Лекция 6(*2 ч*). **Структурные уровни организации материи**

Вопросы:

- Мегамир
- Теория и этапы эволюции Вселенной
- Единство микро- и мегамиров

Мегамир

- Крупные структурные объединения материи

  Часто в общей структуре материи выделяют следующие крупные объединения.

- *Микромир* – мир крайне малых, непосредственно (невооруженным глазом) не наблюдаемых объектов с характерными линейными размерами l, изменяющимися в пределах $\sim 10^{-18} - 10^{-9}$ м, и временами жизни, находящимися в очень широком диапазоне от $\sim 10^{-24}$с до «бесконечности».
- *Макромир* – мир макрообъектов (макротел), размеры которых сопоставимы с земными масштабами (с масштабами обыденного человеческого опыта), т. е. выражаются в миллиметрах, сантиметрах, километрах, а продолжительность процессов с участием макротел измеряется в секундах, минутах, часах, годах.
- *Мегамир* – мир мегаобъектов, характеризуемых космическими масштабами пространства и огромными скоростями (скорости соизмеримы со световой скоростью); пространство измеряется в астрономических единицах $(1\ \text{а.е.} \approx 1{,}5 \cdot 10^{11}\text{м},\ 1\ \text{св.г} \approx 0{,}95 \cdot 10^{16}\text{м}, 1\ \text{пк} = 3{,}3\ \text{св.г} \approx 3{,}1 \cdot 10^{16}\ \text{м})$, время измеряется в миллионах и миллиардах лет.

Мегамир

- Крупные структурные объединения материи

Ниже представлена пространственная шкала крупных объединений и их внутренний состав.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теории развития Вселенной

На рубеже XIX–XX вв. в космологических представлениях доминировало мнение, согласно которому за пределами нашей галактики («Млечный путь») нет никаких звездных систем (других галактик), а окружающая нас Вселенная находится в статическом состоянии (*теория стационарного состояния*) и ее размеры с течением времени не изменяются.

Общим в разновидностях теории стационарного состояния было представление о стационарности Вселенной, т. е. предполагалось, что вся Вселенная не эволюционирует, изменяться могут только отдельные космические объекты.

Пространство и время обычно рассматривались метрически бесконечными, однородными и изотропными. Но еще И. Ньютон в конце XVII в., предполагая всеобщность сил притяжения между массами и исходя в своих рассуждениях о стационарном устройстве мира из первоначально равномерного распределения вещества в пространстве, не исключал при образовании скоплений космических тел (планетных и звездных систем) развития гравитационной неустойчивости.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теории развития Вселенной

В 1916 – 1917 гг. А. Эйнштейн при разработке общей теории относительности (релятивистская теория гравитации), в целом разделяя убеждение И. Ньютона о неподвижности звезд относительно друг друга, вводит в свою систему уравнений дополнительное слагаемое λ, которое в математической форме должно было отобразить наличие в космологическом плане сил отталкивания неведомой природы.

Ситуация изменилась к 1920-м годам, когда большой багаж накопленных экспериментальных данных (обнаружены другие галактики; открыто смещение спектров ряда звезд в красную область) уже не находился в согласии с результатами математических расчетов по существовавшим стационарным моделям. Ученые пришли к необходимости разработки новых моделей устройства мира – *динамических моделей*, которые предполагали нестационарность Вселенной. Были предложены следующие возможные варианты:

- Вселенная и ее пространство расширяются с течением времени;
- Вселенная сжимается;
- чередуются циклы сжатия и расширения пространства.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теории развития Вселенной

Так, советский математик А.А. Фридман в 1924 г. на основании полученного им решения исходной системы уравнений Эйнштейна показал наличие гравитационной неустойчивости у Вселенной. По отношению средней плотности вещества во Вселенной к ее критическому значению он предложил делать заключение о расширении (или сжатии) пространства.

В теоретических рассуждениях дискутировались также изотропность и однородность свойств Вселенной.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Состав Вселенной, структура и типы галактик

В составе обозримой Вселенной выделяют отдельные *галактики*, в которые входят звезды и звездные системы, *скопления галактик*, а также скопления газа и пыли (последние часто называют *диффузной материей*). Часто всё выше перечисленное называют *метагалактикой*.

В центре галактики (ядро галактики) обычно располагается звездное скопление, но может находиться и *черная дыра* – особый космический объект с чрезвычайно высокой плотностью (до 10^{33}кг/м^3), образовавшийся в результате гравитационного коллапса (схлопывания) некоторой неустойчивой звезды. Скопление большой массы в пределах относительно малой области пространства (размер области не превышает *гравитационного радиуса* $r_g = 2Gm/c^2$) обеспечивает гравитационное притяжение и захват черной дырой любых материальных образований вокруг себя, включая даже фотоны как собственного, так и стороннего излучения. В результате данный объект становится невидимым буквально. Часто под черной дырой понимают область пространства-времени, где вторая космическая скорость равна скорости света в вакууме, т. е. $c \cong 3 \cdot 10^5$ км/с.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Состав Вселенной, структура и типы галактик

Характерный размер любой галактики намного меньше размера познанной Вселенной. Некоторые из галактик обнаруживаются лишь по очень сильному радиоизлучению (это радиогалактики).

Различают по форме следующие типы галактик:

- *спиральные*, к ним, в частности, относится наша галактика «Млечный путь» (см. рис.), имеющая два спиральных рукава и ядро, состоящее из скопления звезд;

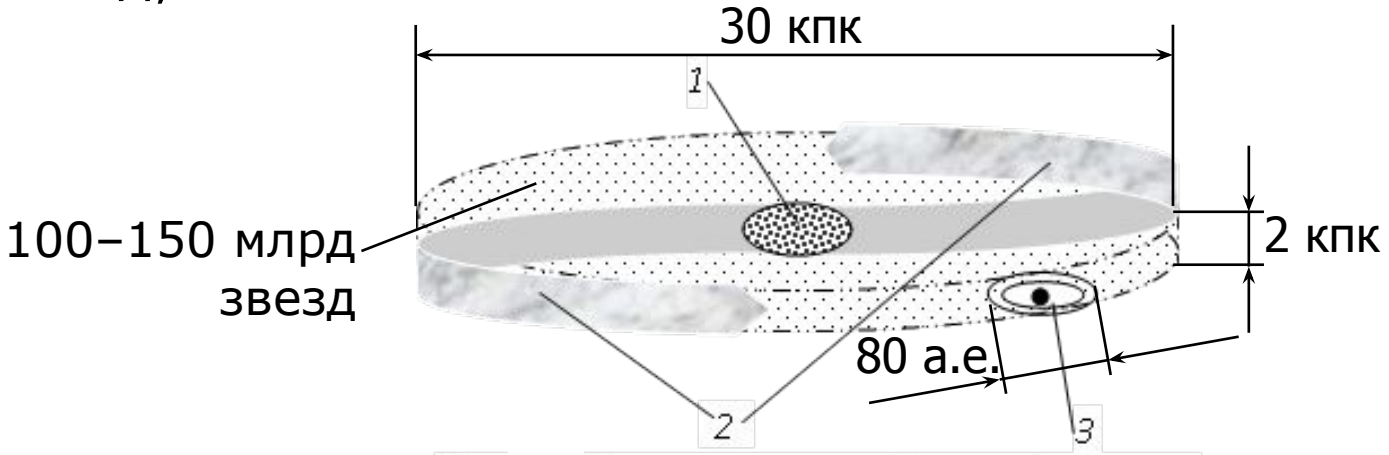


Рис. Схема галактики «Млечный путь»: *1* – ядро; *2* – спиральные рукава; *3* – Солнечная система.

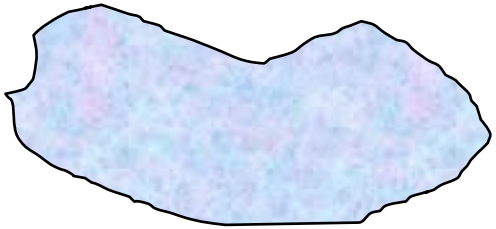
Теория и этапы эволюции Вселенной

- Состав Вселенной, структура и типы галактик

Типы галактик:

- *эллиптические;*

- *неправильные.*



На сегодня установлено, что все пространство Вселенной равномерно заполнено галактиками, между которыми действует закон всемирного тяготения, а вся Вселенная расширяется (об этом свидетельствует «красное смещение» спектров излучения звезд в результате эффекта Доплера).

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Состав Вселенной, структура и типы галактик

Закон Хаббла:

закон расширения, установленный амер. астрофизиком Э. Хабблом (1929 г.), определяет для достаточно удаленных от нас космических объектов (например, галактика на расстоянии $r > 10$ Мпк) их скорость «убегания» $v = H \cdot r$, где $H \cong 65\ \text{км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$ – постоянная Хаббла.

Таким образом, чем дальше от нас галактика, тем больше ее скорость и смещение спектра излучения в красную область. Так, например, квазары (по-видимому, активные ядра новых галактик) имеют субсветовые скорости.

Поскольку постоянная Хаббла также определяет увеличение объема Вселенной, то по величине, обратной H, можно оценить возраст Вселенной: $H^{-1} \cong 15{,}4$ млрд лет.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теория Большого взрыва

Рассмотрим модель горячей Первовселенной, предложенную американским физиком Г. Гамовым в 1948 г. и оформившуюся в дальнейшем в *теорию Большого взрыва*.

Следует отметить, что впервые эта теория получила экспериментальное подтверждение в начале 1965 г., когда амер. астрофизиками А. Пензиасом и Р. Вильсоном было открыто так называемое *реликтовое* (остаточное) *излучение*, пронизывающее все пространство Вселенной и отвечающее средней температуре $T \approx 3$ К.

Эти результаты хорошо согласуются с исходным теоретическим положением о том, что около 10^{10} лет назад вся Первовселенная находилась в так называемом *сингулярном состоянии* с «бесконечно» большой плотностью ($\rho \approx 10^{33}$ кг/м^3) и чрезвычайно высокой температурой ($T \approx 10^{12}$ К). В сингулярном состоянии Вселенная представляла собой точечный микрообъект размером порядка 10^{-35}м.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теория Большого взрыва

Затем произошел, как сейчас принято говорить Большой взрыв, и Вселенная начала расширяться. По современным оценкам от Большого взрыва до наших дней прошло порядка 20 млрд лет.

В настоящее время эволюцию Вселенной от момента Большого взрыва до наших дней принято подразделять на четыре этапа.

1. *Адронная эра* (длилась до момента времени $t = 10^{-4}$с) – этап образования тяжелых частиц – барионов и мезонов; на этом этапе средняя плотность материи $\rho \geq 10^{17}$кг/м^3, температура $T \leq 10^{12}$K. Существуют протон и антипротон, нейтрон и фотон, но отсутствует полная зарядовая симметрия. <u>Наличие избытка нуклонов определяет реликтовое излучение, которое регистрируется и сегодня</u>.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теория Большого взрыва

2. *Лептонная эра* (длилась до момента времени t = 10 с) – этап с характерными плотностью материи ρ ≈ 10^7кг/м^3 и температурой T ≈ $5 \cdot 10^9$ К. Началу этого этапа свойственно равномерное распределение энергии между фотонами, электронами и позитронами, мезонами, нейтрино и антинейтрино. Нейтрино, образовавшиеся в процессе распада протонов, обособлены от других частиц и несут информацию об этом периоде до наших дней. По мере уменьшения температуры в ходе термоядерных реакций образуются изотопы водорода и гелия.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Теория Большого взрыва

3. *Эра фотонной плазмы* - (длилась до момента времени t = 10^{13} с = 1 млн лет) – этап с характерными плотностью материи ρ ≈ 10^{-18}кг/м^3 и температурой T ≈ $3 \cdot 10^3$К. На этом этапе шло интенсивное рассеяние фотонов на электронах, обеспечивающее зарядовую нейтральность вещества Вселенной. Так как при T ≈ $3 \cdot 10^3$К энергия γ-квантов значительно уменьшается, то они перестают ионизовать атомы водорода, которые начинают накапливаться во Вселенной. Происходит, как говорят, «отрыв» излучения от вещества, и главную роль начинает играть вещество, а не излучение, как это было на ранних этапах.
4. *Послерекомбинационная эра* - этап накопления и структуризации космического вещества, продолжается до настоящего времени. С некоторого момента времени этого периода при средней плотности материи ρ ≈ 10^{-20}кг/м^3 начали формироваться галактики и звезды.

Теория и этапы эволюции Вселенной

- Инфляционная теория развития Вселенной

Сейчас существует и развивается предложенная амер. А. Гутом (1980 г.) *инфляционная космологическая теория*, согласно которой наблюдается «раздувание» Вселенной из первоначального состояния квантового вакуума, обладающего огромной энергией.

Особые частицы вакуума создают сверхнатяжение, приводящее к отрицательному давлению, последнее инвертирует гравитационные силы в силы отталкивания. Под действием огромных сил отталкивания квантовый вакуум молниеносно (~ за 10^{-30}с) расширяется в размерах (~ в 10^{30}раз); при этом сам вакуум охлаждается, а заключенная в нем энергия выделяется в виде излучения с температурой ~ 10^{28}К . В таких условиях привычные элементарные частицы (кварки, лептоны и др.) не существуют. Такому вакууму с отрицательным давлением свойственны квантовые флуктуации, и именно они генерируют первосостояния будущих галактик. С позиций сторонников инфляционной теории Большой взрыв есть не что иное, как мгновенное расширение высокоэнергетического первовакуума.

Единство микро- и мегамиров

Таким образом, подводя итог, можно заключить:

- *микромир* – это мир элементарных (первичных) частиц, из которых строится вещество;
- *макромир* – совокупность физических объектов, составляющих мир в пределах обозримой Вселенной;
- *мегамир* – понятие более широкое в сравнении со Вселенной, включает в себя и миры за пределами нашего реального восприятия.

Стыковка и взаимная обусловленность понятий «мегамир» и «микромир» приходятся на середину XX в., когда ученые стали получать данные о строении вещества и об эволюции Вселенной едиными методами, с помощью микрочастиц. Микрочастицы, например нейтрино, несут большую информацию о строении Вселенной и мегамире.

Вообще проблемы Вселенной и элементарных частиц тесно связаны между собой. Можно припомнить, что впервые с нейтрино столкнулись при исследовании β-распада ядер, но затем они были обнаружены в ходе изучения космических лучей. Иначе говоря, познание мегамира идет через освоение микромира, задачи физики элементарных частиц (регистрация нейтринных потоков) становятся задачами космологическими.