

Глава 8

СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

- КОНЕЧНОСТЬ И БЕСКОНЕЧНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ – ПАРАДОКСЫ КЛАССИЧЕСКОЙ КОСМОЛОГИИ
- РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ
- МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕЙ ВСЕЛЕННОЙ И РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

Первое реальное представление о Вселенной было получено в 1990 г., когда на низкую околоземную орбиту был запущен телескоп «Хаббл». За первые годы его работы были обнаружены миллионы галактик, а их общее число в видимой Вселенной по подсчётам учёных могло составлять от 100 до 200 миллиардов. И каждая из этих галактик содержит в себе миллиарды звёзд. Уже тогда учёные были поражены истинными масштабами Вселенной. Но теперь количество галактик в видимой Вселенной может составлять около 1 триллиона, что минимум в 10 раз превышает предыдущие расчёты.

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как связан закон всемирного тяготения с представлениями о конечности и бесконечности Вселенной.
- Какие противоречия раскрывает фотометрический парадокс.
- Почему необходимо привлечение общей теории относительности для построения модели Вселенной.

ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется закон всемирного тяготения?
- Из каких объектов состоит Вселенная?

КОНЕЧНОСТЬ И БЕСКОНЕЧНОСТЬ ВСЕЛЕННОЙ — ПАРАДОКСЫ КЛАССИЧЕСКОЙ КОСМОЛОГИИ

Астрономия изучает не только отдельные небесные тела и их группы: звёзды, планеты, скопления звёзд, галактики и их скопления, объектом её изучения является Вселенная как единое целое. При изучении небесных тел мы можем сравнивать их между собой, проследить их эволюцию. При изучении Вселенной мы этого делать не можем, так как Вселенная уникальна, мы не можем посмотреть на неё со стороны и сравнить с другой Вселенной.

КОСМОЛОГИЯ Раздел астрономии, изучающий строение и развитие (эволюцию) Вселенной в целом, называется **космологией** (от греч. *космос* — мир, Вселенная и *логос* — учение). В компетенцию космологии входит объяснение наблюдаемого распределения галактик в пространстве и их движение (разбегание).

Во времена Античности и в Средние века многие учёные полагали, что Вселенная конечна и ограничена сферой неподвижных звёзд. Этой точки зрения придерживались даже Н. Коперник и Т. Браге. Кроме этого, Вселенная представлялась статичной, т.е. не меняющейся со временем — звёзды застыли на своих местах, наблюдались только периодические движения в Солнечной системе.

С развитием науки, всё полнее раскрывающей физические процессы, происходящие в окружающем нас мире, большинство учёных постепенно перешли к материалистическим представлениям о бесконечности Вселенной. Огромное значение имело открытие И. Ньютоном закона всемирного тяготения.

Одним из важных следствий этого закона явилось утверждение, что в конечной Вселенной всё её вещество за ограниченный промежуток времени должно стянуться в единую тесную систему, тогда как в бесконечной Вселенной вещество под действием тяготения собирается в некоторых ограниченных объёмах — «островах» (по тогдашним представлениям — в звёздах), равномерно заполняющих Вселенную.



ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС Конечно, в рамках ньютоновской механики и теории гравитации возникали серьёзные проблемы при предположении о бесконечности Вселенной. Одна из таких проблем получила название *фотометрического парадокса*.

Иногда этот парадокс формулируют в виде вопроса: почему ночью небо тёмное? Казалось бы, имеется тривиальный ответ: ночью темно, так как Солнце находится под горизонтом. Но это не так.

В бесконечной статичной Вселенной имеется бесконечное число звёзд. Поэтому, если мы будем смотреть в каком-то направлении, то наш луч зрения рано или поздно наткнётся на звезду. Поэтому всё небо должно быть покрыто сплошной стеной из дисков звёзд разных угловых размеров. Причём дисков с меньшими угловыми размерами было бы больше.

Если предположить, что все звёзды похожи на Солнце, то любой участок неба должен быть таким же ярким, как Солнце. Но этого нет. Ночью темно. Если бы Вселенная была конечной, то в ней было бы конечное число звёзд и небо не было столь ярким. Но предположение о конечности Вселенной противоречило бы наблюдаемому равномерному распределению звёзд в ней. Ведь согласно теории тяготения Ньютона все звёзды в ограниченной Вселенной рано или поздно должны были бы собраться в одно место (*a*).

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ Большое значение для развития современных представлений о строении и развитии Вселенной имеет общая теория относительности, созданная А. Эйнштейном. Она обобщает теорию тяготения Ньютона для массивных тел и скоростей движения вещества, сравнимых со скоростью света.

Действительно, в галактиках сосредоточена колоссальная масса вещества, а скорости далёких галактик и квазаров сравнимы со скоростью света.

Согласно общей теории относительности гравитационное взаимодействие передаётся с конечной скоростью, равной скорости света. (По теории Ньютона гравитационное взаимодействие передаётся мгновенно.)

Общая теория относительности накладывает определённые ограничения на геометрические свойства пространства, которое уже нельзя считать евклидовым.

Согласно этой теории время не имеет абсолютного характера, а движение и распределение материи в пространстве нельзя рассматривать в отрыве от геометрических свойств пространства и времени. Гравитационное поле представляет собой искривление пространства-времени, создаваемое массивными телами.

Общая теория относительности, в частности, утверждает, что распределение и движение материи изменяют геометрические свойства пространства-времени, и наоборот, распределение и движение материи сами зависят от геометрии пространства-времени. Тяготение же согласно общей теории относительности есть результат изменений, вносимых присутствием материи в свойства пространства-времени, и передаётся с наибольшей скоростью, с которой возможна передача взаимодействия, — со скоростью света. И лишь в достаточно слабых и статических гравитационных полях при небольших скоростях движения, значительно меньших скорости света, закон тяготения Эйнштейна переходит в закон тяготения Ньютона. Качественно уравнения, полученные Эйнштейном (аналог законов механики Ньютона), выглядят так:

Величины, характеризующие геометрию пространства-времени: кривизна, сумма углов в треугольнике

$$\frac{8\pi G}{c^4}$$

Величины, характеризующие материю: масса, плотность, давление, скорость

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Что такое фотометрический парадокс?
- Какое значение имеет общая теория относительности для астрономии?

РАСШИРЯЮЩАЯСЯ ВСЕЛЕННАЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое космологическая модель Вселенной.
- Как определить возраст Вселенной.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое фотометрический парадокс?
- В чём суть общей теории относительности?

Впервые космологическую модель Вселенной в рамках общей теории относительности рассмотрел советский математик А. Фридман. Он показал, что Вселенная, однородно заполненная веществом, должна быть нестационарной, и тем самым объяснил наблюдаемую картину разбегания галактик.

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВСЕЛЕННОЙ В зависимости от средней плотности вещества Вселенная должна либо расширяться, либо сжиматься. При расширении Вселенной скорость разбегания галактик должна быть пропорциональна расстоянию до них — вывод, подтверждённый Э. Хабблом открытием красного смещения в спектрах галактик. Критическое значение плотности вещества, от которой зависит характер движения и геометрия Вселенной, равно:

$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

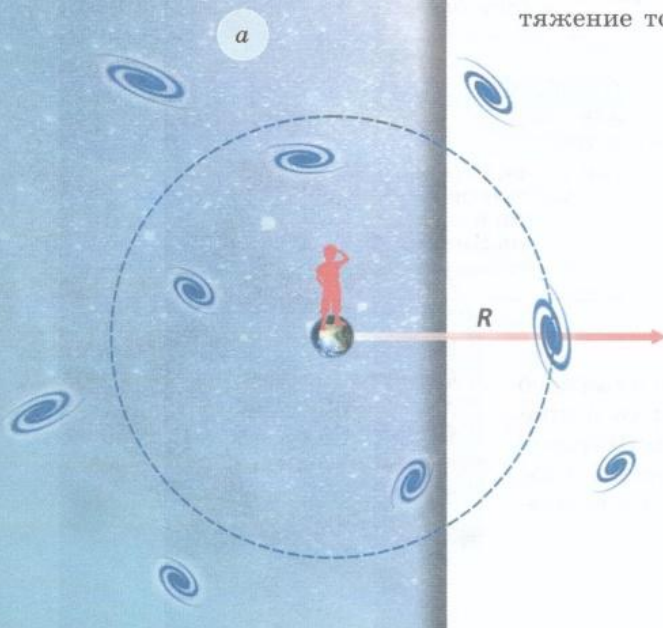
где G — гравитационная постоянная, $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ — постоянная Хаббла.

Для построения модели Вселенной используется общая теория относительности. Несмотря на это, понять основные особенности наблюдаемой картины расширения Вселенной можно и в рамках теории тяготения И. Ньютона. Это связано с тем, что в небольших масштабах Вселенной применима теория тяготения Ньютона. Поэтому расширение Вселенной можно проследить по характеру движения одной галактики, которая удаляется от нас со скоростью, меньшей скорости света.

Рассмотрим далёкую галактику, находящуюся на расстоянии R от нас (a). На её движение оказывает притяжение только то вещество, которое находится внутри

сферы с радиусом R , остальное вещество Вселенной не влияет своим притяжением на движение галактики. Масса вещества, находящегося внутри сферы с радиусом R и плотностью ρ , равна $M = \rho \cdot (4/3\pi)R^3$.

Эта галактика как бы находится на поверхности шара с данной массой и радиусом. Из наблюдений видно, что галактика движется по закону Хаббла со скоростью $v = H \cdot R$. Если эта скорость окажется меньше второй космической скорости для этого шара, то наблюдаемое удаление галактики сменится в конце концов приближением, т. е. расширение Вселенной сменится сжатием.



Если скорость будет больше или равна второй космической скорости, то галактика будет неограниченно удаляться, т. е. наблюдаемое расширение носит неограниченный характер.

Посмотрим внимательнее, от чего зависит характер будущего расширения Вселенной. Для этого сравним соответствующие выражения для скорости галактики и второй космической скорости:

$$\frac{v}{v_2} = \frac{HR}{\sqrt{\frac{2GM}{R}}} = \frac{HR}{\sqrt{\frac{8}{3}\pi G\rho R^2}} = \sqrt{\frac{3H^2}{8\pi G\rho}} = \sqrt{\frac{\rho_{кр}}{\rho}}$$

Критическое значение средней плотности вещества, от которой зависит характер его движения, равно:

$$\rho_{кр} = \frac{3H^2}{8\pi G},$$

где G — гравитационная постоянная, $H = 75 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ — постоянная Хаббла.

Помня, что $1 \text{ пк} = 3,08 \cdot 10^{13} \text{ км}$, и поэтому $1 \text{ Мпк} = 3,08 \cdot 10^{19} \text{ км}$, найдём $H = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}$. Тогда критическая плотность вещества

$$\rho_{кр} = \frac{3(2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1})^2}{8 \cdot 3,14 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)} \approx 10^{-26} \text{ кг/м}^3,$$

или $\rho_{кр} = 10^{-29} \text{ г/см}^3$.

Если средняя плотность вещества во Вселенной больше критической ($\rho > \rho_{кр}$), то в будущем расширение Вселенной сменится сжатием, а при средней плотности, равной или меньшей критической ($\rho \leq \rho_{кр}$), расширение не прекратится. Вне зависимости от плотности гравитация с большей или меньшей силой тормозит расширение Вселенной.

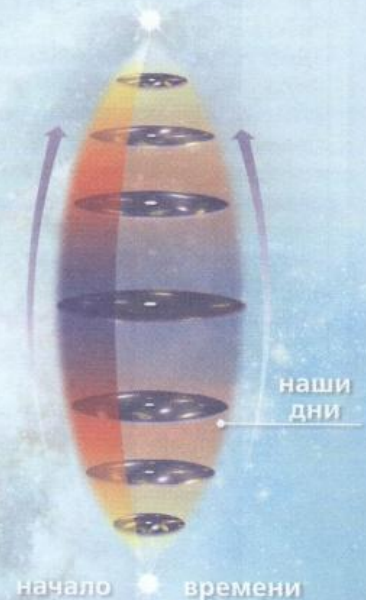
Что касается геометрических свойств Вселенной, то при $\rho > \rho_{кр}$ во Вселенной будут работать законы геометрии Римана. В частности, в ней сумма углов в треугольнике больше 180° , как в геометрии на сфере.

Если $\rho < \rho_{кр}$, то во Вселенной будут работать законы геометрии Лобачевского, в ней сумма углов в треугольнике меньше 180° , как геометрия типа поверхности седла.

Если $\rho = \rho_{кр}$, то во Вселенной будут работать законы хорошо знакомой нам геометрии Евклида, где сумма углов в треугольнике равна 180° , как на плоскости.

Если средняя плотность Вселенной больше критической ($\rho > \rho_{кр}$), то в будущем расширение Вселенной сменится сжатием, а при средней плотности, равной или меньшей критической ($\rho \leq \rho_{кр}$), расширение не прекратится. Мы не знаем средней плотности вещества во всей Вселенной, но можем подсчитать эту плотность в доступной изучению части Вселенной — в *мегагалактике*.

Модели возможной эволюции Вселенной



начало времени



начало времени

По современным представлениям Вселенная существенно больше по размерам, чем та её часть, которую мы наблюдаем.

Доступную наблюдениям Вселенную иногда называют *метagalактикой*. За её пределами расположены галактики, от которых свет не может дойти до нас, они как бы находятся за горизонтом.

По этой причине радиус наблюдаемой Вселенной называют *горизонтом видимости*. Свет от галактик, расположенных за горизонтом видимости, в настоящее время не наблюдаем.

ЗАДАЧА № 32

Полагая, что радиус наблюдаемой Вселенной возрастает пропорционально возрасту Вселенной $R \sim t$, оцените момент времени, когда во Вселенной стали образовываться галактики.

РАДИУС МЕГАГАЛАКТИКИ легко оценить с помощью закона Хаббла. Максимальная скорость не может превышать скорости света, поэтому максимальное расстояние, до которого можно наблюдать небесные тела, соответствует скорости разбегания галактик $v = c = 3 \cdot 10^5$ км/с, откуда

$$R_M = \frac{c}{H} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ км/с}}{75 \text{ км/(с} \cdot \text{Мпк)}} = 4 \cdot 10^3 \text{ Мпк} = 1,3 \cdot 10^{10} \text{ св. лет},$$

или $R_M = 1,24 \cdot 10^{26}$ м.

Как уже отмечалось, в видимой части Вселенной наблюдается около 100 млрд галактик ($N = 10^{11}$), похожих и непохожих на нашу Галактику. Каждая из них состоит примерно из $n = 10^{11}$ звёзд. Принимая массы звёзд в среднем близкими к массе Солнца $M_\odot = 10^{30}$ кг (большинство звёзд имеют массу меньше или сравнимую с солнечной), находим, что в объёме

$$v = \frac{4}{3} \pi R^3$$

содержится масса $M = NnM_\odot$, откуда средняя плотность вещества

$$\rho = \frac{M}{v} = \frac{NnM_\odot}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{10^{11} \cdot 10^{11} \cdot 10^{30} \text{ кг}}{\frac{4}{3} \cdot 3,14 \cdot (1,24 \cdot 10^{26} \text{ м})^3} = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3,$$

или $\rho = 1,3 \cdot 10^{-29}$ г/см³.

Следовательно, наблюдаемая средняя плотность Вселенной примерно в 8 раз меньше критической плотности и Вселенная должна расширяться вечно.

ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ Если наблюдения пока не позволяют нам с определённой точностью сказать о характере будущего расширения Вселенной, то время, когда в прошлом это расширение началось, мы можем оценить из закона Хаббла.

Действительно, если наблюдаемая нами галактика удаляется со скоростью v и сейчас, после начала расширения, находится на расстоянии r от нас, то своё удаление от нас она начала примерно в момент

$$t_{\text{вс}} = \frac{r}{V} = \frac{r}{Hr} = \frac{1}{H} = \frac{1}{2,4 \cdot 10^{-18} \text{ с}^{-1}} = 0,42 \cdot 10^{18} \text{ с} = 13 \cdot 10^9 \text{ лет}.$$

Эти рассуждения применимы для любой галактики. Таким образом, около 13 млрд лет назад всё вещество Вселенной было сосредоточено в небольшом объёме и плотность вещества была настолько высокой, что ни галактик, ни звёзд не существовало. Не существовало ни

атомов, ни молекул, а была сверхплотная смесь элементарных частиц.

Пока не ясны ни природа физических процессов, протекавших до этого сверхплотного состояния вещества, ни причины, вызвавшие расширение Вселенной. Ясно одно, что со временем расширение привело к значительному уменьшению плотности вещества, и на определённом этапе расширения стали формироваться галактики и звёзды.

Некоторые видят в наблюдаемом разбегании галактик аналогию с разлётом вещества во время взрыва, поэтому описанная теория расширения Вселенной получила название теории Большого взрыва, а время

$$t_B = 1/H = 13 \text{ млрд лет,}$$

прошедшее с начала этого взрыва, называют возрастом Вселенной.

Расширение Вселенной и связанное с ним наблюдаемое разбегание галактик объясняют отсутствие фотометрического парадокса. Действительно, из-за эффекта Доплера свет далёких галактик и звёзд испытывает красное смещение, энергия световых квантов уменьшается, меньше света приходит от этих галактик.

Кроме этого, мы видели, что Вселенная ограничена в размерах радиусом Вселенной. Этими двумя положениями и объясняется то, что небо ночью тёмное.



В микромире частицы и античастицы всегда рождаются парами, и мы вправе были ожидать равные количества вещества и антивещества во Вселенной. А вдруг есть места, состоящие полностью из антивещества. И всё же почему наблюдаемая часть Вселенной состоит из вещества? По современным представлениям наблюдаемая асимметрия вещества и антивещества возникла в первые секунды после рождения Вселенной.



ЗАДАЧА № 33

Полагая, что радиус наблюдаемой Вселенной возрастает пропорционально возрасту Вселенной $R \sim t$, а расстояние между галактиками пропорционально радиусу наблюдаемой Вселенной и современная плотность вещества равна $\rho_0 = 1,3 \cdot 10^{-27} \text{ кг/м}^3$, оцените, какой была средняя плотность вещества Вселенной в момент образования галактик.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Опишите космологическую модель Вселенной в рамках общей теории относительности.
- Как можно оценить возраст Вселенной?

МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕЙ ВСЕЛЕННОЙ И РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Где, когда и как образовалось основное количество гелия во Вселенной.
- Какие наблюдения указывают на высокие температуры вещества Вселенной в начале расширения.

ВСПОМНИТЕ:

- Почему необходимо привлечение общей теории относительности для построения модели Вселенной?

Теорию Большого взрыва, или, как она первоначально называлась, модель горячей Вселенной, предложил российский и американский физик Г. Гамов.

Общие представления о физических условиях на ранних стадиях расширения Вселенной можно получить из анализа химического состава вещества.

МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕЙ ВСЕЛЕННОЙ Естественно предположить, что до образования звёзд вещество состояло из простейшего химического элемента — водорода. Поэтому первые звёзды, сформировавшиеся из этого вещества, были чисто водородными. При термоядерных реакциях в недрах звёзд образовывался гелий. В дальнейшем часть их вещества возвращалась в межзвёздную среду либо при взрывах сверхновых, либо при спокойном сбросе вещества (как в планетарных туманностях), либо в процессах, сходных с солнечным ветром.

Из сброшенного вещества формировалось новое поколение звёзд. Исходя из этого можно предположить, что весь наблюдаемый во Вселенной гелий (его около 30% по массе) образовался в недрах звёзд.

Чтобы проверить это предположение, проведём простую оценку. Вспомним, что в термоядерных реакциях синтеза гелия из водорода в недрах Солнца каждую секунду выделяется $4 \cdot 10^{26}$ Дж энергии (светимость Солнца L_{\odot}). При образовании одного ядра гелия выделяется энергия

$$\Delta E = 4,8 \cdot 10^{-12} \text{ Дж.}$$

Поэтому каждую секунду в Солнце образуется 10^{38} ядер атомов гелия, или $6,7 \cdot 10^{11}$ кг гелия. Полагая, что возраст Галактики близок к возрасту Вселенной:

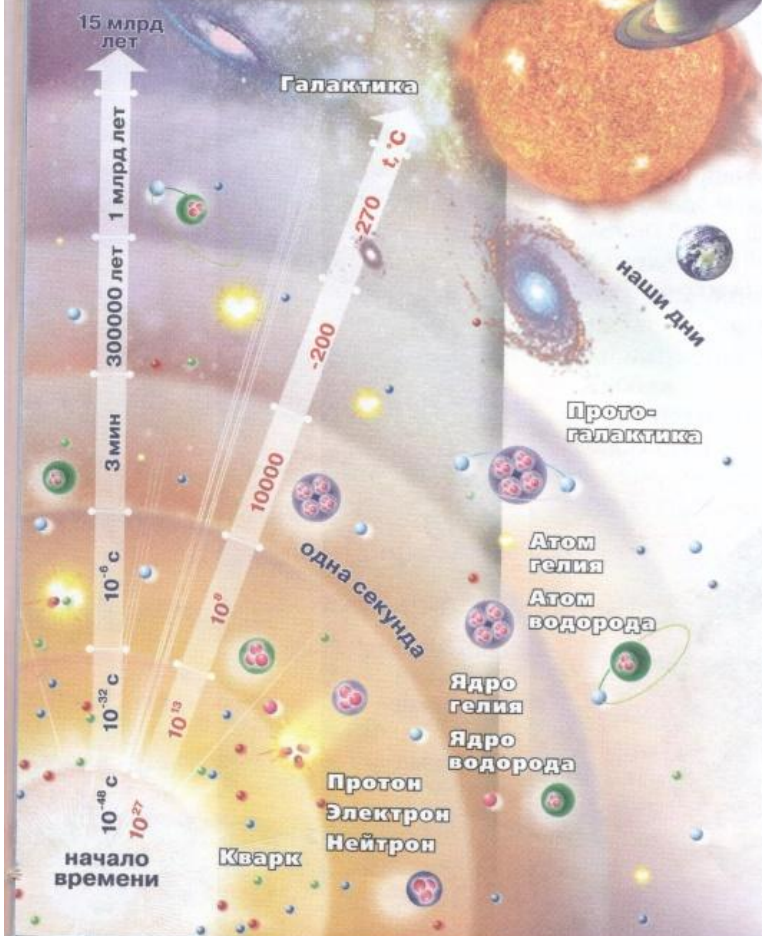
$$1,3 \cdot 10^{10} \text{ лет} = 3,9 \cdot 10^{17} \text{ с,}$$

легко подсчитать массу гелия, которая могла бы образоваться во всех звёздах (10^{11} звёзд) за этот промежуток времени:

$$6,7 \cdot 10^{11} \text{ кг/с} \cdot 10^{11} \cdot 3,9 \cdot 10^{17} \text{ с} = 2,6 \cdot 10^{40} \text{ кг.}$$

Это составляет 13% от всей массы Галактики (масса всех звёзд Галактики $2 \cdot 10^{41}$ кг), что существенно меньше наблюдаемой массы гелия.

Исходя из этого астрофизик Г. Гамов пришёл к выводу, что основная масса гелия образовалась не в звёздах, а на ранних стадиях расширения Вселенной, ещё до формирования в ней звёзд. Если учесть, что образование гелия в термо-



ядерных реакциях возможно лишь при температуре выше нескольких миллионов кельвинов, то на ранних этапах расширения Вселенная была не только плотной, но и горячей. Поэтому принятая в настоящее время модель расширяющейся Вселенной получила название *модели горячей Вселенной*.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И так, на ранних этапах расширения вещество Вселенной имело огромную плотность и очень высокую температуру. Было также излучение, которое находилось в равновесии с веществом. По мере расширения температура вещества уменьшалась и, следовательно, уменьшалась температура теплового излучения, которая к тому времени должна была снизиться до 3 К (-270°C).

Это предсказание современной космологии подтвердилось открытием в 1965 г. микроволнового излучения, максимум которого приходится на длину волны

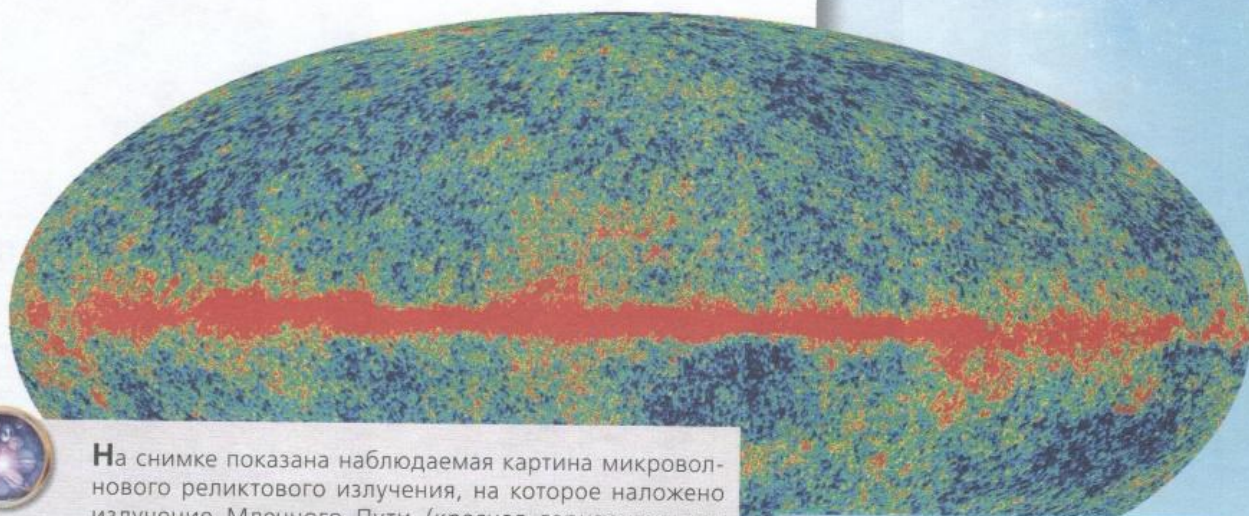
$$\lambda_{\text{max}} = 1 \text{ мм},$$

что согласно закону смещения Вина соответствует температуре излучения $T = 2,7 \text{ К}$.



Георгий (Джордж) Антонович Гамов
(1904—1968)

Выдающийся российский и американский физик-теоретик, астрофизик.



На снимке показана наблюдаемая картина микроволнового реликтового излучения, на которое наложено излучение Млечного Пути (красная горизонтальная полоса). Мелкозернистая структура распределения реликтового излучения указывает на неоднородности в распределении вещества в эпоху формирования излучения. Из этих неоднородностей в дальнейшем образовались звезды и галактики.

Как показали наблюдения, это излучение не связано ни с одним из известных небесных тел или их систем. Оно равномерно заполняет видимую Вселенную, т. е. характеризует горячее и сверхплотное состояние вещества в начале расширения. Поэтому это излучение получило название *реликтового излучения*, т. е. оставшегося от ранних этапов эволюции Вселенной.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Объясните, почему современная модель расширяющейся Вселенной названа моделью горячей Вселенной.
- Что такое реликтовое излучение?
- Полагая, что радиус Вселенной возрастает в зависимости от времени, оцените, когда во Вселенной стали образовываться галактики (время, когда галактики касались друг друга).

ЗАДАЧА № 34

Полагая, что все масштабы во Вселенной меняются пропорционально радиусу Вселенной R , а максимум реликтового излучения приходится на длину волны $\lambda_{\text{max}} = 1\text{мм}$, оцените, на какой диапазон длин волн приходился максимум излучения и какой была температура излучения Вселенной в момент образования галактик.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

- При большой плотности расширение Вселенной должно смениться сжатием, а геометрия Вселенной будет похожа на геометрию на сфере. Если плотность маленькая, то расширение будет вечным, геометрия Вселенной будет похожа на геометрию Лобачевского. Только при плотности, равной критической, геометрия будет Евклидовой, как на плоскости, и расширение будет вечным.
- Вселенная в прошлом была плотной и горячей настолько, что в ней шли термоядерные реакции синтеза гелия из водорода, именно по этой причине сейчас основная масса вещества состоит из водорода и гелия.
- Реликтовое излучение является излучением, которое осталось от горячего состояния вещества в начале расширения Вселенной.

ПОДРОБНЕЕ...

- Дагаев М. М., Чаругин В. М. *Астрофизика. Книга для чтения по астрономии: Пособие для учащихся.* — М.: Просвещение, 1988.
- Ефремов Ю. Н. *Звёздные острова: Галактики звезд и Вселенная галактик.* — Фрязино: Век 2, 2007.
- Энциклопедия для детей. Т. 8. *Астрономия.* — М.: Аванта+, 2013.

Астронет

<http://www.astronet.ru>Элементы: популярный сайт
о фундаментальной науке<http://elementy.ru/>

Популярная механика

<http://popmech.ru>**ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:**

- Возраст Вселенной 13,5 млрд лет. Сейчас мы наблюдаем в самые мощные телескопы первые галактики, от которых свет идёт почти 12,5 млрд лет, так что они излучили свет, когда возраст Вселенной был всего около миллиарда лет. Как вы думаете, нарастив мощь телескопов, сможем ли мы увидеть начало Вселенной или хотя бы первые часы?
- Как вы думаете, до каких глубин ранней Вселенной мы можем экстраполировать наши знания, хотя общая теория относительности, на которой основана современная космология, применима до нулевых размеров Вселенной?
- Как вы думаете, что было до того, как возникла Вселенная, которую мы наблюдаем?