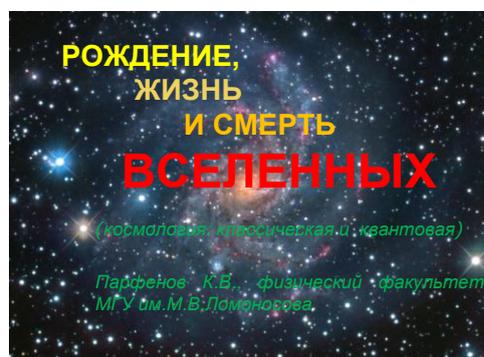


РОЖДЕНИЕ, ЖИЗНЬ И СМЕРТЬ ВСЕЛЕННЫХ
(космология классическая и квантовая).



Заглавие этого рассказа может показаться чересчур претенциозным. Даже самонадеянным – для человека, живущего на одной из планет весьма обычной Солнечной системы в одном из рукавов довольно стандартной галактики Млечный путь. Между тем сегодня мы не так уж мало знаем о том, как устроен окружающий мир. Более того, законы физики - особенно **физики микромира**, оказались очень тесно связаны с «глобальными» свойствами «большого» мира – нашей Вселенной.

Следует осознавать, что основная проблема изучения Вселенной состоит в том, что нашему экспериментальному исследованию доступна лишь часть ее, более того – как мы увидим в дальнейшем, эта часть может быть очень малой. Поэтому давайте сразу договоримся принять одну идею, которая поможет нам преодолеть эту сложность. Нам следует **предположить**, что свойства Вселенной примерно одинаковы в разных ее частях. Тогда мы можем считать, что в местах, недоступных нашему изучению, она мало отличается от того, что мы видим в доступной области. Говоря научным языком, мы предполагаем, что Вселенная является **однородной** (одинаковой во всех областях) и **изотропной** (одинаковой по всем направлениям от нашей области).



На больших расстояниях движение тел в основном определяется

ЗАКОНОМ ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ:

$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \vec{r}$$

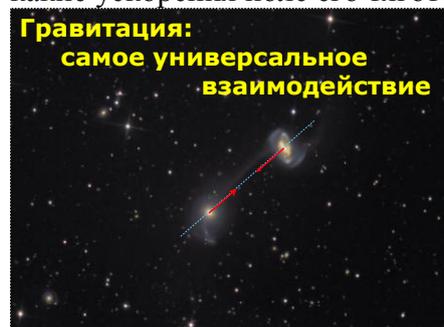
Попытки изучения устройства мироздания предпринимались земными исследователями очень давно. В физике первой формализованной моделью строения Вселенной можно считать модель Лапласа, построенную на основе ньютоновской механической картины мира. В этой модели считается, что на больших расстояниях взаимодействие объектов мира – планет, звезд, галактик – в основном определяется гравитационным притяжением, которое описывается законом всемирного тяготения. Движение этих объектов определяется решением уравнений, следующих из законов Ньютона. Хорошо известно, что движение – относительное понятие: произнося слова «тело движется» или «тело покоится», мы должны обязательно указывать, относительно какого тела отсчета наблюдается это движение. Однако в ньютоновской Вселенной понятию движения можно придать абсолютный смысл. Если считать, что вся материя сосредоточена во Вселенной, и все материальные объекты взаимодействуют только между собой, то должен существовать «центр мира» - центр масс всей материи Вселенной, и выделенная «абсолютная» система отсчета, с ним связанная. Это

означает, что существуют некое «вместилище» всех тел и событий, то есть абсолютные пространство и время.

Вселенная – облако движущейся материи, удерживаемое силами тяготения.

Существует «центр мира», находящийся в состоянии абсолютного покоя, вокруг которого вращается вся материя Вселенной.

Ньютоновская картина мира, в которой наша Вселенная описывается как облако движущейся материи, позволяет изучать ее свойства уже довольно детально. Главное ее достижение – поэтапное понимание «устройства» видимой части Вселенной. Основу такого понимания составляют измерения расстояний и масс всех видимых объектов. Сначала мы (на основе наблюдений и геометрии) можем измерить расстояние до относительно близких объектов – Луны, Солнца и ближайших звезд – таких, для которых мы наблюдаем изменение их положения на небе во время движения Земли по орбите. Мы можем также произвести «взвешивание» многих объектов. Например, массу Солнца мы можем определить по тому, какие ускорения поле его тяготения сообщает планетам.



При наблюдении в космосе объектов, связанных силами тяготения, мы можем определить их массу по ускорениям, с которыми они движутся.

<При достаточной подготовленности аудитории можно продемонстрировать вычисление, лежащее в основе этого метода: например, для двойной системы:

Из уравнений для центростремительных компонент ускорения и геометрии системы (вращение с неизменным расстоянием возможно только в том случае, когда орбиты звезд при вращении вокруг общего центра масс – круговые с радиусами, которые обозначены далее r_1 и r_2):

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \omega^2 r_1 = \frac{G m_1 m_2}{L^2} \\ m_2 \omega^2 r_2 = \frac{G m_1 m_2}{L^2} \\ r_1 + r_2 = L \end{array} \right\} \Rightarrow \omega^2 L = \frac{G(m_1 + m_2)}{L^2} \Rightarrow M \equiv m_1 + m_2 = \frac{\omega^2 L^3}{G}$$

(здесь L - расстояние между «компаньонами», а ω - угловая скорость их вращения вокруг общего центра).>

Но что делать со «слишком далекими» объектами? Астрономы решили взять за основу простую идею: считать, что объекты, которые светят одинаково, похожи друг на друга. Здесь надо сделать одно важное отступление. «Одинаковость» свечения – не такое простое понятие. Многие из Вас знают, что «белый» свет можно разложить на составляющие его цветные «составляющие» (мы наблюдаем это, когда видим радугу) – то есть разложить в *спектр*. Спектр света, излучаемого каждым объектом, очень строго привязан к его свойствам. Например, атомы каждого химического элемента имеют свой, строго определенный спектр излучения. И мы можем отличить по излучению атом одного элемента от атома другого, как криминалисты различают людей по отпечаткам пальцев. На этом основан метод *спектрального анализа*, с помощью которого по излучению тела можно узнать его химический состав. Так законы физики микромира, описывающие поведение

атомов, помогают нам познавать «большой» мир. Теперь ясно, что «одинаковость излучения» - это в первую очередь одинаковость спектра. Объект с известными свойствами можно считать неким «эталоном» (астрономы используют красивый термин «*стандартная свеча*»), и переносить его свойства на объекты с таким же излучением (например, считать их массы и поток излучаемой энергии примерно одинаковыми). Потом по «регистрируемому» потоку излучения можно узнать расстояние до каждого такого объекта, и постепенно выстроить подробную картину распределения материи в наблюдаемой части Вселенной. Плотность «рассеянной» материи (облаков газа и пыли) можно определять, наблюдая за тем, как она влияет на проходящие сквозь нее излучения. Итогом этой большой работы стало определение плотности массы *видимого* (то есть испускающего или рассеивающего свет) *вещества* и *невидимой (темной) материи* (то есть материи, которая обнаруживается только по создаваемому полю тяготения). Это исследование с неплохой точностью подтверждает идею об однородности и изотропности Вселенной.

Однако серьезная экспериментальная основа для построения космологических моделей появилась только в 20 веке, после открытия *расширения Вселенной*. И в этом открытии важную роль сыграл спектральный анализ.

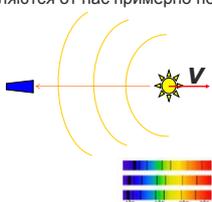
**Первое открытие:
закон Хаббла**

Дальние галактики удаляются от нас примерно по лучу зрения:

$$T = T_0 + \frac{VT_0}{c} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T = T_0 \left(1 + \frac{V}{c}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \nu = \frac{\nu_0}{1 + V/c}$$

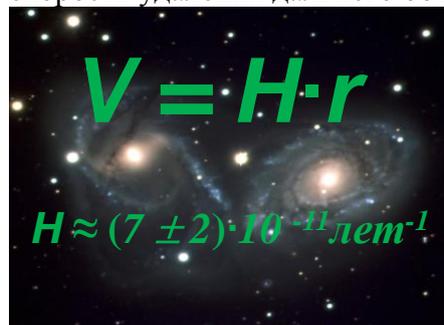


При исследовании спектров излучения дальних галактик было обнаружено, что спектры атомов основных химических элементов в них «смещены» в сторону более низких частот (такое смещение называют «красным», так как в спектре видимого света именно красному цвету соответствует минимальная частота). Такое смещение связано с движением этих галактик от Земли по лучу зрения. Действительно, испусканием источником волны с частотой ν означает, что два «гребня» волны уходят от источника с периодом $T = \frac{1}{\nu}$.

Однако, если источник удаляется от наблюдателя со скоростью V , то более поздний «гребень» проходит от излучателя до источника большее расстояние, и «запаздывает» дополнительно на время $\Delta T = \frac{VT}{c}$ (где c – скорость света). Поэтому

$$T' = T + \Delta T = \left(1 + \frac{V}{c}\right)T, \text{ и } \nu' = \frac{\nu}{1 + V/c}.$$

Сдвиг частот излучений, принимаемых от движущегося источника, называют эффектом Доплера. Именно он позволяет определить скорость удаления дальнего объекта по сдвигу частот.

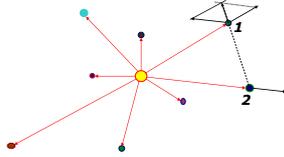


В результате сопоставления скоростей удаления разных объектов обнаружилась удивительно простая кинематическая картина движения галактик по отношению друг к другу: дальние галактики удаляются от Земли со скоростями, пропорциональными расстоянию до них, в соответствии с законом Хаббла: $\vec{V} = H \cdot \vec{r}$, где «*постоянная*» Хаббла

$H \approx 7 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$. Конечно, это не означает, что Земля находится в центре «картины разбегания» галактик.

Кинематическая картина мира

$$\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = H\vec{r}_1 - H\vec{r}_2 = H(\vec{r}_1 - \vec{r}_2) = H\vec{r}_{12}$$



Нетрудно убедиться, что если все галактики удаляются от общего центра со скоростями, подчиняющимися закону Хаббла, то наблюдатель в каждой из них будет видеть точно такую же картину разбегания $\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2 = (H \cdot \vec{r}_1 - H \cdot \vec{r}_2) = H \cdot (\vec{r}_1 - \vec{r}_2) = H \cdot \vec{r}_{12}$.

Большой Взрыв и горячая Вселенная

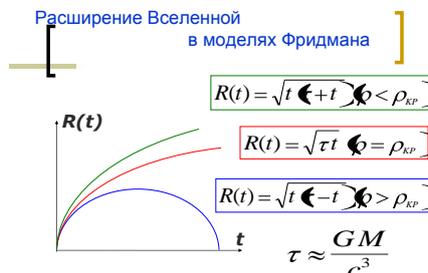
Александр Фридман и Георгий Гамов:

Построение «релятивистской» космологии – теории, описывающей эволюцию Вселенной на основе теории относительности.

Основное предположение: Вселенная является **однородной и изотропной**.

Если принять такую картину, то можно прийти к очень любопытному выводу. Закон Хаббла может быть результатом того, что все объекты во Вселенной некогда «стартовали» из общего центра с разными скоростями. Тогда к настоящему моменту они удалились примерно на расстояние, пропорциональное скорости. Так у замечательного русского физика Георгия Гамова возникла идея «Большого Взрыва» (Big Bang) – «взрывообразного» рождения Вселенной из плотного горячего ядра. Из закона Хаббла легко заключить, что такой «взрыв» произошел около 14 миллиардов лет назад.

Однако для описания подобных процессов ньютоновская механическая модель не подходит. Необходимо использовать законы **релятивистской** физики, то есть физики, пригодной для описания околосветовых скоростей и сверхсильных полей тяготения. Построение теоретической модели расширения рожденной Вселенной на базе уравнений **общей теории относительности** было осуществлено Александром Фридманом на базе уже знакомого нам предположения о том, что материя во Вселенной распределена однородно и изотропно. Хотя эта модель использует довольно сложный математический аппарат, многие ее выводы можно понять, исходя из простых соображений.



Разбегание материи во Вселенной может происходить по-разному в зависимости от соотношения скорости разбегания и сил гравитационного притяжения. Если скорость достаточно велика, то материальные объекты могут преодолеть действие притяжения и удалиться на бесконечное расстояние друг от друга с ненулевыми скоростями (такие Вселенные в модели Фридмана называют «открытыми»). При несколько меньшей скорости они также могут разлетаться неограниченно долго, но их скорость будет стремиться к нулю по мере стремления расстояний к бесконечности (такие Вселенные называют «плоскими»),

так как геометрия в них в среднем соответствует *геометрии Минковского* – геометрии единого четырехмерного пространства-времени, в которой «общее» искривление пространства-времени отсутствует). Наконец, при еще меньшей скорости материя уже не сможет преодолеть связывающее действие гравитации, и расширение в некоторый момент времени остановится, а за ним последует сжатие с образованием нового плотного горячего ядра (это – «замкнутые» Вселенные).

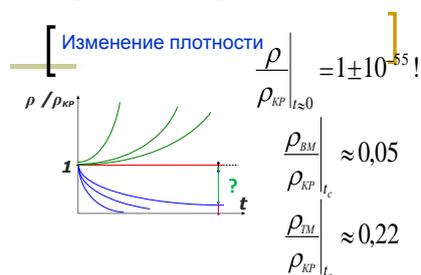
Определение сценария

$$\rho = \frac{3M}{4\pi R^3} \Rightarrow R = \left(\frac{3M}{4\pi\rho}\right)^{1/3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{1}{10} \frac{M^2}{(\pi\rho)^{2/3}} \left[H^2 - \frac{8\pi G}{3} \rho \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{cases} E_0 > 0, & \text{если } \rho < \frac{3H^2}{8\pi G} \\ E_0 = 0, & \text{если } \rho = \frac{3H^2}{8\pi G} \equiv \rho_{кр} \\ E_0 < 0, & \text{если } \rho > \frac{3H^2}{8\pi G} \end{cases}$$

Поскольку гравитационное притяжение зависит от масс и расстояний между ними, то есть для однородной Вселенной в конечном итоге – от плотности массы, то в принципе можно выяснить, какому из вариантов модели Фридмана отвечает наша Вселенная. Для этого в современной Вселенной надо измерить скорости разбегания (постоянную Хаббла, через которую они все выражаются) и плотность массы. Можно по значению H определить так называемую «критическую» плотность $\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi G}$, отвечающую плоской Вселенной. Тогда значения плотности $\rho < \rho_{кр}$ отвечает открытой Вселенной, а $\rho > \rho_{кр}$ – замкнутой. Таким образом, мы имеем возможность исследовать судьбу всей нашей Вселенной, проводя измерения в окружающем нас мире!



Ранее мы обсудили, как астрономы исследовали распределение видимой и темной материи. Как оказалось, в наблюдаемой части Вселенной плотность видимого вещества составляет примерно 5% от критической, а темной материи – 22% от критической. Их сумма заведомо меньше критической, но делать вывод об открытости нашей вселенной на этой основе нельзя, ибо неизвестно, нет ли других вкладов в плотность. Более того – столь сильное отклонение плотности от критической, как показал анализ на базе модели Фридмана, обязательно имело бы наблюдаемые последствия, которые не обнаруживаются. Это заставляет думать, что реальная величина плотности гораздо ближе к критической. К тому же в рамках этой модели отклонение величины плотности от критической должно довольно быстро нарастать, и расчет показывает, что «в начале расширения» отличие должно было составлять невероятно маленькую величину - $10^{-55} \rho_{кр}$! Все подталкивает нас к выводу, что наша Вселенная очень близка к плоской. Такой вывод требует от нас задать два новых вопроса: почему Вселенная оказалась именно плоской и что представляет собой «недостающая» масса, создающая плотность более 60% от критической?

Впрочем, до обсуждения природы «недостающей массы» необходимо также спросить себя: не слишком ли мы доверяем теоретическим рассуждениям? Точнее – есть ли экспериментальные свидетельства того, что в этих рассуждениях мы двигаемся по верному пути? Их не слишком много, но они есть, и довольно серьезные. Действительно, всякое

событие в мире оставляет следы. Большой Взрыв, конечно же, тоже оставил множество «следов». Среди них – электромагнитное и нейтринное «эхо» (физики называют их *реликтовыми излучениями*).

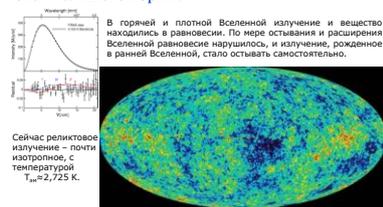
Температура и плотность

$$T \approx T_0 \cdot \frac{R_0}{R(t)}$$

$$\rho \approx \frac{3}{32\pi G} \cdot \frac{\tau^2}{R^4(t)}$$

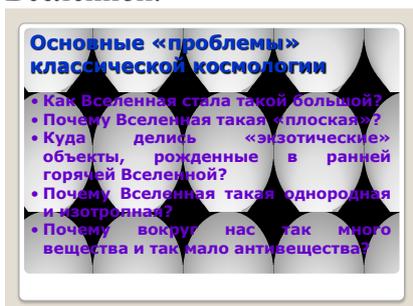
Как показывают расчеты, температура и плотность вещества во Вселенной должны убывать, а в «начале времен», то есть сразу после Большого Взрыва она была очень плотной и очень горячей. В это время излучения в ней не могли свободно распространяться – они интенсивно поглощались веществом и вновь «переизлучались». Однако по мере расширения и остывания вещество становится прозрачным, и «оставшееся» непоглощенное излучение существует длительное время, с течением которого его плотность и частотный спектр меняются по известному закону. Такие излучения – как электромагнитное, так и нейтринное – действительно были обнаружены и их характеристики соответствуют расчетным!

Реликтовое излучение – электромагнитное «эхо» Большого Взрыва



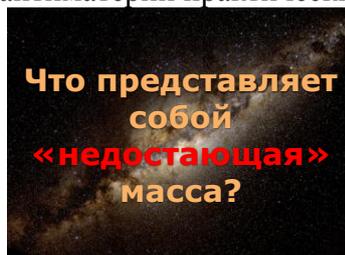
На слайде представлена «карта» реликтового электромагнитного излучения, приходящего с разных направлений и сравнение предсказанного спектра излучения с измеренным. Такое хорошее согласование модели с наблюдениями заставляет нас признать, что наши рассуждения имеют право претендовать на правильность!

Однако не все оказалось так замечательно. Проблемы появляются, когда мы пытаемся проверить предсказания модели связанные с еще более ранними стадиями развития Вселенной.



«Обратный отсчет» показывает, что в момент, когда Вселенная начала свое «разбегание», описываемое моделями Фридмана, ее радиус намного превышал возраст, умноженный на скорость света. Почему она оказалась такой «большой»? Какие механизмы заставили ее стать почти «плоской» (то есть какая причина обеспечила попадание в единицу отношения плотности к критической плотности с точностью лучше 10^{-55} ? Кроме того, на самых ранних стадиях должны были рождаться многие необычные («экзотические») объекты, которые в некотором количестве могли бы сохраниться и до настоящего времени. Их обнаружить не удастся, и это тоже порождает вопросы: почему их концентрация в мире настолько мала? Вопросов очень много, и возникает ощущение, что ответ должен быть каким-то общим! Приведем еще два «сложных» вопроса. Первый: если вначале Вселенная состояла из таких областей, что даже свет не успевал доходить от одной до другой, то почему она теперь выглядит такой однородной и изотропной? Второй: в мире элементарных частиц законы

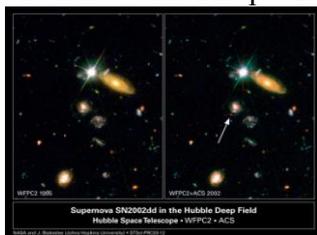
физики практически симметричны по отношению к частицам и так называемым «античастицам» - частицам антиматерии. Но в наблюдаемой области Вселенной антиматерии практически нет, а материи довольно много.



Замечательно, но ответы на эти вопросы связаны с ответом на вопрос, который мы задали ранее: «Что представляет собой «недостающая» масса?».

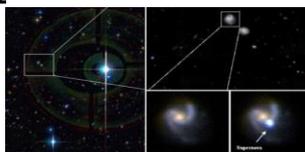
Поиск ответа на этот вопрос потребовал уточнения модели. Для этого важно было установить величину не только скорости, но и ускорения, с которым это расширение происходит. В модели Фридмана ожидалось, что это ускорение должно быть *отрицательным*, то есть скорость должна уменьшаться. Это естественно, так как на больших расстояниях определяющими являются силы гравитации, а это – силы притяжения, и поэтому они должны тормозить расширение. Что же получилось на самом деле?

Нескольким группам удалось на основе измерения красного смещения и светимости дальних Сверхновых (это «взрывающиеся» звезды, выбрасывающие огромное количество энергии, яркость которых резко возрастает на некоторое время) измерить их ускорение. Сверхновые типа 1А, как их называют астрономы – это очень хорошие «стандартные свечи». Они выбрасывают огромную энергию, и их видно с очень больших расстояний.



На слайде представлены снимки участка неба, сделанные в разные годы, и на второй фотографии отчетливо виден «новый» объект. Отметим, что закономерности процесса взрыва Сверхновой таковы, что характеристики ее «супервспышки» очень хорошо известны. И это позволяет для Сверхновых определить независимо расстояния и скорости, и сопоставить их соотношение с законом Хаббла. В результате можно определить ускорение.

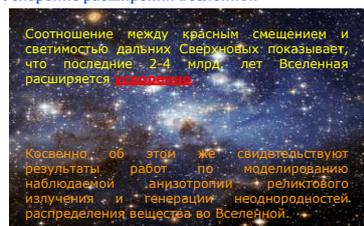
Новое открытие:
Вселенная разгоняется!



Сверхновая SNLS-03D4g вспыхнула 3 миллиарда лет назад. Ее светимость в 100 миллиардов раз больше солнечной, однако ее видимый блеск (22m) в 25 тысяч раз меньше, чем у нашей голубой звезды (11m) в левой части снимка. В свою очередь, эта звезда в 100 раз слабее самых слабых звезд, различных невооруженным глазом (6m). Иллюстрация с сайта www.cba.hawaii.edu

Оказалось, что последние 2-4 млрд. лет Вселенная расширяется ускоренно!

Ускорение расширения Вселенной



Это означает, что должно существовать «нечто», оказывающее «подталкивающее» действие на материю, заставляя ее разгоняться вопреки тормозящему действию гравитации! Что же это за материя? И не связана ли она с «недостающей» массой нашего мира?

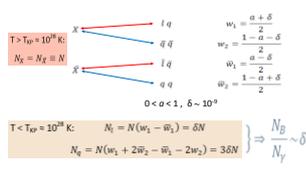
Замечательным образом оказалось, что на все накопившиеся вопросы в принципе можно найти общий ответ. И этот ответ связывает воедино космологию с физикой микромира. Начнем обсуждение с очевидного вроде замечания: помимо материальных тел, во Вселенной есть то, что «наполняет» пространство – то, что на протяжении длительного времени называли «пустотой», то есть **вакуумом** (по-латыни). Однако при изучении микромира физики обнаружили, что на самом деле вакуум – не инертная пустота, а сложная физическая среда, активно участвующая в происходящих на ее фоне процессах. Например, две совершенно нейтральные проводящие пластины в «инертной пустоте» не должны взаимодействовать. В физическом вакууме внесение пластин вызывает реакцию вакуума: из-за взаимодействия с электронами проводимости в пластинах плотность энергии вакуума в объеме между пластинами чуть-чуть меньше, чем снаружи. Меньшая плотность энергии означает и меньшее давление среды, и поэтому вакуум «подталкивает» пластины друг к другу, и нам будет казаться, что они притягиваются! И это не только теоретические рассуждения, такое притяжение, называемое **эффeктом Казимира**, наблюдается экспериментально, и эксперимент подтверждает количественные предсказания величины эффекта. В современной физике микромира известно много вакуумных эффектов, и они играют важную роль в описании поведения элементарных частиц. Замечательно, что, как и с обычной материей, с вакуумом могут происходить фазовые переходы – превращения его из одной формы в другую. Только каждая такая перестройка в корне меняет свойства мира – при фазовых переходах вакуума могут изменяться свойства пространства и времени, законы физики для обычной материи. Уж очень сильно влияет вакуум на все, что в нем происходит. Очень любопытный вид вакуумного фазового перехода – нарушение симметрии мира.

Фазовые переходы, связанные с нарушением симметрии вакуума



В физике микромира вакуум – это состояние особых **квантовых полей**, заполняющих мир, отвечающее минимуму их энергии. Наблюдаемая материя (частицы) – это кванты возбуждения (сгустки «дополнительной» энергии) этих полей на фоне вакуума. Допустим, что зависимость энергии некоторого поля от его величины и температуры определяется графиками, представленными на слайде. То есть при температуре выше «критической» минимум энергии отвечает нулевому значению поля, а при температурах ниже критической – ненулевому! Тем самым нарушается симметрия мира относительно замены $\phi \rightarrow -\phi$. Тогда при остывании Вселенной переход через «критическую» температуру будет сопровождаться перестройкой вакуума, причем после перестройки «вакуумное» значение поле уже отлично от нуля, и оно влияет на движущиеся в нем частицы.

Генерация асимметрии между веществом и антивеществом



Это приводит к интересным последствиям. Например, как показывают исследования микромира, одна из таких «критических» температур должна соответствовать 10^{28} К. Это, конечно, огромная температура, соответствующая очень ранним этапам жизни Вселенной. При более высоких температурах частицы и античастицы рождались и исчезали в процессах взаимодействия с особыми частицами (физики называют их X-бозонами и антиX-бозонами). Но после нарушения симметрии X-бозоны перестали рождаться, и остался их небольшой «остаток», постепенно распавшийся на частицы и античастицы. Как показывают расчеты, при этом на каждый миллиард античастиц в этих процессах родилась миллиард и одна частица. Когда все «пары» аннигилировали (то есть превратились в энергию

электромагнитного излучения), то остались «лишние» частицы, и они-то и составили известную нам материю. Но тогда в мире должно быть в миллиард раз больше квантов электромагнитного излучения, чем частиц материи. И наблюдения в окружающем нас мире показали, что это действительно так!



$$R(t) = R_0 \cdot e^{Ht}$$

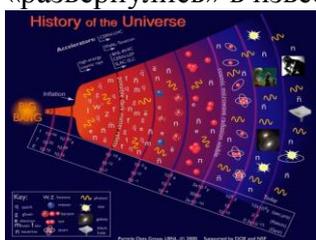
Но самое удивительное – это переход при температурах около 10^{33}K – «самый ранний» из известных нам. При таких температурах еще даже не было устойчивого пространства-времени с известными нам свойствами. Оно появилось только после некоторого фазового перехода. И рожденное таким образом пространство-время должно было испытать катастрофическое «раздувание» - физики назвали его *инфляцией* – в огромное количество раз (как минимум в 10^{100} !). Подчеркнем, что это не расширение (то есть относительное движение материальных тел, запущенных друг от друга), это раздувание самого пространства-времени. Это похоже на увеличение картинка, нарисованной на поверхности воздушного шарика при его надувании. Скорость удаления объектов в этом случае может запросто превосходить скорость света, ибо здесь нет движения материального тела со сверхсветовой скоростью. Таким образом, даже если Вселенная стартует с минимального размера, при котором еще имеют смысл понятия расстояния (это 10^{-33}см), то после инфляции размер Вселенной станет больше 10^{70}см . Это неизмеримо больше радиуса наблюдаемой части Вселенной, который примерно равен 10^{28}см . Нам действительно доступна для исследования ничтожная малая часть нашей Вселенной! Но тогда получается, что все, что появилось во Вселенной до раздувания и в ходе его, будет распределено по огромному объему, и в наблюдаемой части Вселенной эти «экзотические реликтовые» объекты могут вообще отсутствовать! Кроме того, при «раздувании» любые «складки» в структуре пространства «растягиваются», и оно становится практически плоским. Итак, учет фазовых переходов вакуума позволяет ответить на «больные вопросы» космологии. Наконец, способность вакуума «растягивать» пространство объясняет и наблюдаемое ускорение расширения Вселенной. Дело в том, что в сегодняшней Вселенной доминирует именно вакуум. Это он составляет «недостающие» примерно 63% плотности мира, и он же является причиной ускоренного расширения. Опять следует вспомнить о том, что, хотя мы и не пользуемся формулами, в теоретической физике все построено именно на расчетах. Действительно, учет вклада вакуума в моделях Фридмана приводит к ускоренному расширению! Таким образом, при всей фантастичности построенной картины, она не является «фантазией», ибо опирается и на расчеты, и на экспериментальные данные.



Но можно сделать еще один шаг и обратиться к рассуждениям еще более фантастическим. Ведь если фазовый переход вакуума мог родить нашу Вселенную, то он должен рожать и другие Вселенные! Более того, поскольку вид нарушения симметрии каждый раз определяется «случайными» факторами (сами подумайте – чем, например, определяется направление скатывания маленького шарика строго с вершины полусферического купола в однородном поле тяжести), то Вселенные могут получаться как очень похожие, так и совершенно разные. Даже с разным устройством пространства-времени и разными законами физики. Но неизвестно, можем ли мы до них добраться? Мы и в нашей Вселенной не можем попасть в большинство «мест».



Что представляет собой «исходная среда», рождающая Вселенные? Конечно, мы еще не готовы отвечать на этот вопрос. И тем более у нас пока нет никаких экспериментальных данных об этой среде. В моделях теоретиков сейчас самый популярный «рецепт» - это среда, в которой из-за флуктуаций рождаются «зародыши» вакуумов будущих Вселенных. Большая часть из них «схлопывается» обратно, но некоторые оказываются велики, чтобы начать «развертывание». Зародыш нашего мира в таких моделях содержал одиннадцать (!) измерений пространства-времени, свернутые в тугий «клубок», а затем четыре из них «развернулись» в известное нам пространство-время.



Таким образом, история нашей Вселенной началась именно с инфляции. Затем была эра рождения частиц, из которых состоят частицы материи, потом они соединились и образовали сами частицы материи (протоны, нейтроны, электроны), потом из них составились ядра, позднее – атомы и молекулы, и так далее до нынешних времен, когда снова происходит инфляция, хотя и не такая мощная, как в ранней Вселенной. Каждый этап этой «физической истории» заслуживает целого цикла отдельных лекций и является предметом исследования множества научных групп. Но это уже другие истории...



А наш сегодняшний разговор подошел к концу. Спасибо за внимание!