Дальнейшее падение температуры (когда возраст Вселенной достиг 1 мин, а температура упала до 10^{10} К), что привело к следующему фазовому переходу – образованию физических сил и элементарных частиц в их современной форме. Наступила эпоха нуклеосинтеза, при которой протоны, объединяясь с нейтронами, образовали ядра дейтерия, гелия-4 (~98% существующего в природе гелия образовалось в первые секунды после Большого взрыва; через несколько минут структура Вселенной стала той же, что и сегодня: одна четверть гелия и три четверти водорода) и ещё нескольких лёгких изотопов. Через 15 минут после Взрыва радиус Вселенной уже составлял 100 световых лет (330 тыс. км), а температура была 300 миллионов градусов. Это слишком горячо, чтобы вокруг ядер сформировались атомы; для этого потребовалось ещё ~1 миллион лет охлаждения Вселенной. Через это время Вселенная стала настолько холодной (её температура упала ниже +3000°С по Цельсию), что излучение и вещество разделились.

После дальнейшего падения температуры и расширения Вселенной наступил момент, при котором гравитация стала доминирующей силой. Она сдержала возникшую после Большого Взрыва тенденцию к быстрому расширению, однако окончательно остановить этот процесс и добиться обратного сжатия не смогла. Хотя ранняя Вселенная была почти однородна, в ней присутствовали небольшие флуктуации, приведшие к возникновению участков с избыточной плотностью. Гравитационные эффекты усилили эту неоднородность, и через миллиард лет начали образовываться сгустки вещества, которые стали галактиками и звездами. В глубинах звезд снова пошли ядерные реакции, поскольку сжимающая сила гравитации разогрела ядра звезд

свыше температуры их воспламенения. Водород, сгорая, превращался в гелий, и когда исчерпалось это топливо, началась цепь более тонких и сложных реакций, которые привели к дальнейшему выделению энергии и образованию более тяжёлых элементов, вплоть до железа. Элементы выше железа синтезировались β -распадом.

Через 380 тысяч лет после Большого взрыва температура снизилась настолько, что стало возможным существование атомов водорода (до этого процессы ионизации и рекомбинации протонов с электронами находились в равновесии). После эры рекомбинации материя стала прозрачной для излучения, которое, свободно распространяясь в пространстве, дошло до нас в виде реликтового излучения с очень низкой температурой $\sim 2,7\text{K}$ (энергия реликтового излучения в 10^4 раз меньше энергии, заключенной в массивных элементарных частицах).

По мере расширения менялся и состав материи. Вселенная заполнилась элементарными частицами — протонами, нейтронами, электронами, нейтрино и фотонами. Возникли также античастицы. Свойства частиц и античастиц практически идентичны. Казалось бы, и количество их должно быть одинаковым. Но тогда все частицы и античастицы взаимно уничтожились бы и строительного материала для галактик не осталось бы. Но Природа позаботилась о том, чтобы частиц было немного больше, чем античастиц. Именно благодаря этой небольшой разнице и существует наш мир. А реликтовое излучение — последствие аннигиляции частиц и античастиц.

Образование галактик началось спустя миллиард лет после Большого Взрыва. К этому времени вещество успело охладиться до температур порядка нескольких сотен градусов, и стали появляться стабильные участки плотности среди облаков газа, равномерно заполнявших космос. Началось сжатие этих участков. Продолжая сжиматься и теряя при этом энергию на излучение, уплотнившееся вещество в результате своей эволюции превращалось в современные галактики, в которых началось образование звезд. Наиболее массивные звезды, сформировавшиеся в самом начале, прошли быструю эволюцию, при которой водород превращался в более тяжёлые элементы (в том числе, углерод и кислород), а вновь образованное вещество выбрасывалось в окружающее пространство. Этот «пепел» подвергался локальному сжатию, приводящему к рождению новых звёзд, и процесс повторялся снова. Солнце — звезда второго или третьего поколения. Сжатие, в результате которого образовалось Солнце, вызвано сверхновой звездой, которая, взорвавшись, сообщила движение межзвездному веществу до тех пор, пока за счёт тяготения не сформировалось стабильное облако, продолжавшее сжиматься, превращая собственную энергию сжатия в тепло. Вся эта масса начала нагреваться, и за 10 миллионов лет температура внутри облака достигла ~ 15 млн. градусов. К этому времени термоядерные реакции шли полным ходом, и процесс сжатия закончился. Примерно в это время (около 6 млрд. лет назад) и родилось Солнце.

Солнце в то время было окружено обширным облаком пыли, состоящей из песчинок графита и кремния, а также оксидов железа, смержшихся вместе с аммиаком, метаном и другими углеводородами. Столкновение этих песчинок привело к образованию камней побольше, диаметром до нескольких сантиметров. Все эти песчинки и камни были рассеяны по комплексу колец вокруг Солнца. Постепенно камни и песчинки объединялись в большие тела типа астероидов, заполняющих и сегодня пространство между Марсом и Юпитером и имеющих диаметр до нескольких километров. Нестабильной оказалась и система астероидов, и они так же, как и пылинки, начали притягиваться друг к другу и образовывать планеты.

Вопрос: а что будет дальше?

Если плотность энергии во Вселенной мала (меньше некоторого критического значения), то она будет вечно расширяться и постепенно остывать. Если же плотность энергии больше некоторого критического значения, то стадия расширения сменится стадией сжатия. Вселенная будет сжиматься в размерах и нагреваться. Поэтому ключевым параметром, определяющим развитие Вселенной, является средняя плотность энергии. Астрофизические наблюдения, проводимые до 1998 г, показали, что плотность энергии составляет 30% от критического значения. Это противоречило инфляционной модели, которая предсказывала, что плотность энергии должна быть равна критической. В конце 20-го века была обнаружена тёмная энергия и тёмная материя (скрытая масса), что устранило это противоречие.

Возможно, что тёмная энергия — это энергия самого вакуума.

Обнаруженное небольшое отклонение разбегающихся галактик от закона Хаббла объяснили существованием положительной энергии вакуума, которая однородно распределена в пространстве. Вакуум — отсутствие частиц, но не только частицы обладают энергией. Энергия вакуума положительна и не меняется со временем, поэтому Вселенная никогда не сожмется. Количество галактик, видимых с Земли, будет уменьшаться, и через ~ 10 млрд. лет в распоряжении человечества останется всего несколько соседних галактик, включая нашу — Млечный Путь, а также соседнюю Андромеду. Впрочем, несколько сотен миллиардов звёзд, которые будут тогда нам доступны, — тоже немало. Звёзды будут «умирать», но будут образовываться и новые. Этот процесс не бесконечен — через 10^{14} лет во Вселенной останутся только слабосветящиеся объекты — белые и темные карлики, нейтронные звезды и чёрные дыры. Почти все они также погибнут через 10^{37} лет, исчерпав запасы энергии. К этому моменту останутся лишь чёрные дыры, поглотившие всю остальную материю. Они медленно, но излучают частицы и их масса постепенно уменьшается. Все чёрные дыры исчезнут через 10^{100} лет. После этого останутся лишь элементарные частицы, расстояние между которыми будет намного превосходить размеры современной Вселенной (примерно в 10^9 раз). Останется и энергия вакуума, которая будет доминировать во Вселенной.

Подобные представления о сотворении мира ничего не говорят о том, что было до Большого взрыва, не знают они и того, что, собственно, взорвалось, и каким способом удалось разогреть Вселенную до температуры $> 10^{13}\text{K}$. Основы теории (эффект Доплера, да и вся общая теория относительности) довольно сомнительны.

Теории расширяющейся Вселенной противостоит теория стационарной Вселенной, согласно которой Вселенная эволюционирует и не имеет ни начала, ни конца во времени. Красное смещение (эффект Доплера), на котором базируется теория расширяющейся вселенной, объясняется старением света.

Теория старения света — гипотеза, выдвинутая в качестве альтернативного объяснения зависимости красного смещения от расстояния до объекта. В отличие от теорий Большого взрыва и стационарной Вселенной, эти гипотезы не предполагают расширения Вселенной. Предполагается, что фотоны теряют энергию в результате взаимодействия с гравитационным полем.

В теориях вечной инфляции картина Большого взрыва соответствует положению лишь в наблюдаемой нами части Вселенной (Метагалактике), которая не исчерпывает всю Вселенную. Возможно ответ на вопрос о существовании и происхождении начальной сингулярности даст теория квантовой гравитации. При создании физических теорий возникновения Вселенной, следует учесть возможность сложных соотношений между Метагалактикой и Вселенной в целом и даже между отдельными метагалактиками: в столь больших объемах пространства принципы евклидовой геометрии неприменимы.

Теория Большого Взрыва не менее фантастична, чем библейская теория сотворения мира. но сейчас мы на этом останавливаться не будем. С точки зрения рассматриваемой в данном курсе лекций идеологии, важно, что Свобода (анархия), появившаяся после Большого Взрыва (после создания Пространства и физического вакуума) дала возможность действовать Законам (Властелину, в пределе – монархии). Как только возникло Время и порядок стал непрерывно меняться, он приближается к Закону, но никогда с ним не совпадёт.