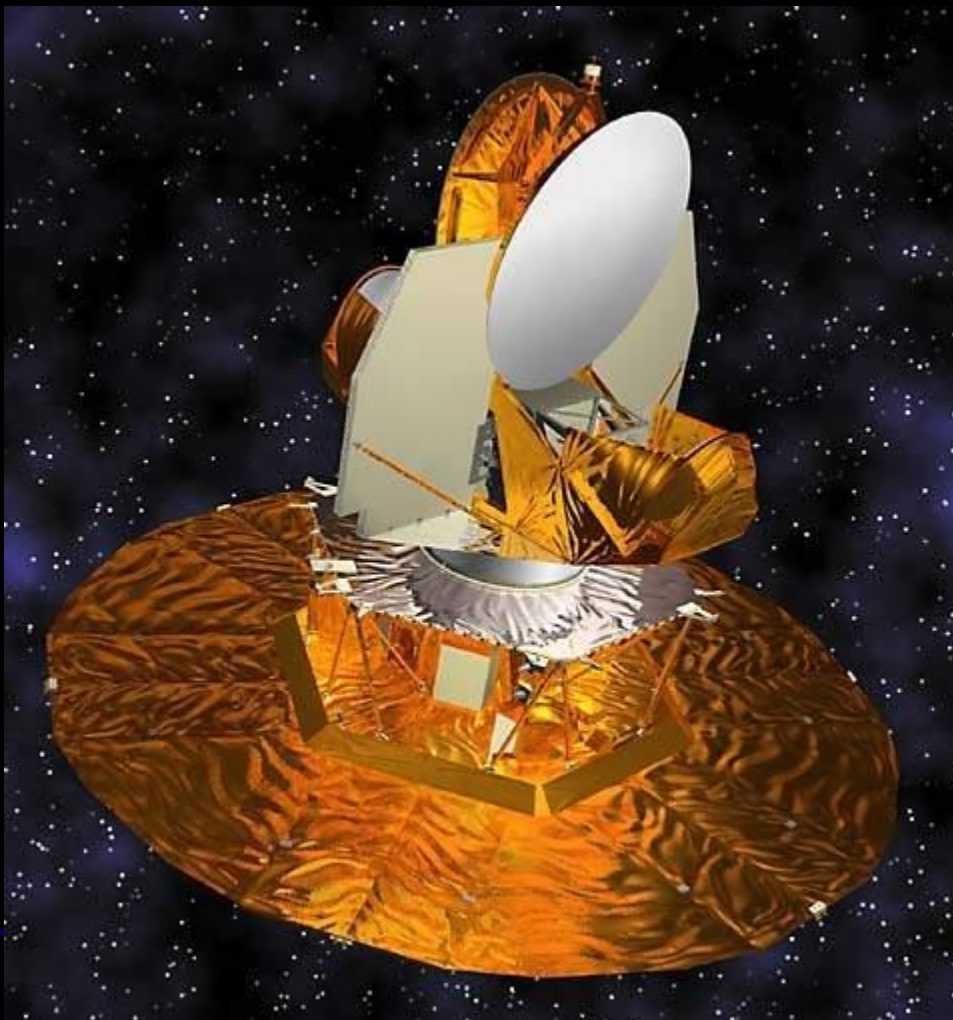




МЕТАГАЛАКТИКА

Метагалактика – часть Вселенной, доступная нам всеми способами для наблюдения.

Вселенной присуща структурность на всех уровнях: от ядер атомов до сверхскоплений:

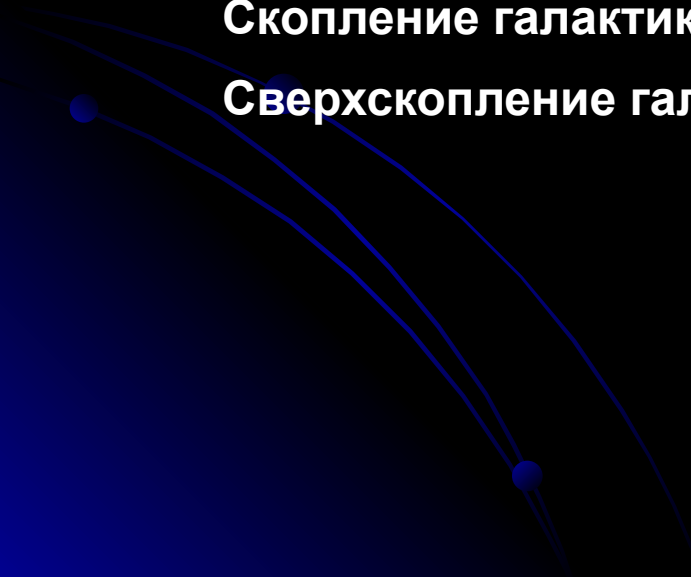
Галактики

Кратные галактики (десятки галактик)

Местная группа галактик (десятки-сотни галактик, Ø до 1 Мпк)

Скопление галактик (сотни-тысячи галактик, Ø до 10 Мпк)

Сверхскопление галактик (10 тысяч галактик, Ø до 50 Мпк)



Галактики, подобно звёздам, редко бывают одиночными.



Скопление галактик в созвездии Печи.

В Местную группу галактик, размеры которой 1,5 Мпк, входят наша Галактика, Туманность Андромеды М31, Туманность Треугольника М33, Большое Магелланово Облако (БМО), Малое Магелланово Облако (ММО), неправильные галактики NGC 6822, IC 1613, карликовые галактики. В ней всего около сорока галактик связаны взаимной гравитацией. Согласно последним исследованиям Местная группа движется со скоростью 635 км/с относительно реликтового излучения.



Три галактики Квинтета Стефана

90 процентов галактик концентрируются в скопления, в которые входят до нескольких тысяч галактик. Средний диаметр скопления галактик 5 Мпк.



Скопление в созвездии Волосы Вероники.
Мы его видим таким, каким оно было 400 миллионов лет назад.

Одно из них – скопление в созвездии Девы, находящееся в 15 Мпк от Местной группы. Скопление Девы огромно: оно покрывает участок неба в 200 раз превышающий площадь, занимаемую Луной. Одна только эллиптическая галактика М87 из этого скопления по размеру сравнима с нашей Местной группой.



Скопление галактик в созвездии Девы

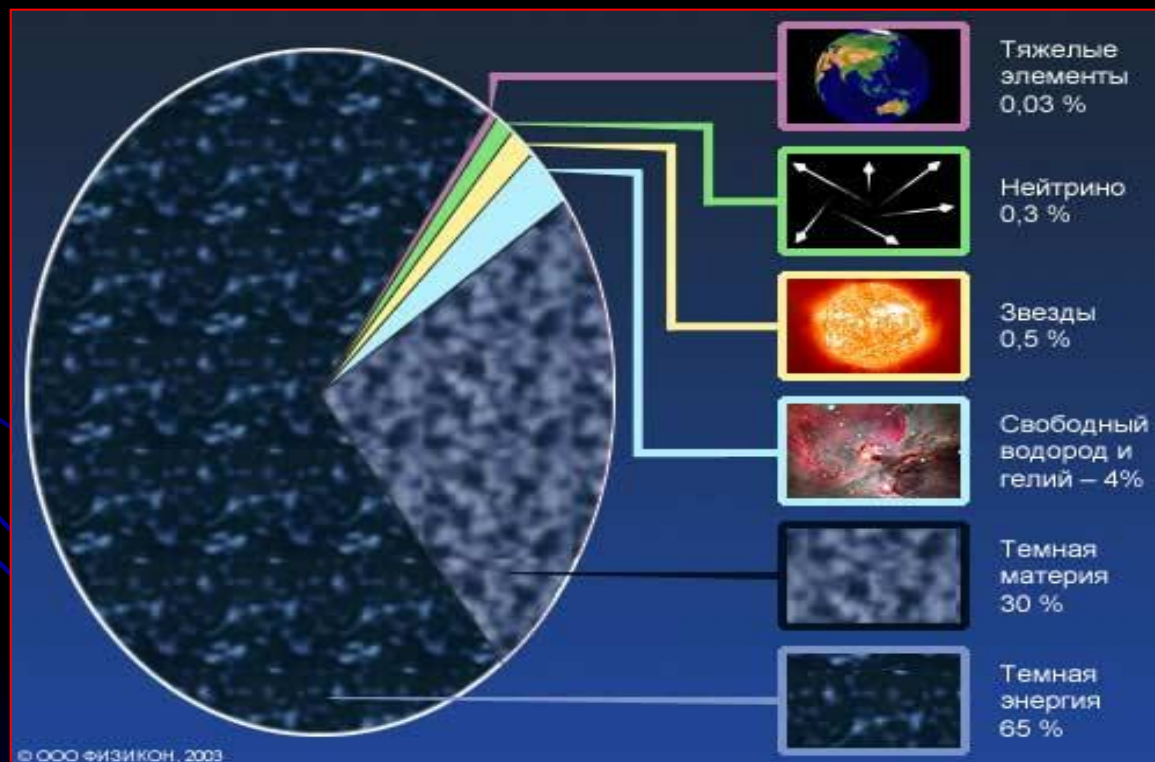
Пространство между галактиками заполнено газом, температура которого более 10 миллионов К. В среднем на каждый кубический дециметр пространства приходится всего один атом, однако в связи с огромным объемом скопления полная масса газа сопоставима с массой всех галактик скопления.



Сверхскопление галактик в созвездии Геркулеса.

Чтобы столь горячий газ не покидал скопление, его должна удерживать большая сила тяготения. По оценкам ученых суммарного гравитационного поля всех галактик для этого не достаточно. Необходимо предположить, что существует, так называемая, **скрытая масса**.

К этому же выводу можно прийти, рассматривая устойчивость самих скоплений. Скорости отдельных галактик настолько высоки, что без скрытой массы они разлетелись бы в разные стороны.

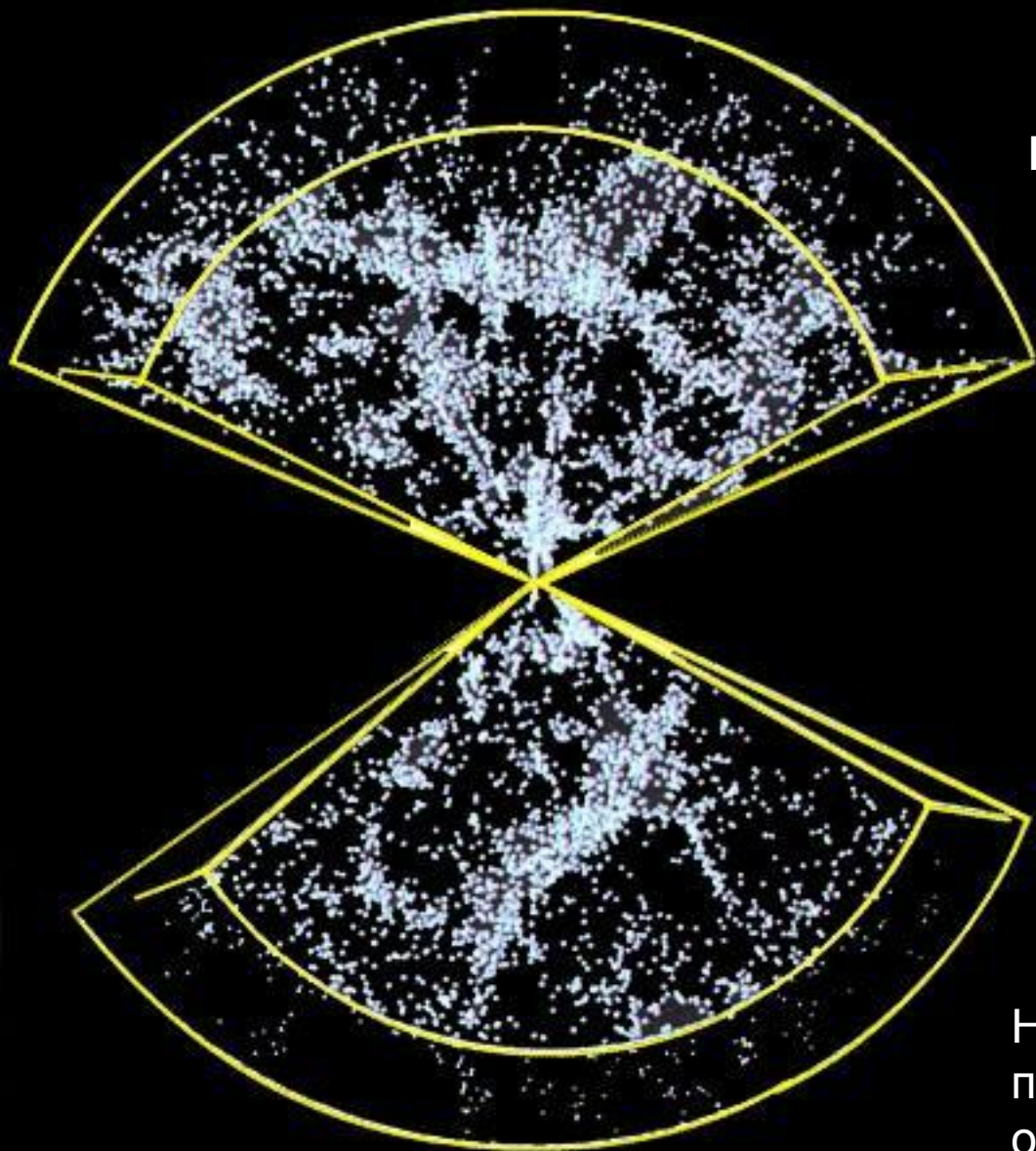


Состав Вселенной.

Скопления галактик, по-видимому, самые крупные и устойчивые системы во Вселенной. Области повышенной концентрации скоплений галактик

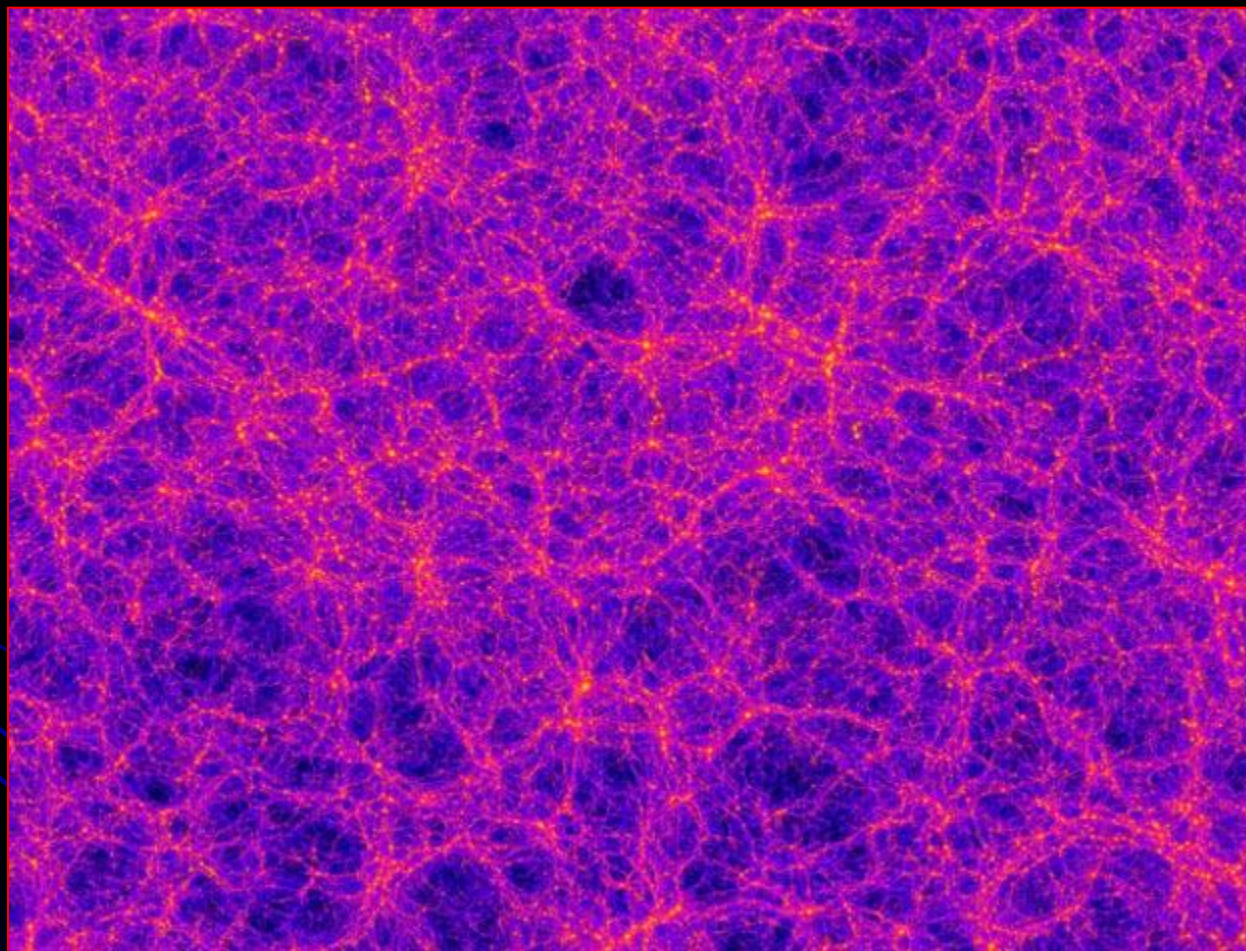
чередуются с пустотами в сотни миллионов световых лет.

Местная группа (вместе с сотнями других скоплений) также расположена в сверхскоплении, центр масс которого находится в созвездии Девы. Другое сверхскопление находится в созвездии Геркулеса на расстоянии около 700 миллионов световых лет.



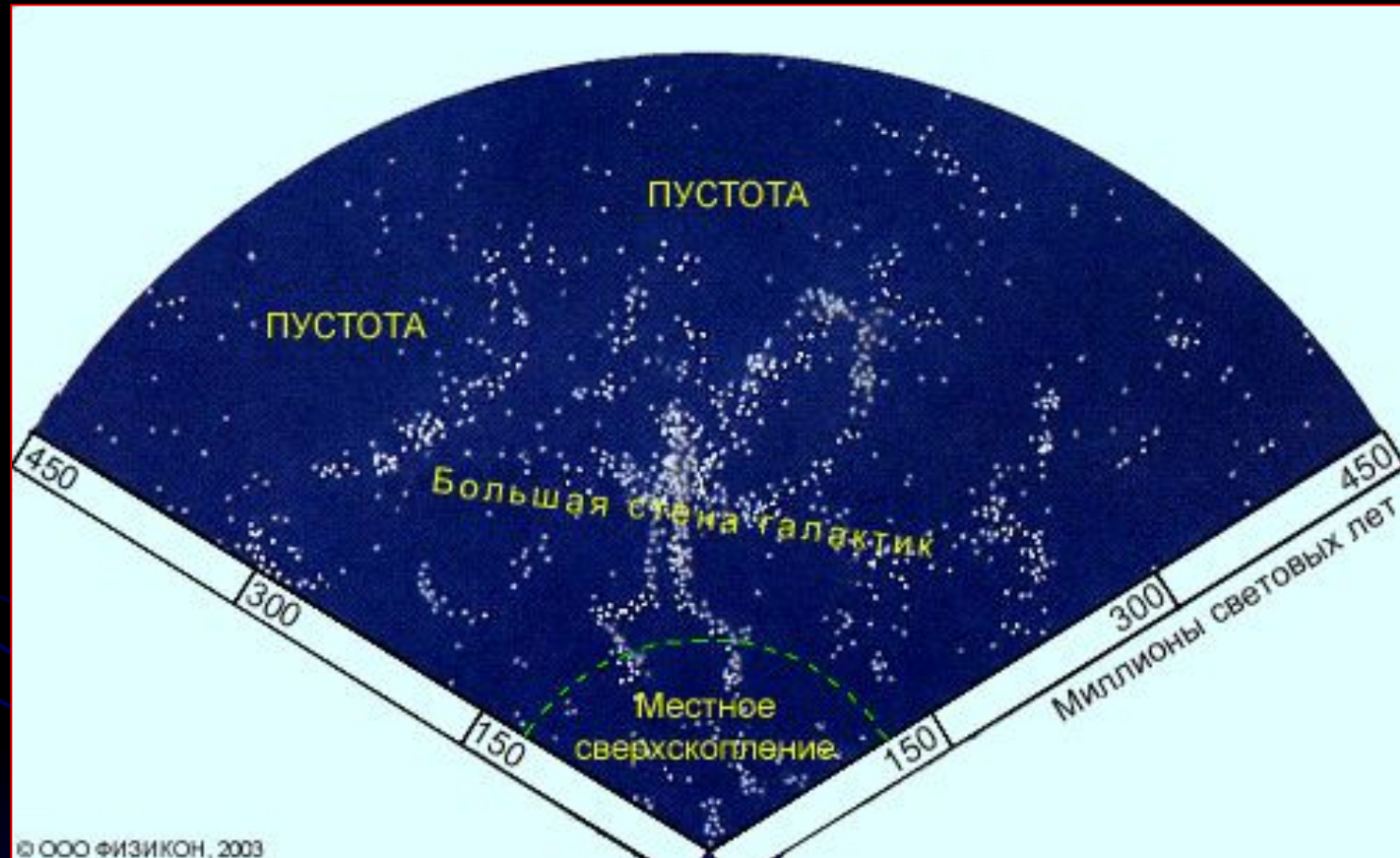
На этой трехмерной карте, покрывающей около трети неба, отмечены более 11 тысяч галактик.

На трехмерных картах северной части неба хорошо заметна подобная структура, имеющая размеры $50 \times 30 \times 5$ Мпк, названная Великой стеной. Похожее образование обнаружено и в южной части неба.



Крупномасштабная структура Вселенной (компьютерная модель)

Ячеистая структура Вселенной отражает картину распределения вещества в эпоху, когда галактик еще не существовало.

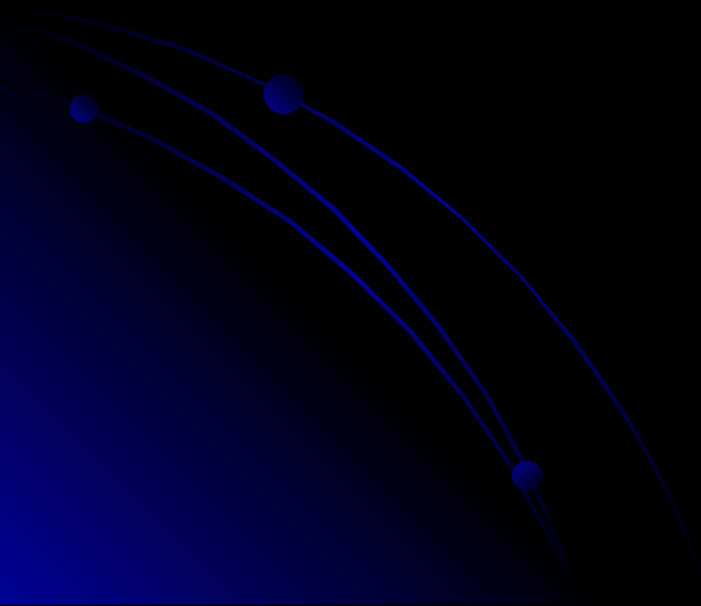


Галактики собраны в сверхскопления, которые образуют слои и ленты, разделенные обширными пустотами, по структуре напоминающими губку.

Итак, **в проекции на небесную сферу** у Вселенной ячеистая структура: галактики распределены вдоль границ ячеек, а внутри их почти нет.

Моделью **пространственной структуры** является кусок пемзы – вещество во Вселенной распределено равномерно.

Вывод 1: **Вселенная однородна и изотропна.**



В XX веке стали известны два экспериментальных факта, подтверждающих расширение Вселенной:

- красное смещение линий в спектрах галактик,
- реликтовое излучение.

В 1929 году, исходя из наблюдений спектров галактик, американский астроном Эдвин Хаббл сформулировал закон:

красное смещение в спектрах, а значит и скорости удаления галактик возрастают пропорционально расстоянию до них.

A diagram in the bottom-left corner of the slide shows three blue curved lines radiating from a common point, representing the expansion of the universe. Three blue dots are placed at different distances along these lines, illustrating that objects further away are moving faster.
$$V = H \cdot R$$

Вывод 2: Метагалактика нестационарна – в настоящее время она расширяется.

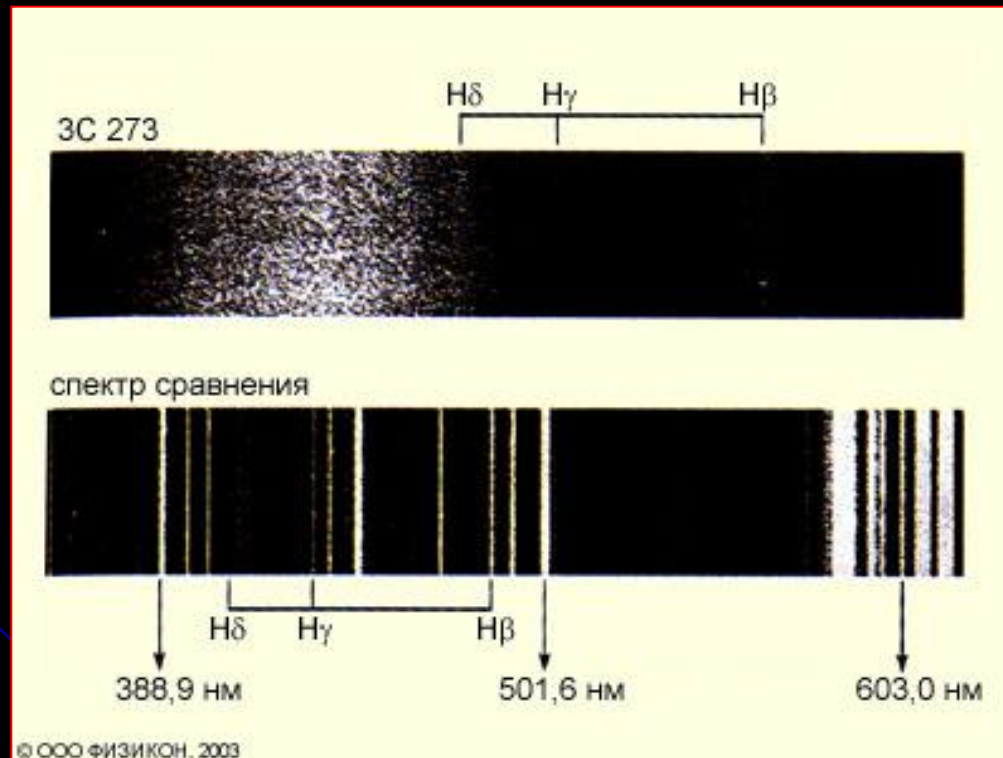
Постоянная Хаббла, строго говоря, не является константой: её значение уменьшается со временем.

В настоящее время принимается равной **$H = 70$ км/(с·Мпк)**.

Закон Хаббла наиболее точно выполняется для $R=100-300$ Мпк.

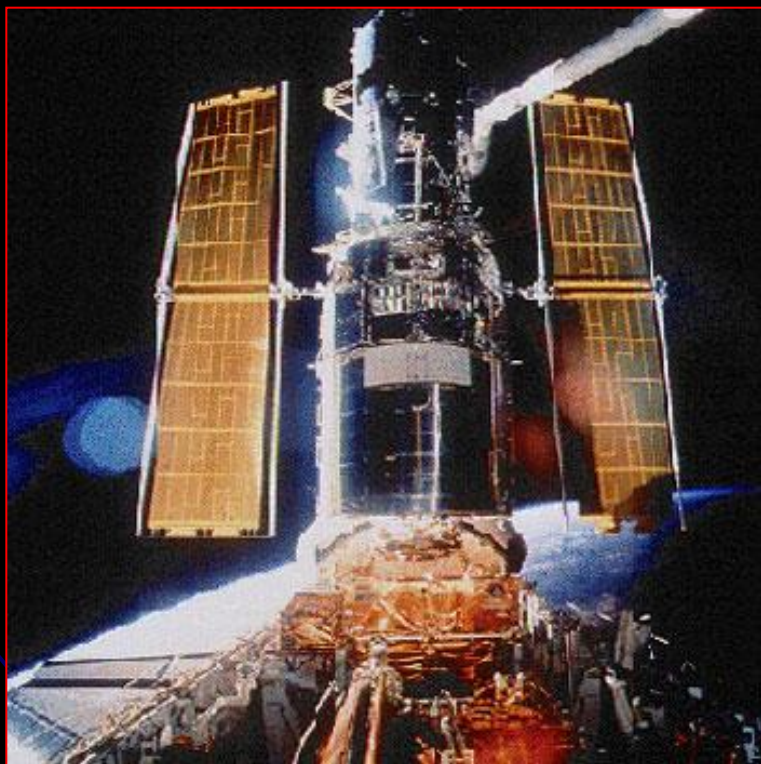


Наличие красного смещения у галактик позволяет с большой точностью определять расстояния до них. Чем сильнее смещены линии в спектре галактик, тем дальше галактика.



Смещение линий в спектре далекой галактики.

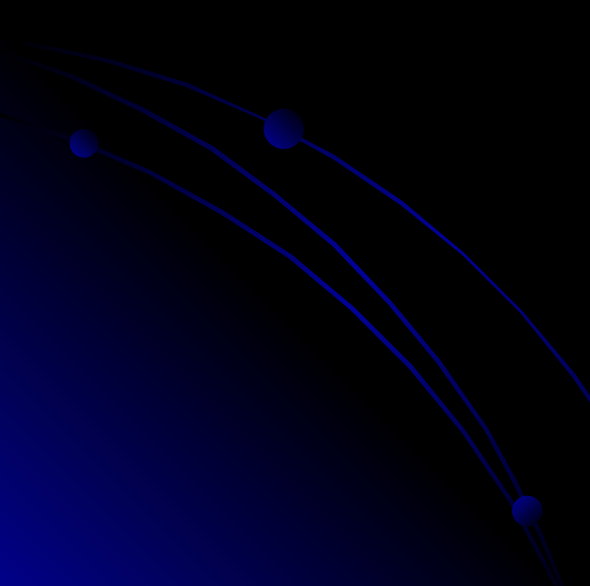
По уточненным современным данным, численное значение $H = 70 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{Мпк})$. Тогда время расширения Хаббла (вероятно, близкое ко времени расширения нашей Вселенной) $T = 1 / H \approx 14$ миллиардов лет, а расстояние Хаббла (условный размер Вселенной) $R = c / H = 4300 \text{ Мпк}$.



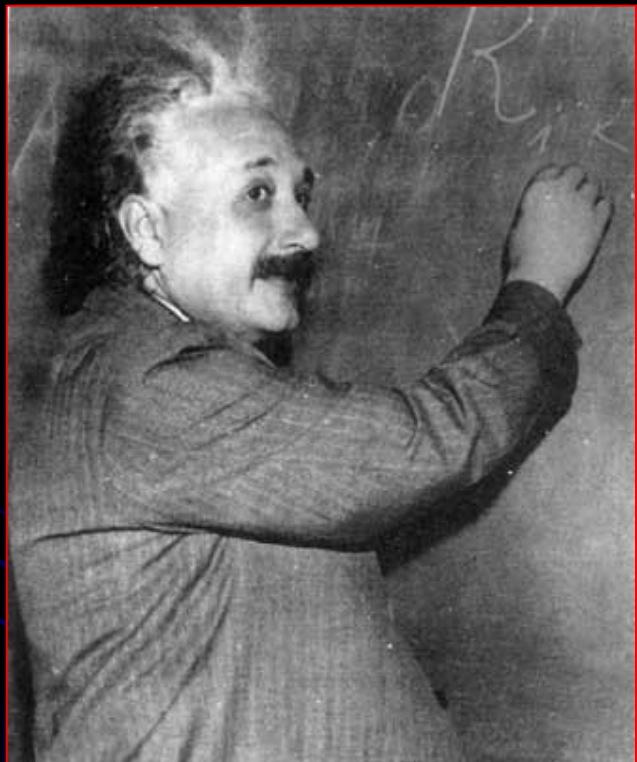
Телескоп им. Хаббла (состыкованный с шаттлом для ремонта).

Во Вселенной медленно происходят изменения, носящие необратимый характер, например её расширение. Наблюдаемую часть Вселенной – Метагалактику составляют различные наблюдаемые структурные элементы: галактики, звезды, сверхновые, квазары и т.д.

Размеры Метагалактики ограничены нашими возможностями наблюдений и в настоящее время приняты равными 10^{26} м. Ясно, что понятие размеров Вселенной весьма условно. Реальная Вселенная безгранична и нигде не кончается. Радиус видимой части Вселенной не может превышать расстояние, которое излучение, распространяющееся со скоростью света, проходит за время, равное возрасту Вселенной.



Теоретические основы космологии были заложены Альбертом Эйнштейном и Александром Фридманом.



Альберт Эйнштейн

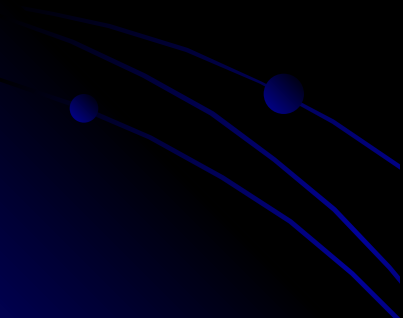


Александр Фридман

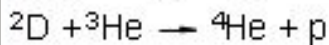
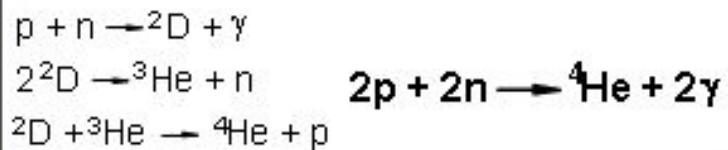
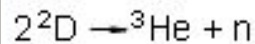
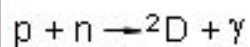
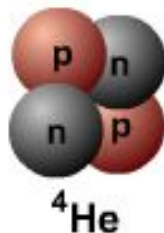
В соответствии с решениями Фридмана уравнений Эйнштейна 10–13 миллиардов лет назад(в начальный момент времени) радиус Вселенной был равен нулю. В нулевом объёме была сосредоточена вся энергия Вселенной, вся её масса. Плотность энергии была бесконечной, бесконечной была и плотность вещества. Подобное состояние называется сингулярным.

Планковское время

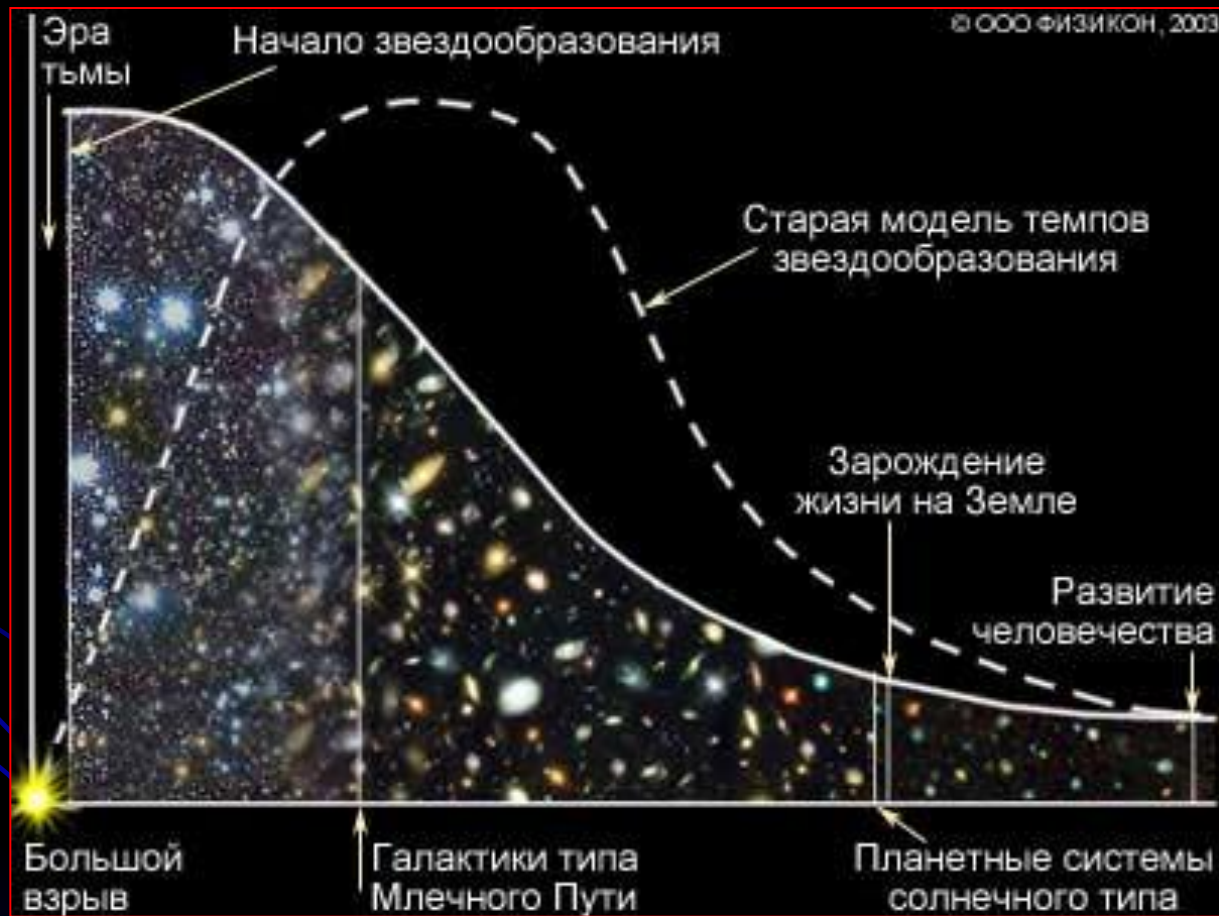
10^{-43} сек



Спустя несколько секунд после Большого Взрыва в горячей и плотной Вселенной началась стадия первичного нуклеосинтеза, продолжавшаяся около трех минут. В результате термоядерных реакций образовывались ядра тяжелого водорода и гелия. Затем началось спокойное расширение и остывание Вселенной. Предсказанные количества водорода (75%) и гелия (25%) по теории первичного нуклеосинтеза подтверждаются распространенностью легких элементов в космосе в настоящее время.



Современные представления об эволюции Вселенной



Космологические модели приводят к выводу, что судьба Вселенной зависит только от средней плотности заполняющего ее вещества. Если она **ниже** некоторой **критической плотности**, расширение Вселенной будет продолжаться вечно. Этот вариант называется **«открытая Вселенная»**. Похожий сценарий развития ждет и плоскую Вселенную, когда плотность равна критической. Через многие миллиарды лет прогорит все вещество в звездах, и галактики погрузятся во тьму. Останутся только планеты, белые и коричневые карлики, а столкновения между ними будут крайне редки. Если Земля все еще останется к этому времени, она будет замерзшей скалой в темной расширяющейся Вселенной.

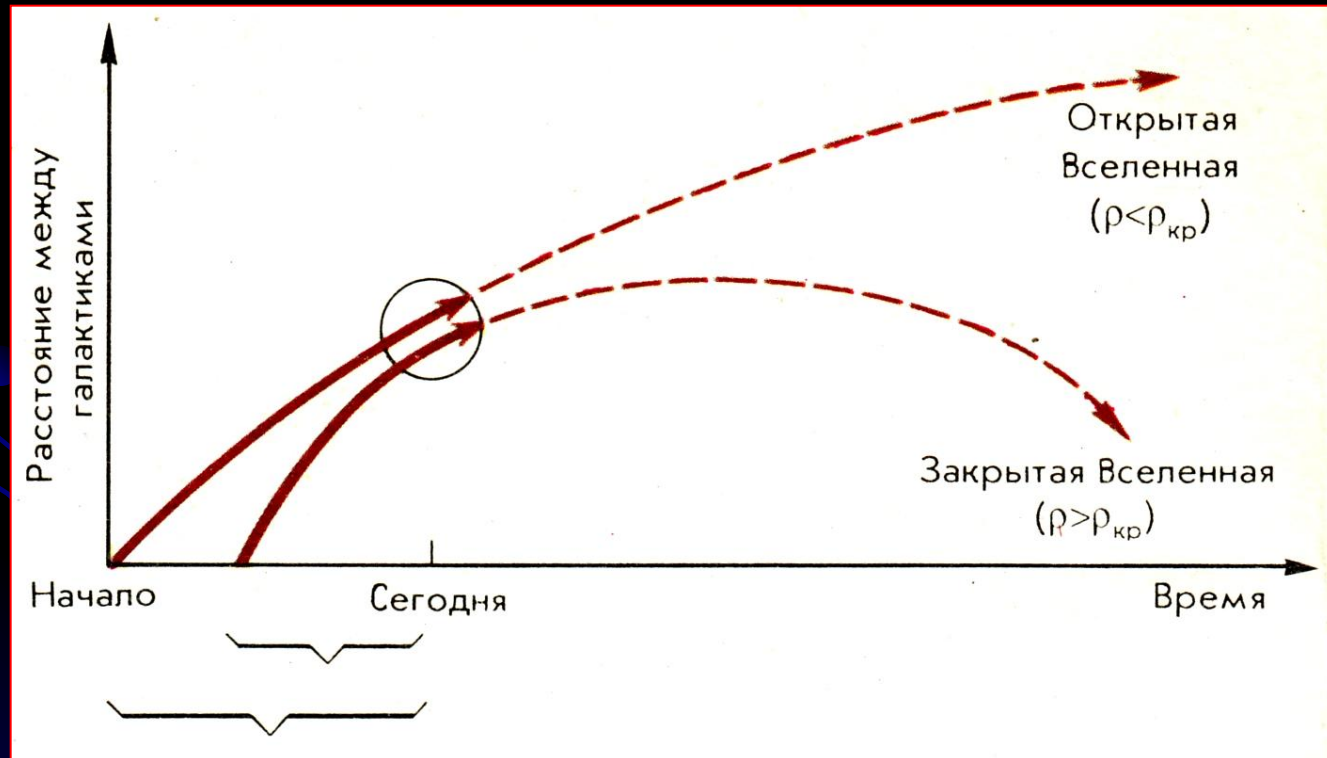
Если плотность **выше критической плотности**, расширение Вселенной сменится сжатием. Это **«закрытая Вселенная»**.

Согласно теории Эйнштейна – Фридмана критическая плотность равна

$$\rho_0 = \frac{3H^2}{8\pi G} \approx 1 \cdot 10^{-32} \text{ кг/м}^3$$

Эта величина ничтожно мала: достаточно, чтобы в кубе со стороной около 50 метров содержался один атом водорода.

Определить из наблюдений истинную плотность материи ещё сложнее. Плотность наблюдаемого вещества во Вселенной близка к $3 \cdot 10^{-34}$ кг/м³, то есть меньше критической, поэтому **Вселенная должна неограниченно расширяться**. Однако, произведенный в последнее время учёт скрытой массы и массы физических полей (согласно общей теории относительности) приближает истинную среднюю плотность Вселенной к критическому значению. При этом **видимое вещество дает вклад только 5%**.



Две основные космологические модели.