



*Государственное бюджетное образовательное учреждение
лицей № 572 Невского района Санкт-Петербурга*

Санкт-Петербург
Невский район

Строение и эволюция Вселенной

Учитель физики Боровская Елена Михайловна



Строение и эволюция Вселенной

Взаимосвязь человека и Вселенной



Космология

Космология — раздел астрономии, изучающий строение и эволюцию Вселенной, как единого целого физ. объекта, в составе которого взаимодействуют и движутся галактические скопления и отдельные галактики, которые в настоящее время удаляются друг от друга в просторах Вселенной, т.е. разбегаются



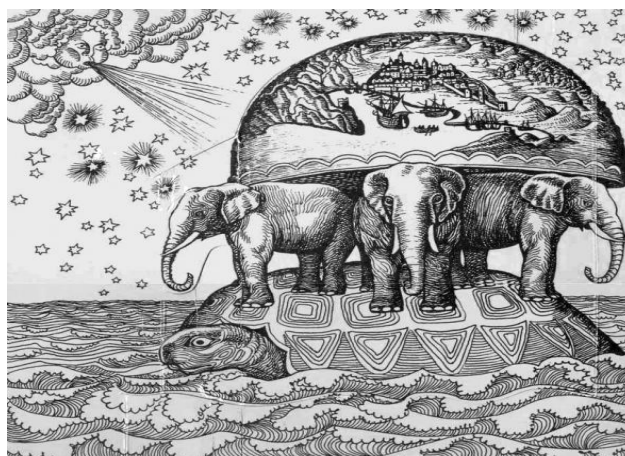
Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной,
парадоксы классической космологии

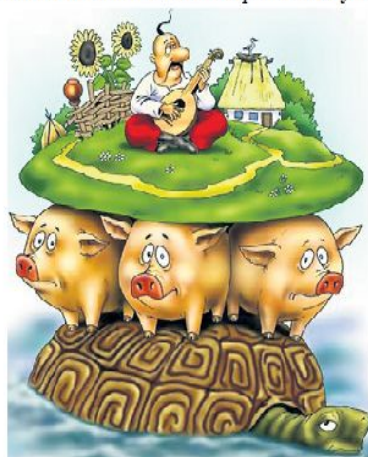
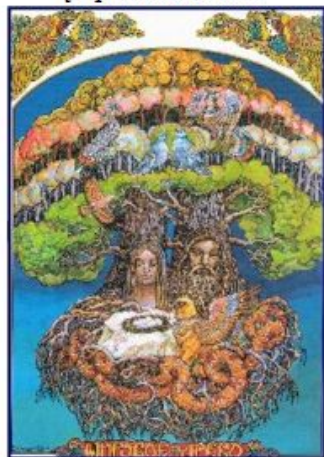
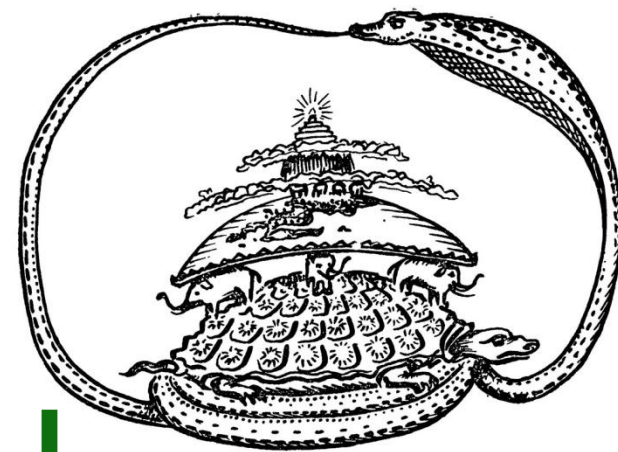
*Различные представления о строении и эволюции Вселенной
у разных народов, живущих на Земле до нашей эры*



представление о мироустройстве
у древних славян



представление о мироустройстве у славян под
настойчивым влиянием западной европейской культуры





Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Различные представления о строении и эволюции Вселенной

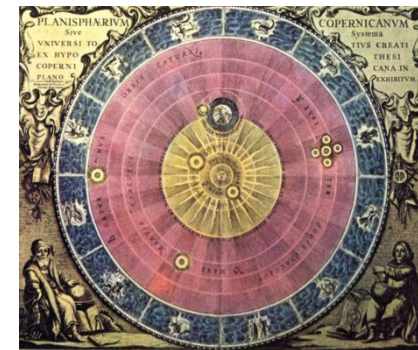
Геоцентрическая система Клавдия Птолемея (II в.)

от др.греч. Γῆ, Γαῖα – Земля, т.е. представление об устройстве мира, согласно которому в центре Вселенной – неподвижная Земля, вокруг которой вращаются Солнце, Луна, планеты и звёзды, возникло в Древней Греции, является основой античной и средневековой астрономии и космологии, подробно описано К. Птолемеем в его научном труде “Альмагест”



Гелиоцентрическая система Николая Коперника (XVI в.)

от греч. ἥλιο - солнечный свет, т.е. представление об устройстве мира, согласно которому Солнце расположено в центре Вселенной, а Земля вместе с Луной совершает годовое вращение вокруг Солнца и суточное вращение вокруг своей оси; звёзды при этом неподвижны относительно Солнца.





Строение и эволюция Вселенной

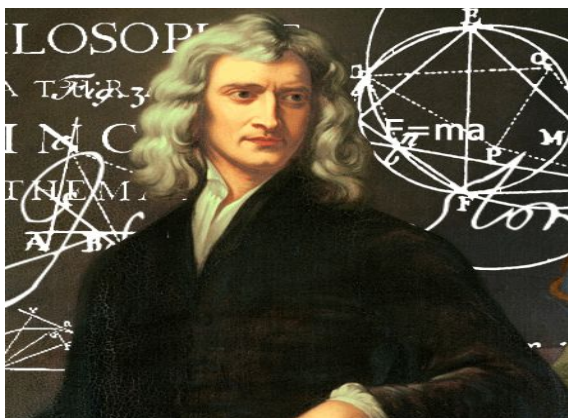
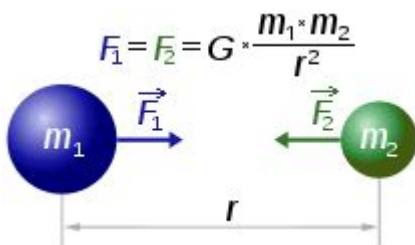
Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Различные представления о строении и эволюции Вселенной

Исаака Ньютона (XVII в.)

классическая теория тяготения

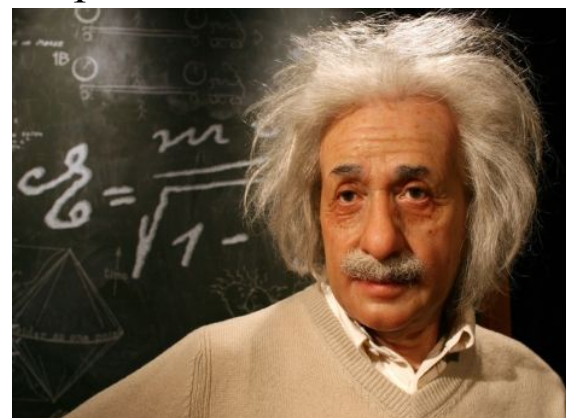
— теория, описывающая гравитационное взаимодействие в рамках классической механики, т.е. по закону всемирного тяготения:



Альберт Эйнштейн (XX в.)

Общая теория относительности

— геометрическая теория тяготения, объясняющая, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана, в частности, с присутствием массы-энергии.



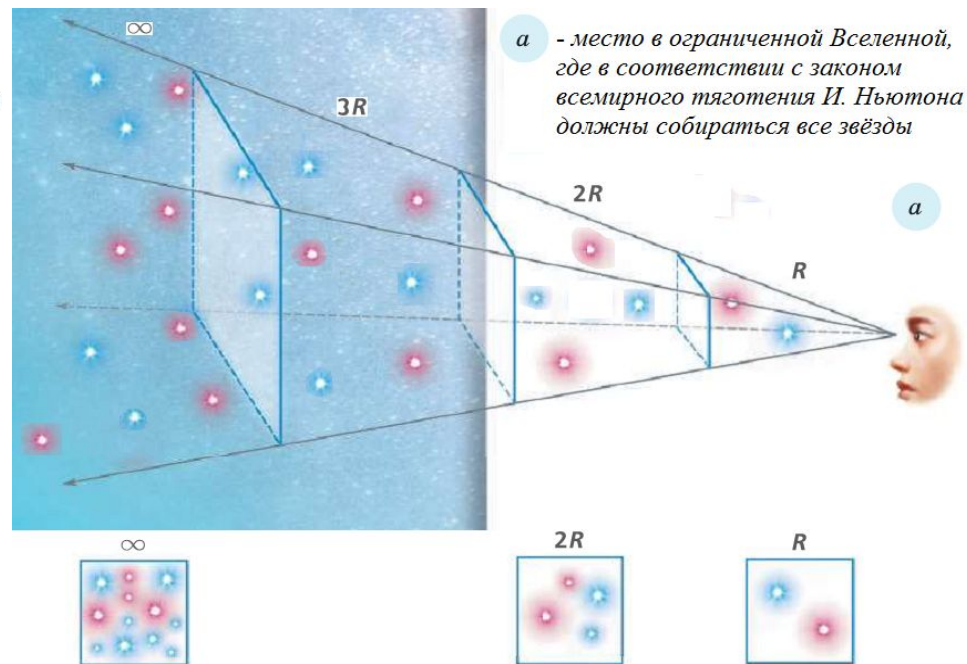
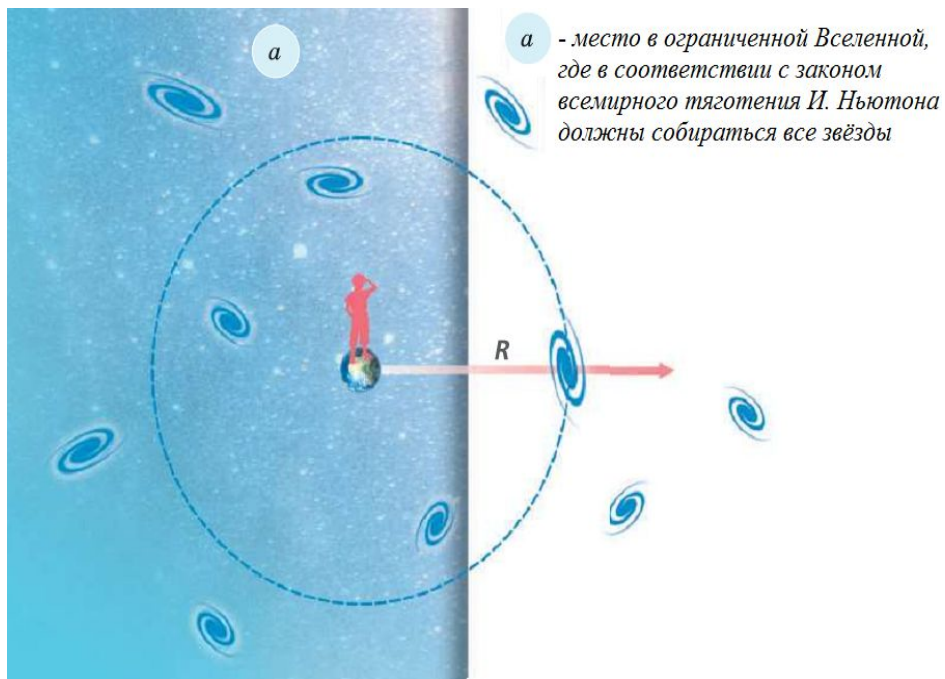


Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Фотометрический парадокс (Генрих Ольберс, Германия, 1826 г.)

Т.к. в бесконечной однородной и изотропной статичной Вселенной число звёзд стремится к бесконечности, а с поверхности Земли любой наблюдатель при этом может смотреть только в каком-то определённом направлении, и его луч зрения в итоге обязательно попадает в какую-нибудь звезду, то логично предположить, что всё небо тогда должно быть покрыто дисками звёзд разных угловых размеров; причём звёздных дисков с меньшими угловыми размерами будет больше



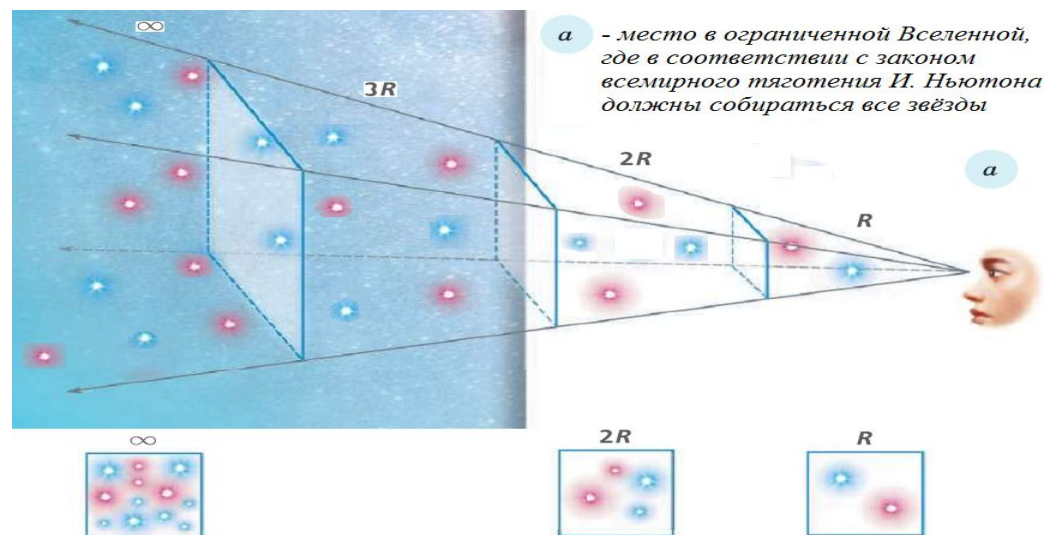
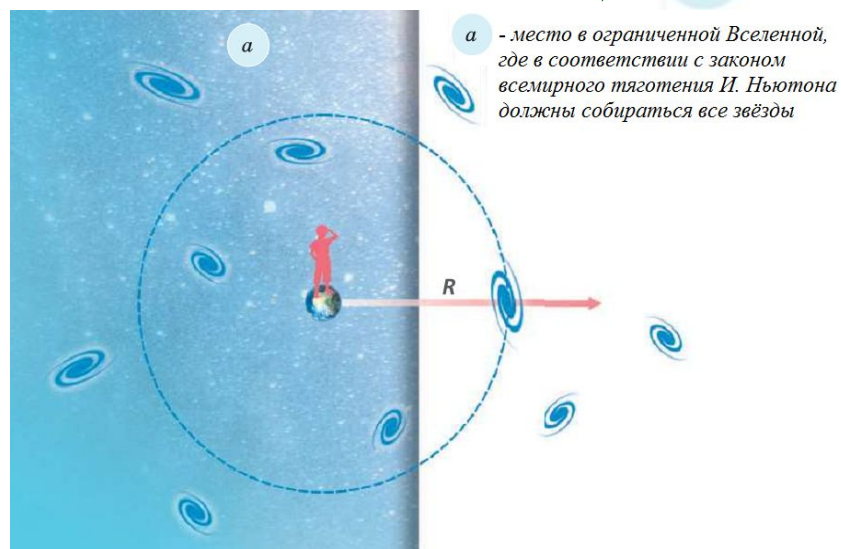


Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Фотометрический парадокс (Генрих Ольберс, Германия, 1826 г.)

Если предположить, что все звёзды подобны Солнцу, то любой участок неба в этой связи должен быть таким же ярким, как и солнечный диск, но в реальности это не так, потому что в ночное время суток темно; а если бы Вселенная была конечной, то число звёзд в такой Вселенной тоже было бы конечным, и тогда небо не смогло бы быть столь ярким; но в этой ситуации предположение о конечности Вселенной противоречит наблюдаемому равномерному распределению звёзд в ней, что в соответствии с законом всемирного тяготения И. Ньютона в ограниченной конечной Вселенной должны в итоге сконцентрироваться в одном локальном месте → *a*





Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Фотометрический парадокс (Генрих Ольберс, Германия, 1826 г.)

Причины отсутствия фотометрического парадокса:

1. конечность объёма наблюдаемой звёздной Вселенной; 2. потеря энергии фотонами, т.к.:
по формуле М. Планка энергия фотона (кванта электромагнитного излучения) равна:

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot \nu_0}{1+z}, \text{ где: } 1+z = \frac{\lambda_{\text{наблюдаемая}}}{\lambda_0} - \text{изменение длины волны излучения}$$

z – параметр красного смещения



Генрих Ольберс, Германия, 1758-1840



Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

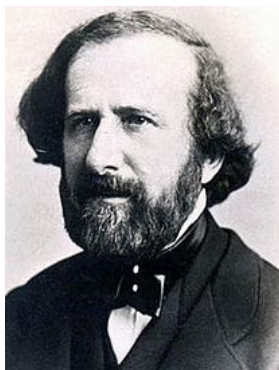
Фотометрический парадокс (Генрих Ольберс, Германия, 1826 г.)

Красное смещение

— это сдвиг спектральных линий хим. элементов в длинноволновую красную сторону, а синее смещение — сдвиг этих линий в коротковолновую фиолетовую сторону; впервые сдвиг спектральных линий в спектрах небесных тел объяснил И. Физо в 1848 г. на основе эффекта К. Доплера



Кристиан Доплер, Австрия,
1803-1853



Ипполит Физо, Франция,
1819-1896





Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Фотометрический парадокс (Генрих Ольберс, Германия, 1826 г.)

Красное смещение

Т.к. параметр красного смещения – $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$, где: λ – длина волны в точке наблюдения
 λ_0 – длина волны в точке испускания

излучения

№	z	Время, необходимое свету для достижения наблюдателя (млрд. лет)
1	0,1	1,3
2	0,2	2,4
3	0,5	5,0
4	1,0	7,7
5	1,5	9,3
6	2,0	10,3
7	4,0	12,1
8	6,0	12,7
9	8,0	13,0
10	10,0	13,2

Космологическое (метagalактическое) красное смещение – это наблюдаемое для всех далёких источников (галактики, квазары) понижение частот излучения, объясняемое как динамическое удаление этих источников друг от друга и, в частности, от нашей Галактики, т.е. как нестационарность (расширение) метagalактики.



Строение и эволюция Вселенной

**Конечность и бесконечность Вселенной,
парадоксы классической космологии**

Гравитационный парадокс (Хуго фон Зелигер, Германия, 1895 г.)



*Хуго фон Зелигер, Германия,
1849-1924*

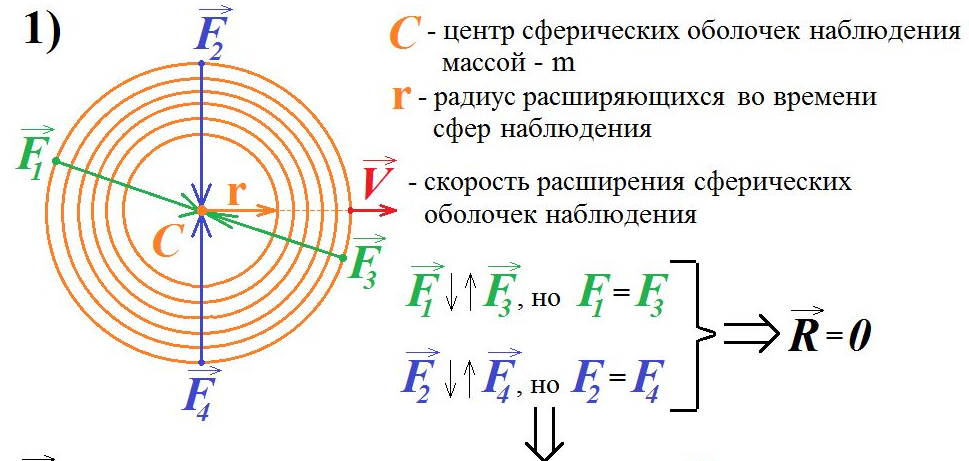


Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

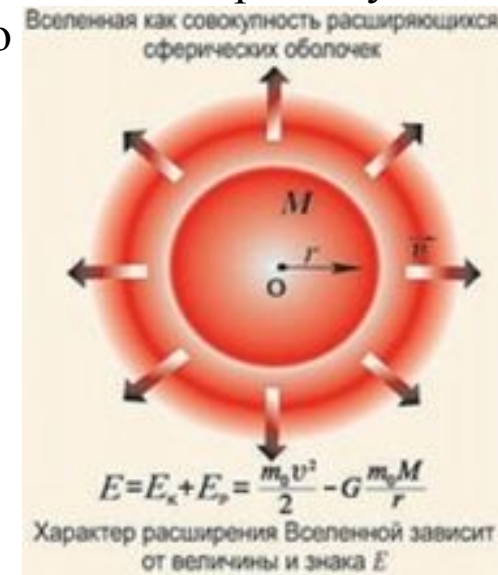
Гравитационный парадокс (Хуго фон Зелигер, Германия, 1895 г.)

Т.к. в соответствии с законом И. Ньютона в бесконечной Вселенной, равномерно заполненной веществом, нельзя точно рассчитать силу гравитации в любой её заданной точке в связи с тем, что:



$\vec{R} = 0$ - одновременное гравитационное влияние на C - центр сферы наблюдения со стороны далёких массивных небесных объектов, равномерно распределённых в просторах Вселенной

1) суммируя все гравитационные силы, одновременно действующие на эту точку массой - m , которые создаются одновременно разными концентрическими сферическими слоями с центром в этой же самой точке массой - m , то равнодействующая сила - $\vec{R}$ в итоге, как результат этой векторной суммы, будет равна нулю



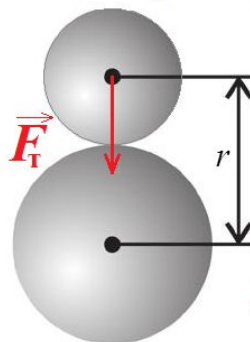


Строение и эволюция Вселенной

Конечность и бесконечность Вселенной, парадоксы классической космологии

Гравитационный парадокс (Хуго фон Зелигер, Германия, 1895 г.)

2) если же производить расчёт для подобных концентрических слоёв с центром в любой другой точке на удалении – r от рассматриваемой, то гравитационная сила тяготения будет равна силе, с которой шар радиусом – $r_{\text{шар}}$ притягивает любую точку массой – m , расположенную на его поверхности: 2)



$$r = r_{\text{шар}} + r_{\text{точка}}$$

$$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g}, \text{ а } \vec{F}_T = m \cdot \vec{g}, \text{ но:}$$

$$\vec{F}_T = m \cdot \vec{g} = G \cdot \frac{m \cdot M}{r^2} = G \cdot \frac{m \cdot M}{(r_{\text{шар}} + r_{\text{точка}})^2}$$



Строение и эволюция Вселенной

Закон Эдвина Хаббла

$$V = H \cdot R, \text{ где:}$$

V – скорость расширения Вселенной, т.е. скорость удаления галактик друг от друга

R – наблюдаемое удаление данной галактики от планеты Земля; H – постоянная Э. Хаббла

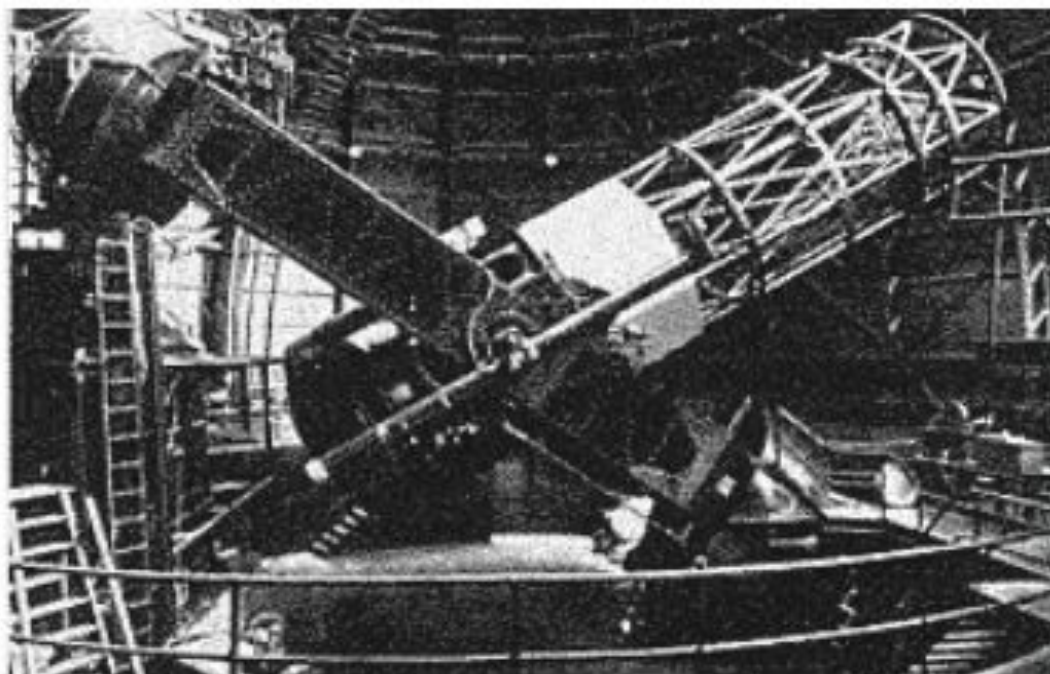
$$H = 75 \text{ км} / (\text{с} \cdot \text{Мпк}) = 75000 \text{ м} / (\text{с} \cdot 10^6 \cdot 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м}) = \frac{0,075 \cdot 10^6 \text{ м}}{3,1 \cdot 10^6 \cdot 10^{16} \text{ м} \cdot \text{с}} = 0,024 \cdot 10^{-16} \text{ с}^{-1} = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$$

Э. Хаббл

Телескоп имени Э. Хаббла



Edwin Hubble



Hubble – Mt. Wilson 100 Inch Telescope



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Модель Александра Александровича Фридмана

Т.к. Вселенная, однородно заполненная веществом, должна быть нестационарна; и в зависимости от средней плотности вещества в этой связи она должна либо сжиматься, либо расширяться; то при её расширении – V - скорость удаления галактик друг от друга, т.е. скорость их разбегания, пропорциональна удалению до них: $V \sim R$

Т.к. $\rho_{кр}$ - критическое значение плотности вещества влияет на характер движения Вселенной и на её геометрию, то в соответствии с общей теорией относительности А. Эйнштейна:

$$\rho_{кр} = \frac{3 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot G} \approx \frac{3 \cdot (2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1})^2}{8 \cdot 3,14 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2} \approx 0,103 \cdot 10^{-25} \text{ кг} / \text{м}^3 \approx 1,03 \cdot 10^{-26} \text{ кг} / \text{м}^3, \text{ где:}$$

G - гравитационная постоянная в соответствии с законом всемирного тяготения И. Ньютона

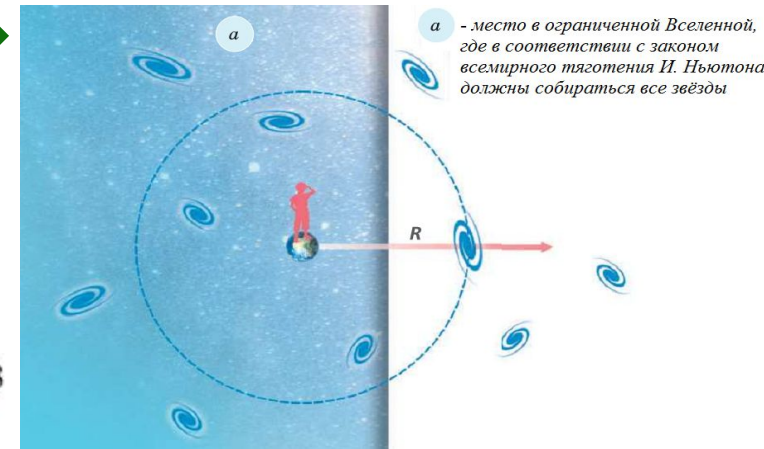
$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{R^2}, \text{ где: } \left. \begin{matrix} M_1 \\ M_2 \end{matrix} \right\} \text{ – массы разбегающихся галактик, а начальное удаление их друг от друга в пространстве – } R$$

Например, при наблюдении с Земли за некоторой галактикой на её движение оказывает гравитационное влияние только то вещество, которое находится внутри сферы наблюдения, т.о. M – масса этого вещества:

$$M = \rho \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

т.к. объём этой сферы

$$V_{сфера} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$





Строение и эволюция Вселенной

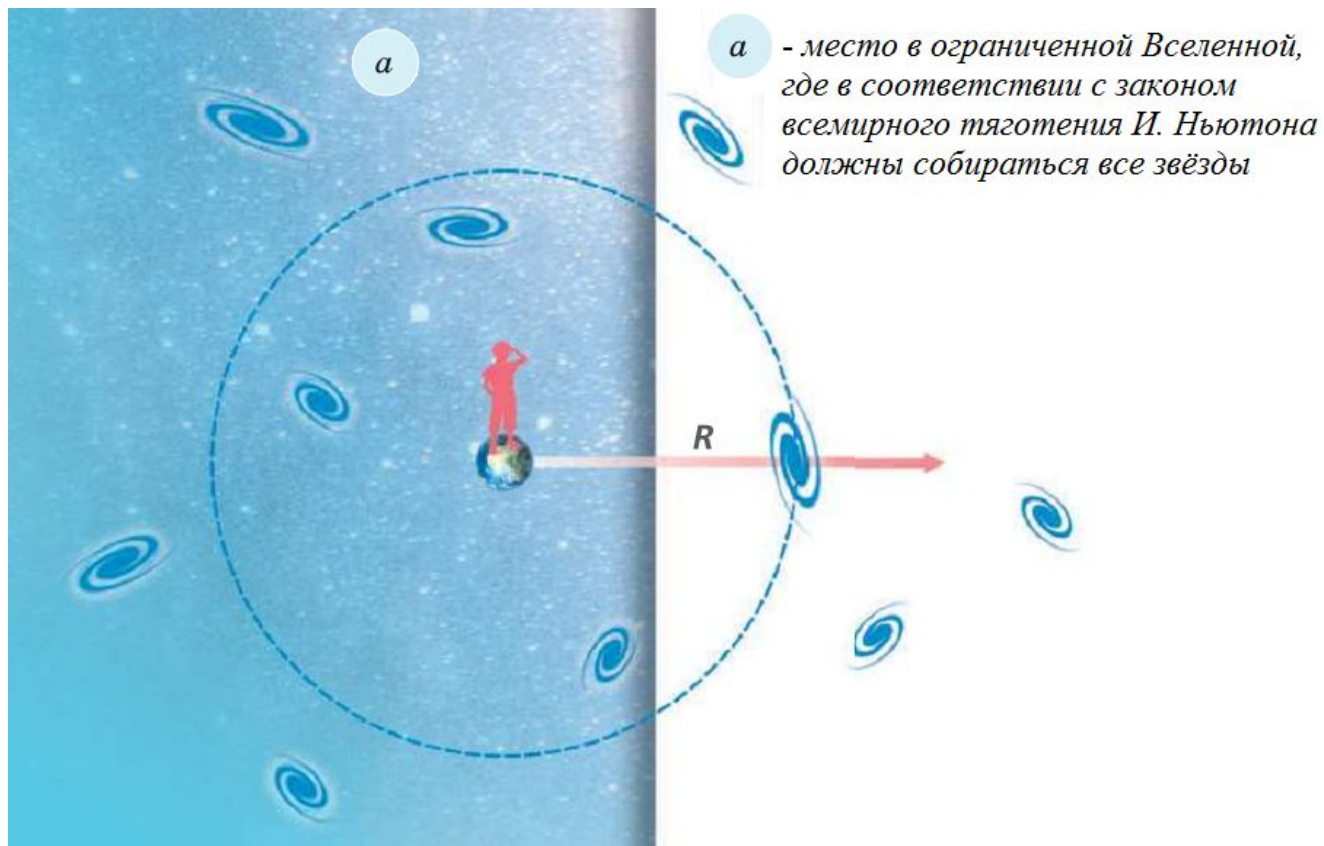
Космологические модели Вселенной

Модель Александра Александровича Фридмана

Фридман А.А. 1888-1925



А.Фридман



В соответствии с законом Э. Хаббла: $V = H \cdot R$, если скорость удаления некоторой наблюдаемой с Земли галактики окажется меньше второй космической скорости – V_{II} для данной сферы наблюдения, то в результате вместо удаления этой галактики от Земли произойдёт её приближение к Земле, т.е. процесс расширения Вселенной сменится её сжатием.



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Модель *Модель* Георгия Антоновича Гамова

Гамов Г.А. 1904 - 1968





Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Модель Георгия Антоновича Гамова

Логично предположить, что до образования звёзд вещество состояло из водорода (H), и первые образованные звёзды были чисто водородными, но из-за возникших в их недрах термоядерных реакций начал образовываться гелий (He); при этом часть звёздного вещества (H и He) возвращалась в межзвёздную среду либо при взрывах сверхновых, либо при спокойном сбросе вещества, которая и формировала образование нового поколения звёзд; поэтому в настоящее время образованный изначально в недрах звёзд гелий составляет 30% всей массы Вселенной; т.к. при термоядерном синтезе в недрах Солнца выделяется за каждую секунду $E = 4,8 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$ $\longrightarrow$ светимость Солнца: $L_{\odot} = 4,8 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$, т.е. каждую секунду образуется 10^{38} ядер гелия (He) $\longrightarrow$ масса образованного гелия за каждую секунду: $6,7 \cdot 10^{11} \text{ кг}$; учитывая, что во Вселенной 10^{11} звёзд и возраст Вселенной: $t_{\text{Вселенная}} = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ лет} = 1,3 \cdot 10^{10} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с} = 40996800 \cdot 10^{10} \text{ с} \approx 0,41 \cdot 10^{18} \text{ с}$; а также считая, что возраст Галактики соизмерим с возрастом Вселенной, можно рассчитать массу всего образованного гелия в ней за всё время существования Вселенной: $6,7 \cdot 10^{11} \text{ кг/с} \cdot 10^{11} \cdot 0,41 \cdot 10^{18} \text{ с} \approx 27,5 \cdot 10^{39} \text{ кг}$ $\longrightarrow 2 \cdot 10^{41} \text{ кг} \gg 27,5 \cdot 10^{39} \text{ кг}$. Т.о. очевидно, что масса всего образованного гелия во Вселенной значительно меньше всей массы Галактики, значит, основная масса гелия во Вселенной образовалась не в звёздах, а на ранних стадиях её расширения до образования в ней звёзд, причём при термоядерном синтезе образование гелия возможно лишь при температуре свыше нескольких миллионов кельвин $\longrightarrow$ на ранних этапах расширения Вселенная была плотной и горячей



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Реликтовое излучение*

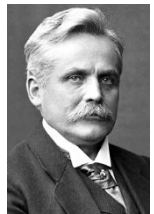
Если скорость удаления некоторой галактики больше или равна её второй космической скорости – V_{II} , то эта галактика будет постоянно удаляться, т.е. наблюдаемое расширение Вселенной в этом случае будет иметь неограниченный характер; при этом: $V = H \cdot R$

$$\frac{V}{V_{II}} = \frac{H \cdot R}{\sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}} = \frac{H \cdot R}{\sqrt{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \cdot R^2}} = \sqrt{\frac{H^2 \cdot R^2}{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho \cdot R^2}} \quad \rightarrow \quad V_{II} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}}$$

$$\frac{V}{V_{II}} = \sqrt{\frac{H^2}{\frac{8}{3} \cdot \pi \cdot G \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{3 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot G \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{3 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot G} \cdot \frac{1}{\rho}} = \sqrt{\frac{\rho_{кр}}{\rho}} \quad \rightarrow \quad \rho_{кр} = \frac{3 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot G}$$

$$V_{сферы} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

Т.о. на ранних этапах расширения вещество Вселенной было очень плотным и горячим, поэтому существующее уже тогда излучение находилось в равновесии с веществом, но по мере расширения температура вещества уменьшалась, значит, уменьшалась и температура теплового излучения, которая в настоящее время по [закону смещения В.Вина](#), устанавливающему зависимость дл λ ны волны – , на которой поток излучения энергии абсолютно чёрного тела достигает своего максимума, от температуры абсолютно чёрного $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$, где $b = \frac{c \cdot h}{k \cdot a} = 0,002898 \text{ м} \cdot \text{К}$ – постоянная В.Вина, а: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость света; $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – постоянная М.Планка; $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – коэффициент Л.Больцмана, $a \approx 2,821439... = \text{Const}$; должна понизиться до 3 К (-270 °С) в соответствии с теоретическими выводами современной космологии. Модель горячей Вселенной получила эмпирическое подтверждение в 1965 г. после открытия реликтового излучения, т.е. *Вильгельм Вин*, излучения, возникшего в момент возникновения Вселенной, с $\lambda_{max} = 10^{-3} \text{ м}$



Вильгельм Вин,
Германия, 1864-1928



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Реликтовое излучение

Если средняя плотность вещества во Вселенной больше критической плотности $\rho > \rho_{кр}$, то расширение Вселенной в дальнейшем должно смениться её сжатием, а при средней плотности вещества ($\rho \leq \rho_{кр}$) – расширение Вселенной не прекратится; но независимо от плотности вещества во Вселенной её гравитация с некоторой силой тормозит её же расширение

С точки зрения геометрических свойств Вселенной очевидно, что при $\rho > \rho_{кр}$ в ней действуют геометрические законы Б. Римана, в соответствии с которыми евклидова геометрия достоверно не учитывает все особенности сферических поверхностей, и поэтому на сфере сумма углов любого треугольника будет всегда больше 180° . Если же $\rho < \rho_{кр}$, то Вселенная характеризуется законами [геометрии Н.И. Лобачевского](#), в соответствии с которыми сумма углов треугольника на любой гиперболической поверхности всегда будет меньше 180° .



**Николай Иванович
Лобачевский, 1792-1856**



Евклид, 325-265 до н.э.



**Бернхард Риман, Германия
1826-1866**

И только при $\rho = \rho_{кр}$ во Вселенной справедливы законы геометрии Евклида, в соответствии с которыми сумма углов любого треугольника на плоскости всегда равна 180° .



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Реликтовое излучение



В 1960 г. в Кроуфорд-Хилле, Холмдел (шт. Нью-Джерси, США) была построена антенна для приема радиосигналов, отражённых от спутника-баллона «Эхо». К 1963 г. для работы со спутником эта антенна была уже не нужна, и радиофизики Роберт Вудро Уилсон и Арно Элан Пензиас из лаборатории компании «Белл телефон» решили использовать её для радиоастрономических наблюдений. Антенна представляла собой 20-футовый рупор вместе с новейшим приёмным устройством, и в то время этот радиотелескоп был самым чувствительным инструментом для измерения радиоволн. А. Пензиас и Р. Уилсон предполагали провести измерения радиоизлучения межзвёздной среды нашей Галактики на волне длиной 7,35 см и вообще не знали о теории горячей Вселенной и не планировали поиск реликтового излучения.

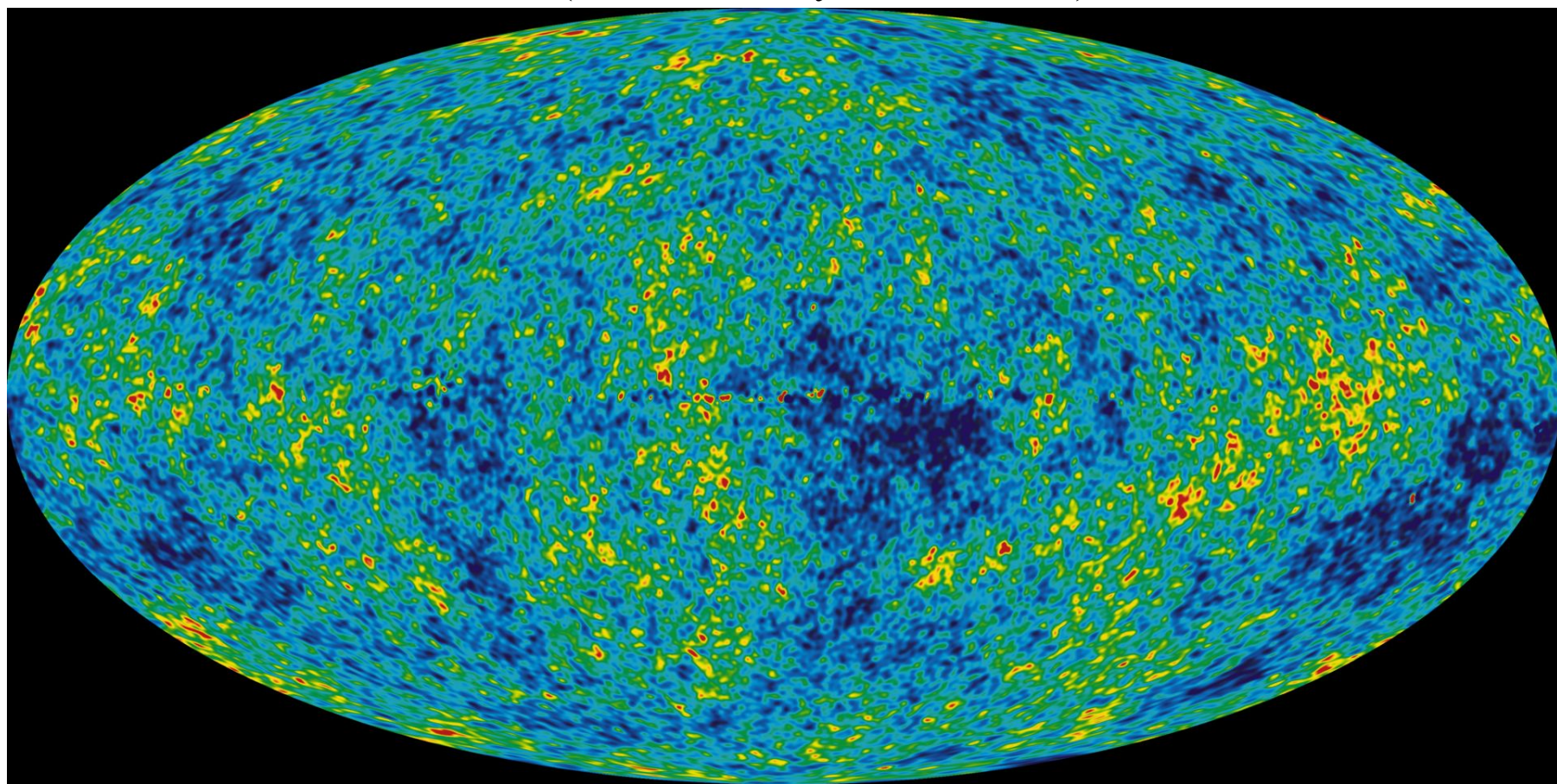


Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Реликтовое излучение

Восстановленная карта (панорама) анизотропии (однородности) реликтового излучения с исключённым изображением Галактики, изображением радиоисточников и изображением дипольной анизотропии. Красные цвета означают более горячие области, а синие цвета — более холодные области (по данным спутника WMAP)

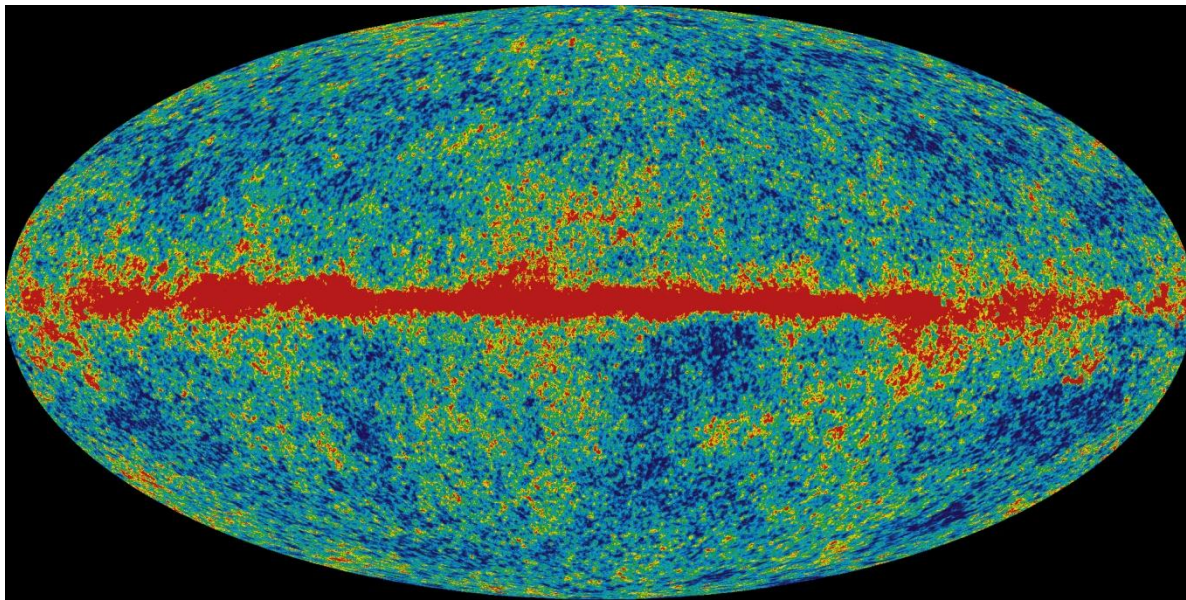




Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Реликтовое излучение*

Если на панораму анизотропии микроволнового реликтового излучения наложить излучение Млечного Пути (красная горизонтальная область), то мелкозернистая структура распределения реликтового излучения указывает на неоднородности в распределении вещества в период формирования этого излучения; при этом из указанных неоднородностей в дальнейшем были образованы галактики и звёзды



В результате наблюдений очевидно, что реликтовое излучение не связано ни с какими известными небесными телами и их системами, оно равномерно заполняет видимую Вселенную, характеризуя горячее и сверхплотное состояние вещества в начале расширения Вселенной; поэтому это излучение так и называется – реликтовым, т.е. оставшимся от начальных этапов эволюции Вселенной



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

Метагалактика

– это доступная для наблюдений любыми современными техническими средствами часть Вселенной, за пределами которой располагаются галактики, от которых свет не доходит к нам, т.к. они от нас как бы за горизонтом, и поэтому радиус метагалактики – R_M называется горизонтом видимости, который можно рассчитать по закону Э.Хаббла: $V = H \cdot R$; т.к. скорость удаления галактик друг от друга не превышает скорости света, то:

$$V = c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \longrightarrow R_M = \frac{V}{H} = \frac{c}{H} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}} = 1,25 \cdot 10^{26} \text{ м} = \frac{1,25 \cdot 10^{26}}{9,46 \cdot 10^{15}} \text{ св.лет} = 0,13 \cdot 10^{11} \text{ св.лет} = 13 \cdot 10^9 \text{ св.лет}$$

$$R_M = 1,25 \cdot 10^{26} \text{ м} = \frac{1,25 \cdot 10^{26}}{3,1 \cdot 10^{16}} \text{ пк} = 4 \cdot 10^9 \text{ пк}, \text{ т.к.}$$

$$1 \text{ св.год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м}$$

$$1 \text{ пк} = 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м} = \frac{3,1 \cdot 10^{16}}{9,46 \cdot 10^{15}} \text{ св.год} \approx 3,28 \text{ св.лет}$$

Т.к. в метагалактике наблюдается около 10^{11} галактик, при этом в состав каждой входит 10^{11}

звёзд, то принимая звёздные массы, близкими к солнечной массе: $M_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ с учётом

объёма сферы наблюдения: $V_{\text{сферы}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R_M^3 \approx \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (1,25 \cdot 10^{26} \text{ м})^3}{3} \approx 8,18 \cdot 10^{78} \text{ м}^3$; а масса вещества, содержащегося в метагалактике: $M = 10^{11} \cdot 10^{11} \cdot M_{\odot} \approx 10^{22} \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 2 \cdot 10^{52} \text{ кг}$ $\longrightarrow$ наблюдаемая средняя плотность вещества Вселенной

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{M}{V_{\text{сферы}}} \approx \frac{2 \cdot 10^{52} \text{ кг}}{8,18 \cdot 10^{78} \text{ м}^3} \approx 0,244 \cdot 10^{-26} \text{ кг/м}^3 \approx 2,44 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3$$

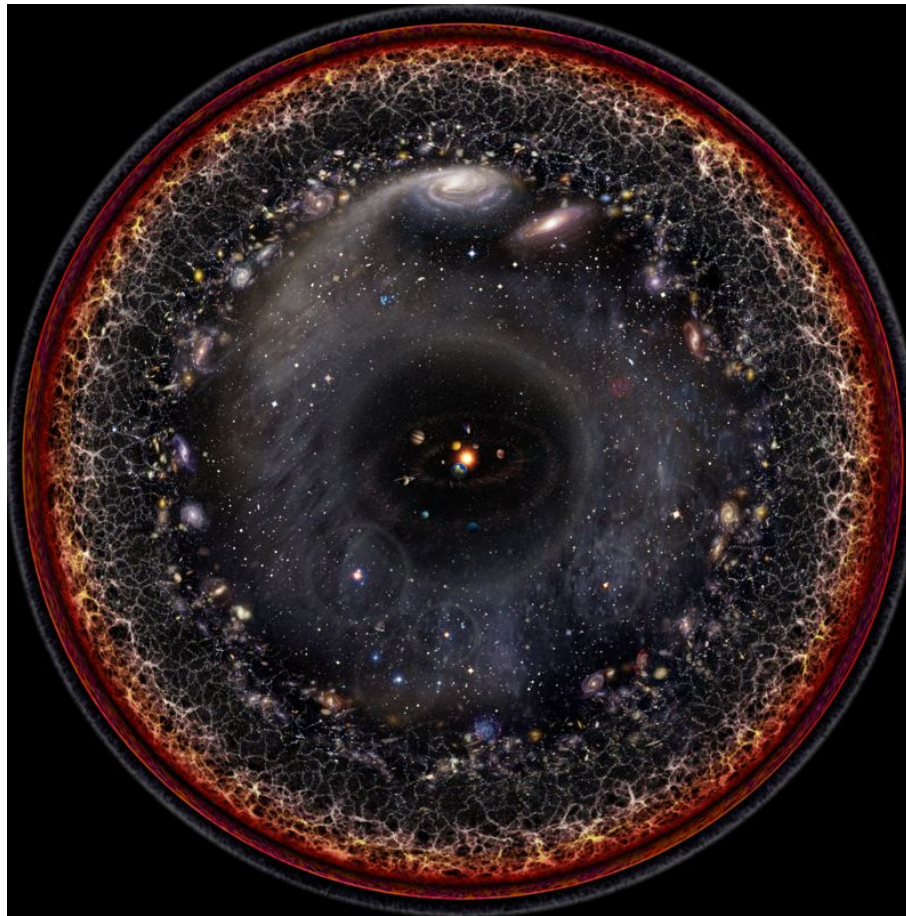
$\downarrow$ наблюдаемая средняя плотность вещества Вселенной примерно в 4 раза меньше критической плотности – $\rho_{\text{кр}}$ $\longrightarrow$

Вселенная должна расширяться всегда



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Метагалактика*



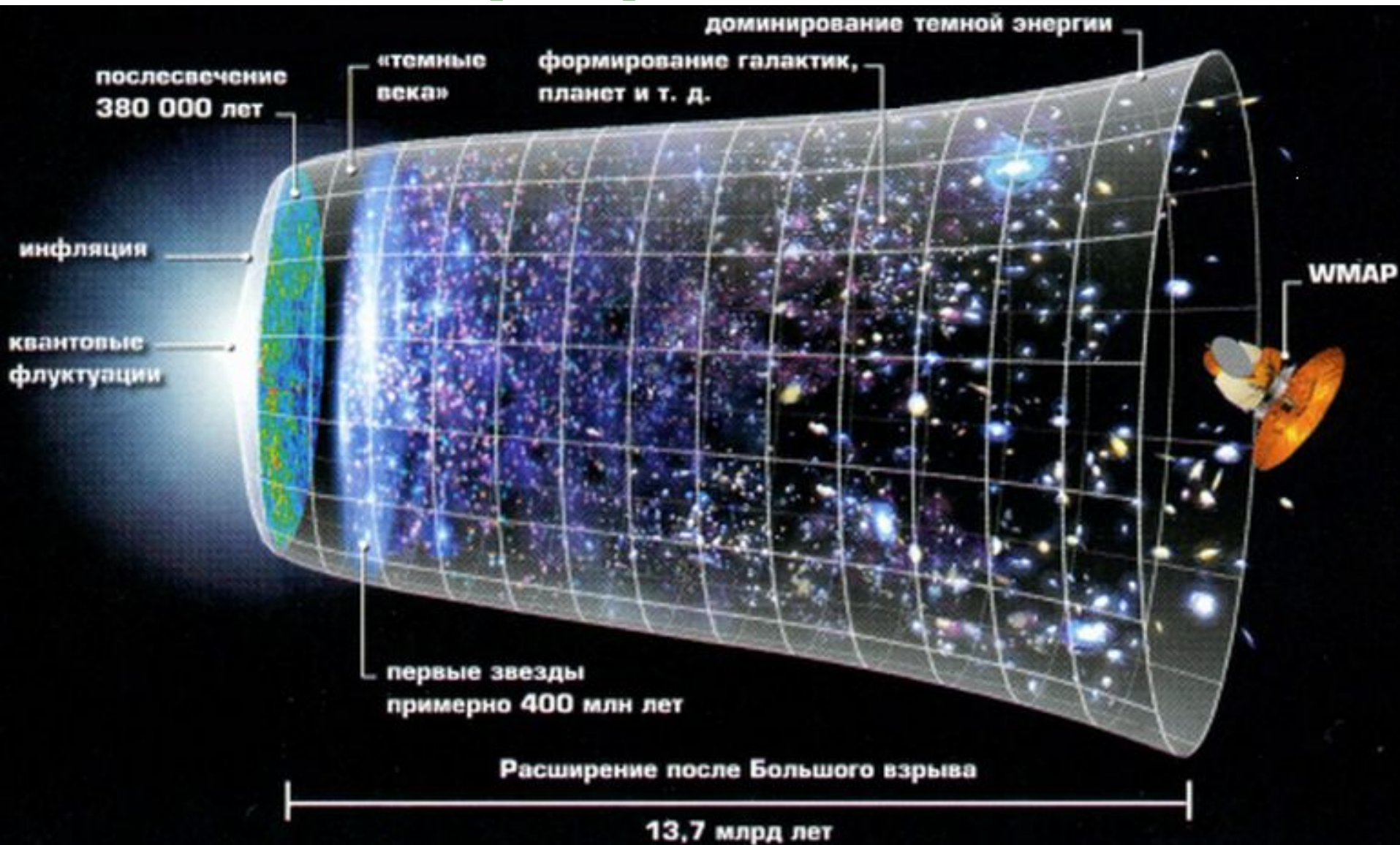
– это изображение метагалактики в логарифмическом масштабе, где в центре находится Солнечная система, далее наша галактика – Млечный Путь, затем соседние и дальние галактики, крупномасштабная структура Вселенной и реликтовое излучение, по краю изображена невидимая плазма Большого взрыва



Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной

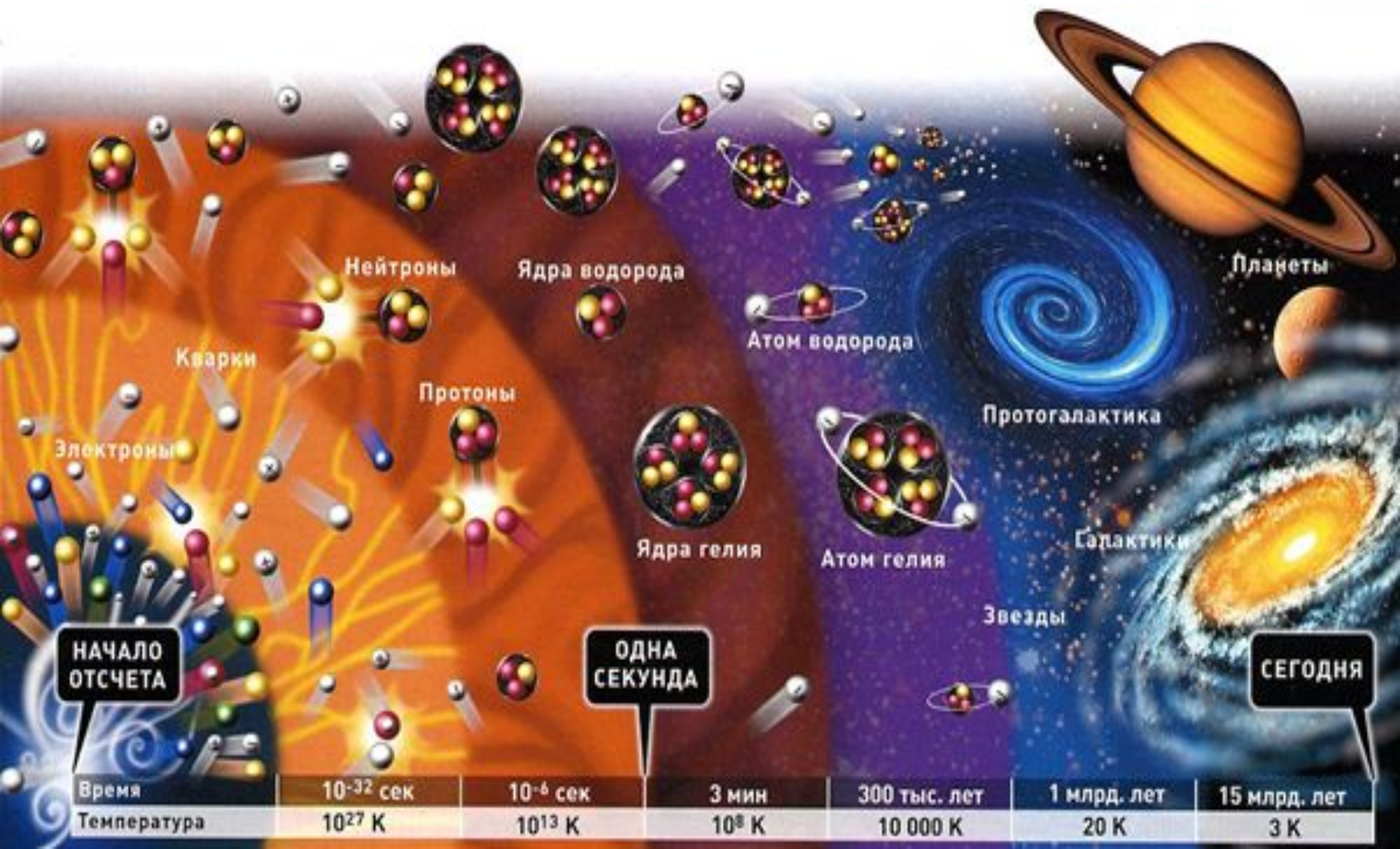
Модель расширяющейся Вселенной





Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Эволюция расширяющейся Вселенной*





Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Эволюция расширяющейся Вселенной*





Строение и эволюция Вселенной

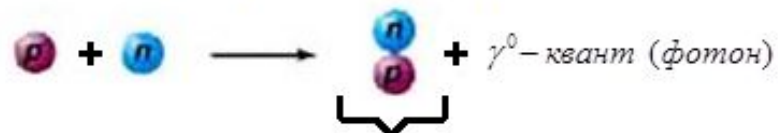
Космологические модели Вселенной *Эволюция расширяющейся Вселенной*

№	время	температура, К	состояние
1	$10^{-45} - 10^{-37}$ с	более 10^{26}	инфляционное расширение – это расширение Вселенной на ранней стадии Большого взрыва, когда её расширение было более ускоренным
2	10^{-6} с	более 10^{13}	возникновение лептонов (кварков и электронов)
3	10^{-5} с	10^{12}	образование протонов и нейтронов (нуклонов)
4	10^{-4} с – 3 мин.	$10^{11} - 10^9$	возникновение атомных ядер ^2H , He, Li
5	400000 лет	4000	образование атомов
6	15000000 лет	300	продолжение расширения газового облака
7	10^9 лет	20	зарождение первых звёзд и галактик
8	$3 \cdot 10^9$ лет	10	образование тяжёлых атомных ядер при взрывах звёзд
9	$10^{10} - 15 \cdot 10^9$ лет	3	появление планет и разумной жизни
10	10^{14} лет	10^{-2}	прекращение процесса рождения звёзд
11	10^{37} лет	10^{-18}	истощение энергии всех звёзд
12	10^{40} лет	10^{-20}	испарение чёрных дыр и рождение элементарных частиц
13	10^{100} лет	$10^{-60} - 10^{-40}$	Завершение испарения всех чёрных дыр

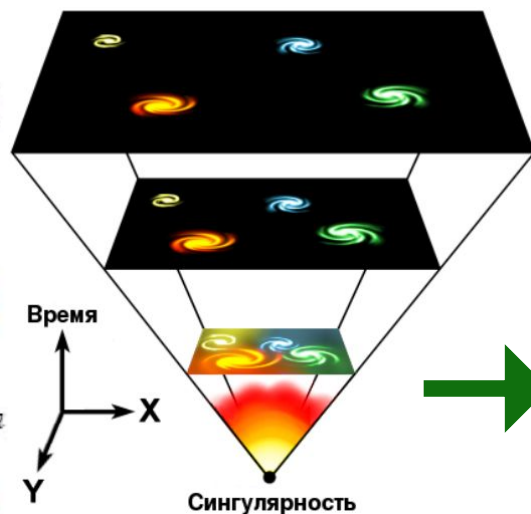
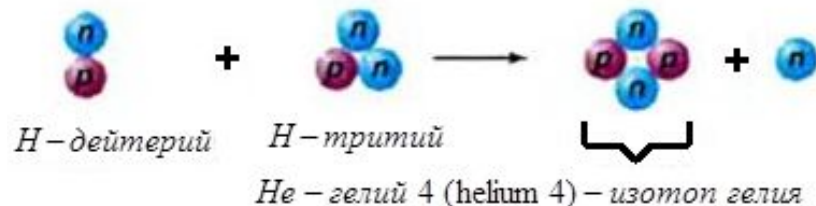
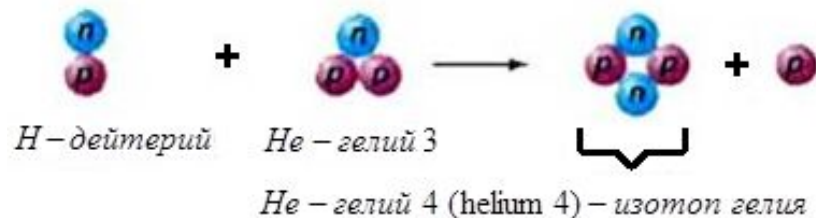
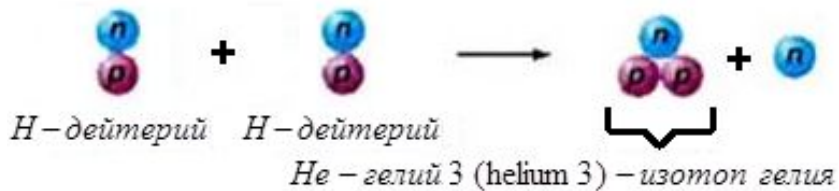
Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной Будущее расширяющейся Вселенной

Схема превращения водорода в гелий

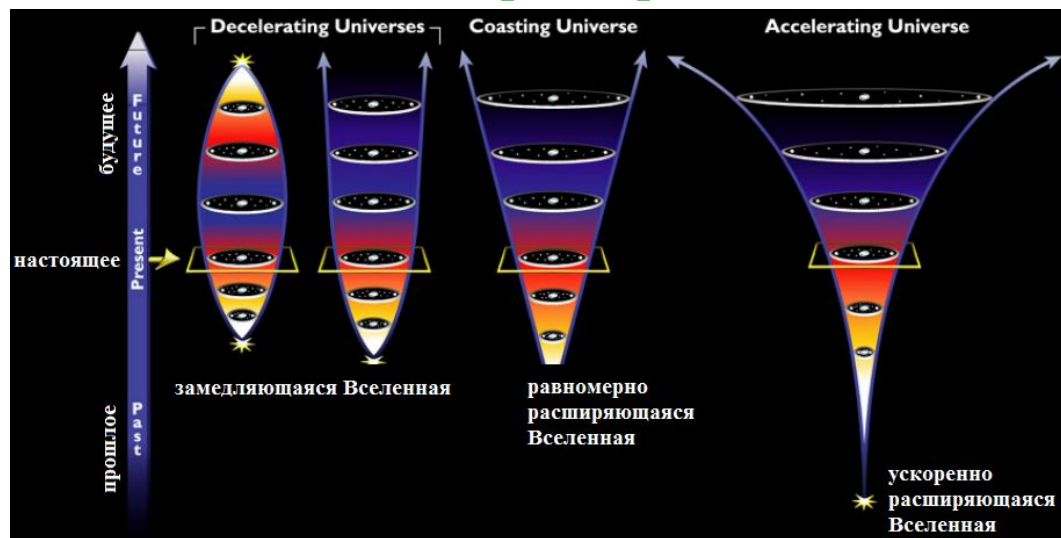


H – дейтерий (deuterium) – изотоп водорода



Сингулярность – это такое состояние Вселенной в начальный момент Большого взрыва, для которого характерны бесконечные плотность и очень высокая температура вещества Вселенной

Возможные модели расширения Вселенной



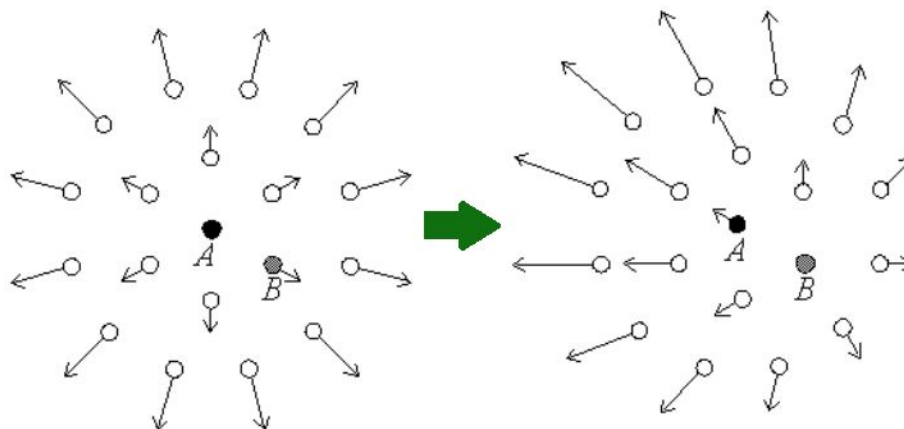


Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Гипотеза о Большом взрыве*



Похоже на Большой взрыв?



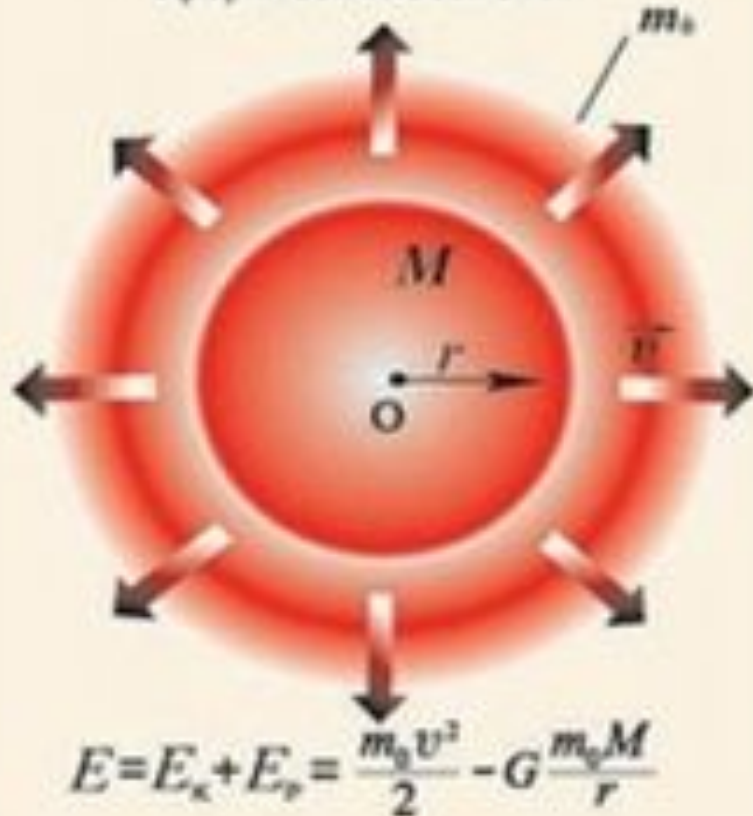
Занимаем ли мы особое место?



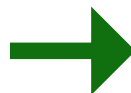
Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной *Вселенная как совокупность расширяющихся сферических оболочек наблюдения*

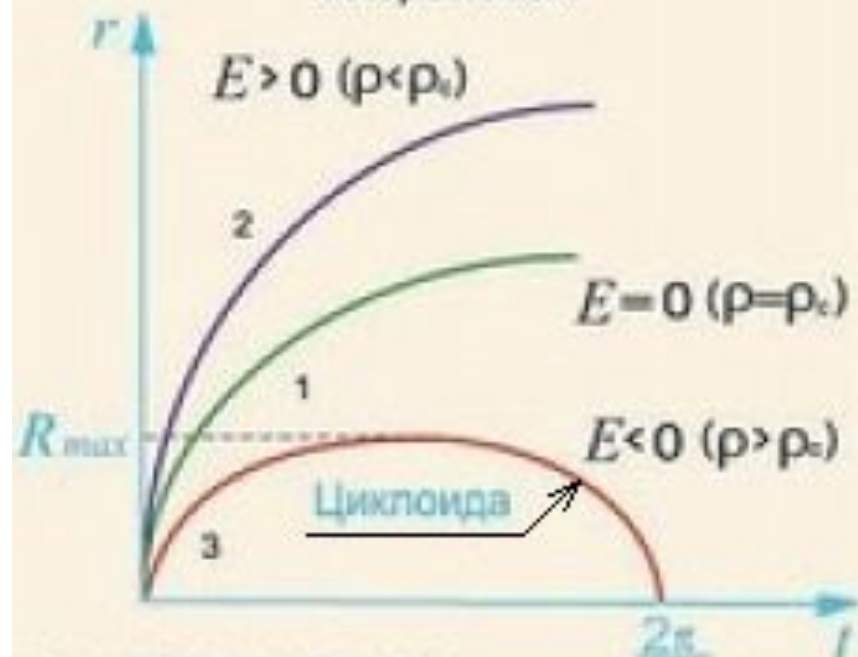
Вселенная как совокупность расширяющихся
сферических оболочек



Характер расширения Вселенной зависит
от величины и знака E



Изменение радиуса Вселенной
со временем



1) $\rho = \rho_c$ ($E = 0$)

— открытое плоское пространство

2) $\rho < \rho_c$ ($E > 0$)

— открытое гиперболическое пространство

3) $\rho > \rho_c$ ($E < 0$)

— замкнутое, конечное, сферическое пространство

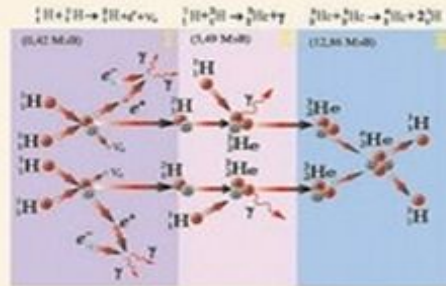
Строение и эволюция Вселенной

Космологические модели Вселенной Основные термоядерные реакции в недрах звёзд

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ ЗВЕЗД

ПРОТОН-ПРОТОННЫЙ ЦИКЛ

Ханс Бете, 1939 г.

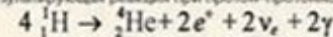


$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$\Delta E = 1,02 \text{ МэВ}$$

ВРЕМЯ СВЕЧЕНИЯ СОЛНЦА

Энергия выделяющаяся при свечении Солнца
Результирующая реакция при протон-протонном цикле



Энергия, выделяющаяся в результате протон-протонного цикла:

$$E_{pp} = (2 \cdot 0,42 + 2 \cdot 5,49 + 12,86) \text{ МэВ} = 24,7 \text{ МэВ}$$

При аннигиляции двух позитронов выделяется дополнительная энергия

$$2m_e c^2 = 1,02 \text{ МэВ, т.е.}$$

$$E_{pp} = (24,7 + 2 \cdot 1,02) \text{ МэВ} = 26,7 \text{ МэВ}$$

Число протонов $N_{p\odot}$ на Солнце

$$N_{p\odot} = \frac{M_\odot}{m_p} = \frac{2 \cdot 10^{30}}{1,6 \cdot 10^{-27}} \approx 10^{57}$$

Полная термоядерная энергия $E_{тж}$, которая может выделиться на Солнце в результате синтеза ядер гелия из четырех ядер водорода

$$E_{тж} = \frac{1}{4} N_{p\odot} \cdot E_{pp} \approx 10^{44} \text{ Дж}$$

Время за которое будет израсходована термоядерная энергия при мощности излучения $P_{сол}$

$$\tau_{тж} = \frac{E_{тж}}{P_{сол}} = \frac{10^{44}}{4 \cdot 10^{26} \cdot 3,16 \cdot 10^{-26}} \approx 10 \text{ млрд. лет}$$

Термоядерные реакции синтеза являются основным источником энергии звезд

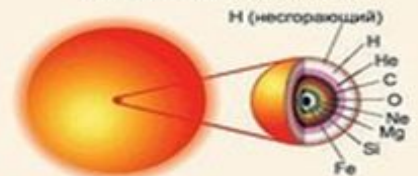
ОСНОВНЫЕ ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ В ЗВЕЗДАХ

Минимальная масса звезды, $M_\odot$	Термоядерная реакция в ядре звезды	Последний синтезируемый химический элемент	Минимальная температура синтеза, млн. К
0,1	$4 \text{ } ^1\text{H} \rightarrow \text{ } ^4\text{He}$	^4He	10
2	$3 \text{ } ^4\text{He} \rightarrow \text{ } ^{12}\text{C} + \text{ } ^4\text{He}$	^{12}C	100
4	$2 \text{ } ^{12}\text{C} \rightarrow \text{ } ^{24}\text{Mg}$	^{24}Mg	600
5	$2 \text{ } ^{12}\text{C} \rightarrow \text{ } ^{20}\text{Ne} + \text{ } ^4\text{He}$	^{20}Ne	740
8	$2 \text{ } ^{16}\text{O} \rightarrow \text{ } ^{32}\text{S}$	^{32}S	1500
15	$2 \text{ } ^{16}\text{O} \rightarrow \text{ } ^{28}\text{Si} + \text{ } ^4\text{He}$	^{28}Si	4000
20	$\text{ } ^{56}\text{Fe} + \gamma \rightarrow \text{ } ^{54}\text{Fe} + 2 \text{ } ^1\text{H}$	^{56}Fe	6000

Чем больше минимальная начальная масса звезды, тем тяжелее последний синтезируемый химический элемент в звезде

СИНТЕЗ ТЯЖЕЛЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ядро предсверхновой звезды



Процентный состав химических элементов примерно такой же, как на Земле

Процентное содержание основных химических элементов межзвездного вещества

Химический элемент	H	He	O	C	Ne	N	Fe	Mg	Si
Процентное содержание	70%	28%	0,7%	0,3%	0,3%	0,1%	0,1%	0,09%	0,09%



Строение и эволюция Вселенной

Спасибо за внимание

**Новых открытий, достижений и успехов
вам на уроках физики и астрономии!**

