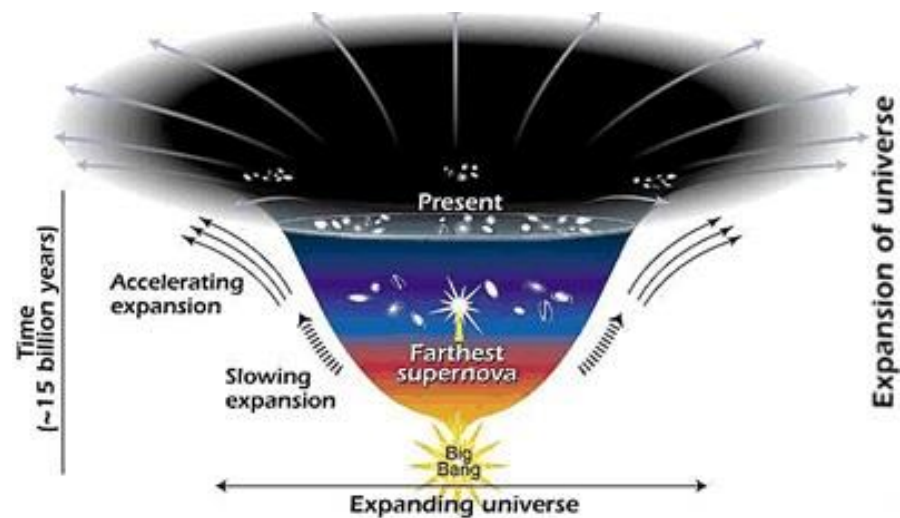


Тёмная энергия

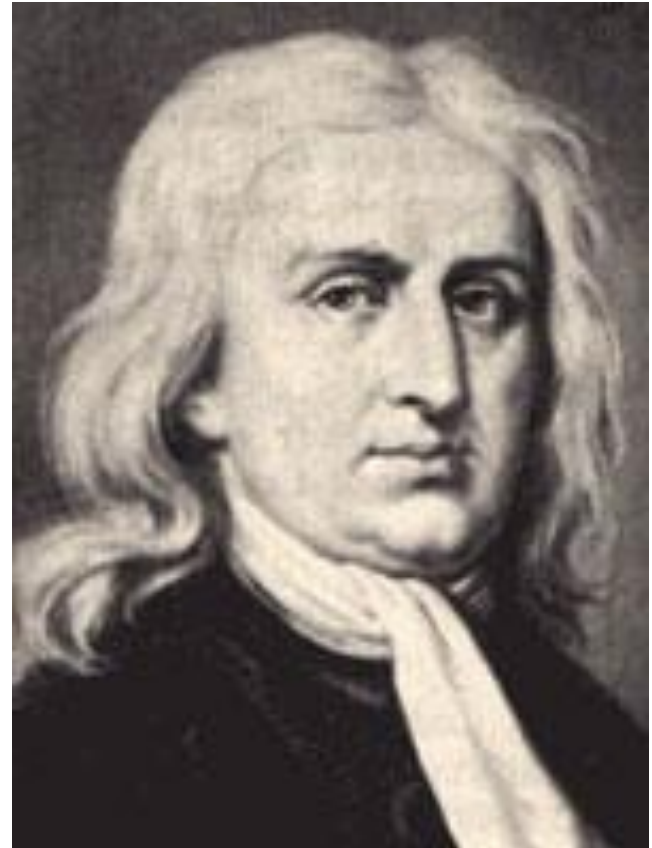


Проблема выбора модели развития Вселенной – основная проблема космологии. Космологическая модель – логически непротиворечивые схемы, описывающие всю комбинацию известных наблюдательных фактов о Вселенной с минимумом произвольных предположений. Современные идеализированные представления о свойствах пространства-времени (теория тяготения) и физика элементарных частиц являются основанием космологической модели.

Первая космологическая модель

Вселенная

- постоянна и неизменна во времени;
- однородна и изотропна;
- бесконечна;
- Пространство описывается геометрией Евклида.

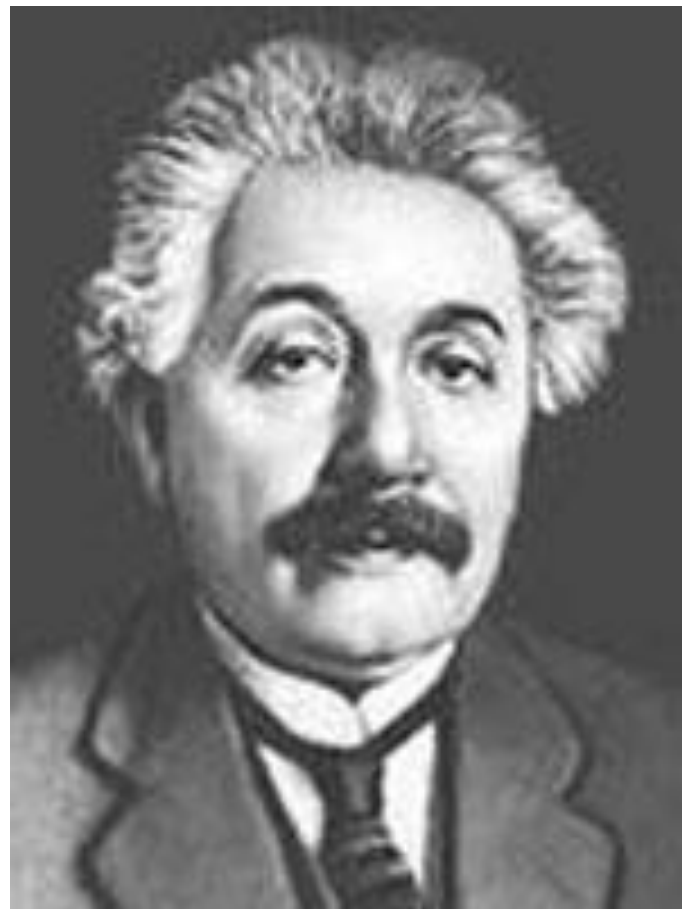


I. Newton

1643-1727

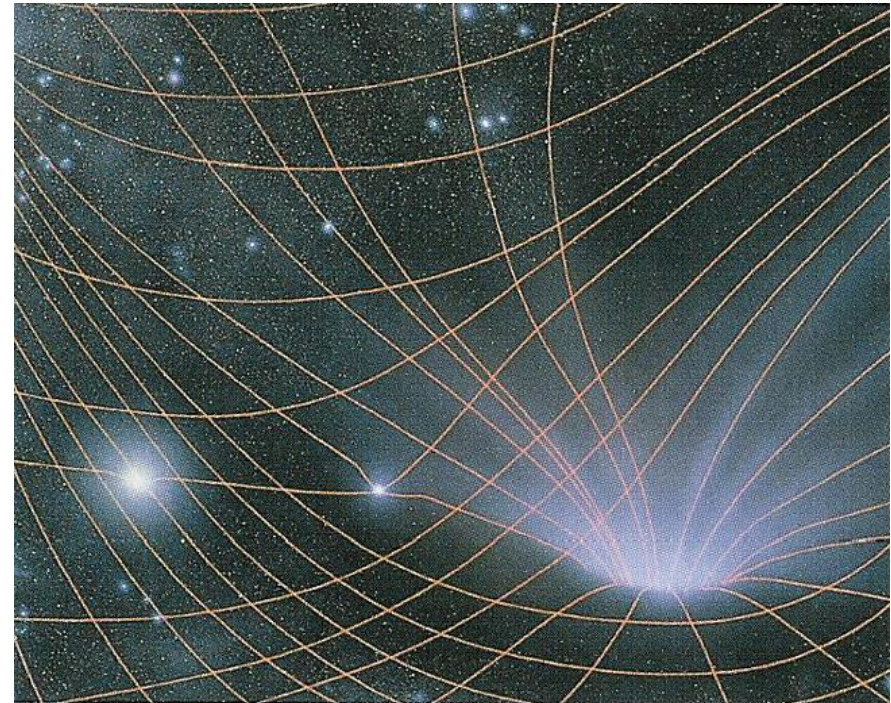
1916 г. – Общая теория
относительности
Альберта Эйнштейна.

В приложении к
космологии уравнения
Эйнштейна приводят к
нестационарной модели
Вселенной: Вселенная
эволюционирует! Не
было
экспериментальных
подтверждений.



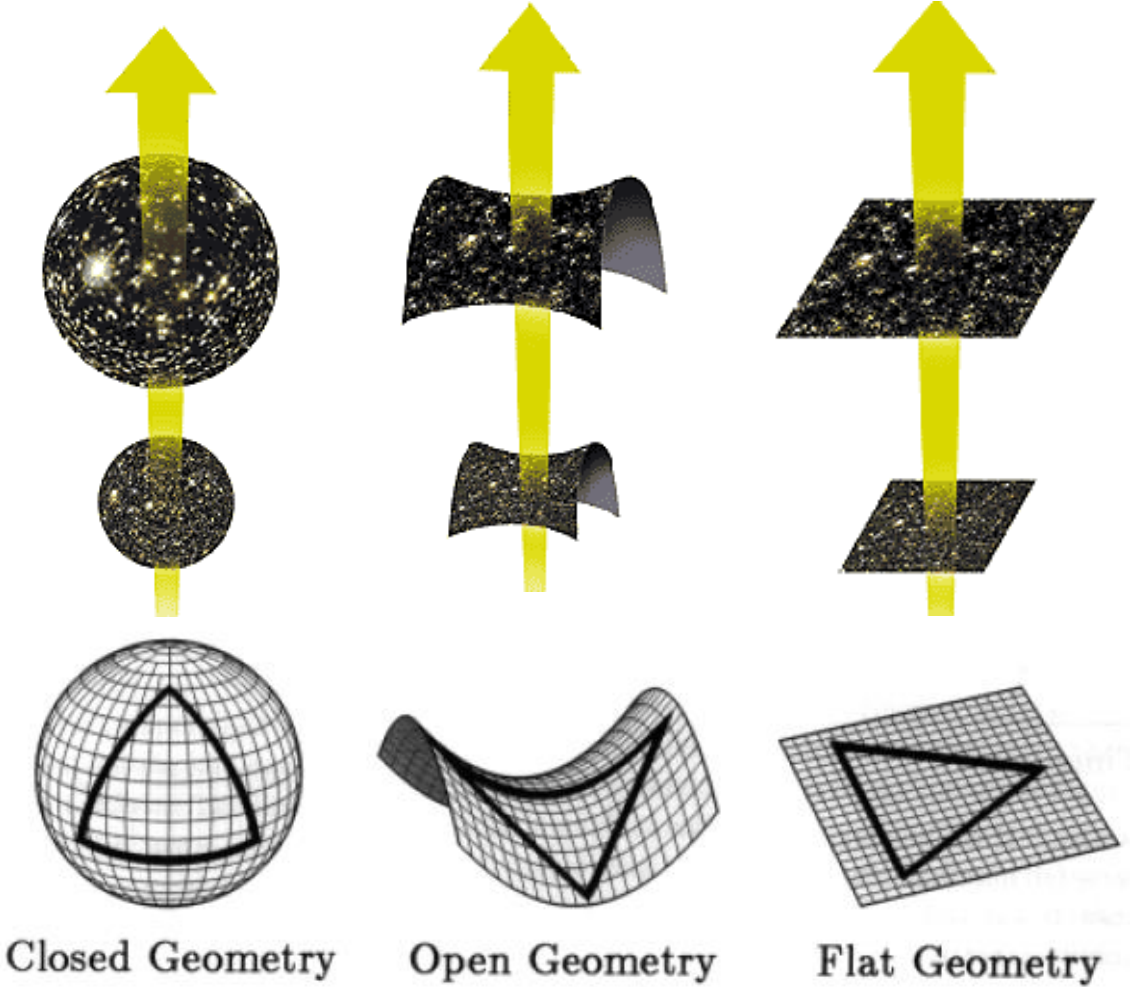
Albert Einstein
1879–1955

Чтобы получить стационарное решение, Эйнштейн ввел космологическую постоянную – Λ -член. Ввел искусственно. Решение получено. Но стало понятно – решение нестабильно. При малых возмущениях Вселенная становится нестабильной..



Александр Фридман – получил решение уравнений Эйнштейна (1922 г.).

Критическая плотность ρ_0



Alexander Friedman
1882-1925

В 1913-1914 годах американский астроном Весто Слайфер установил:

- Туманность Андромеды и ещё более десятка небесных объектов движутся относительно Солнечной системы с огромными скоростями (порядка 1000 км/с). Это означало, что все они находятся за пределами Галактики.
- Все исследованные туманности, кроме трёх, удалялись от Солнечной системы.



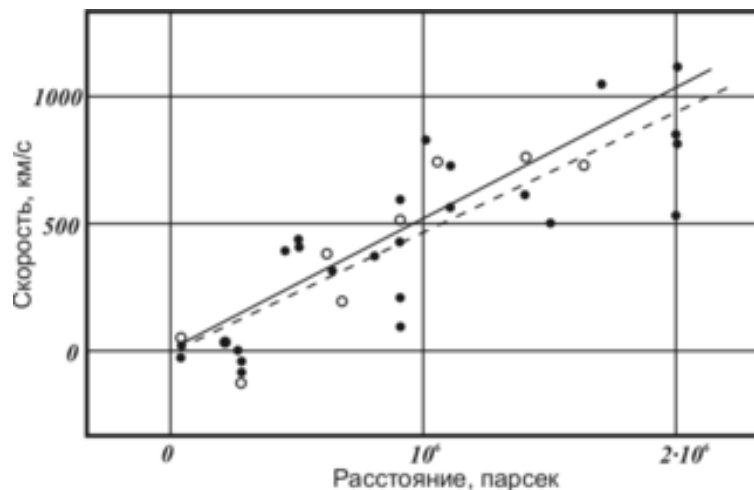
Vesto Melvin Slipher
1875 – 1969



Эдвин Хаббл

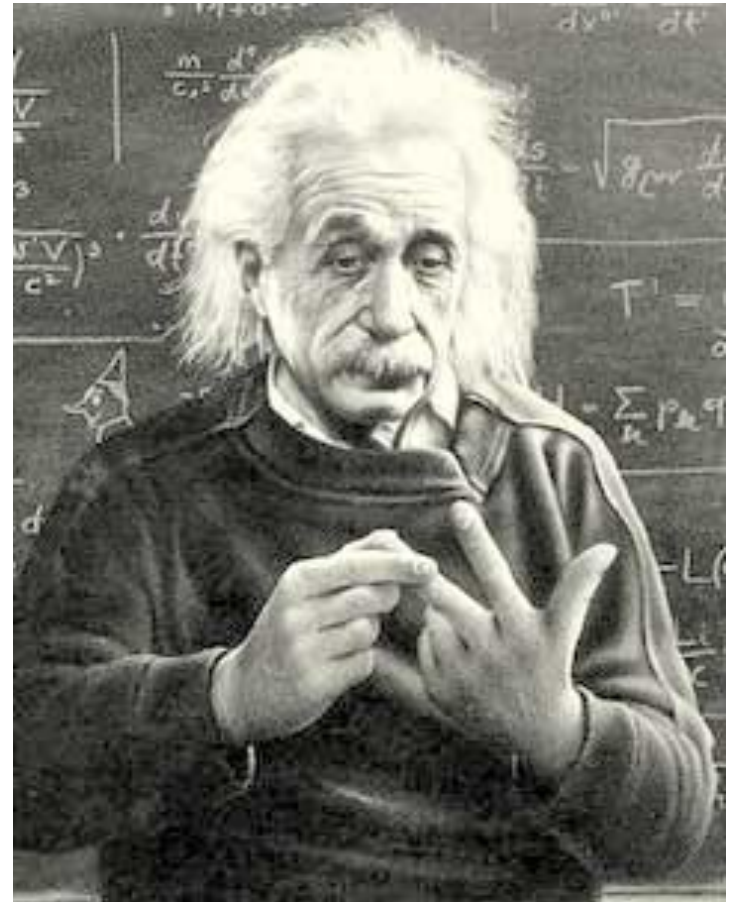
В 1929 году обнаружил зависимость между красным смещением галактик и расстоянием до них – закон Хаббла:

$$v = H r$$



Edwin Hubble
1889 – 1953

Эйнштейн: введение Λ -члена – самая большая ошибка.



Галактики разбегаются →
когда они были «плотно
упакованы»

Вселенная возникла в
результате Большого взрыва
из сверхсжатого состояния.

Реликтовое излучение –
остаток гамма квантов,
которые возникли начиная с
300 000 лет от большого
взрыва (до этого времени
Вселенная непрозрачна).



George Gamov (1904-1968)

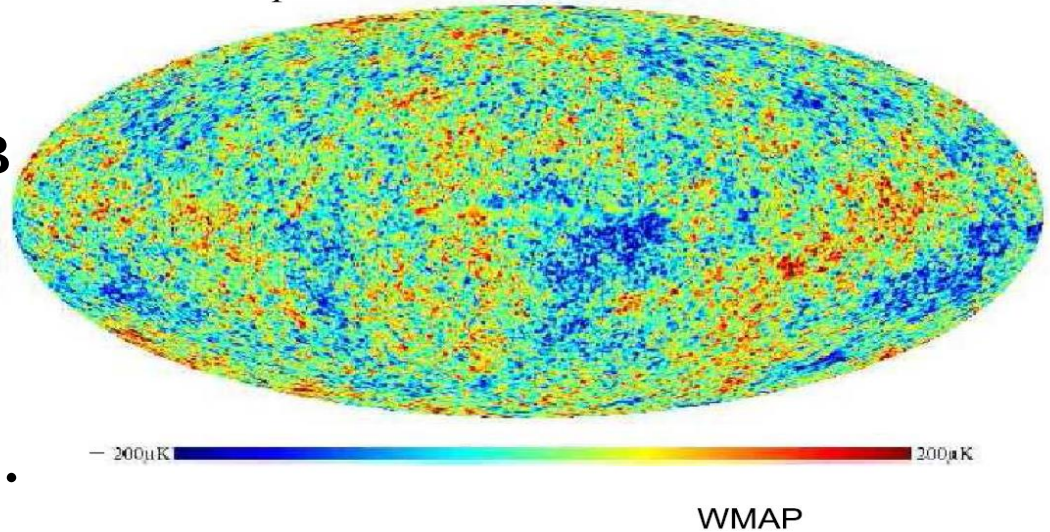
Cosmic Microwave Background



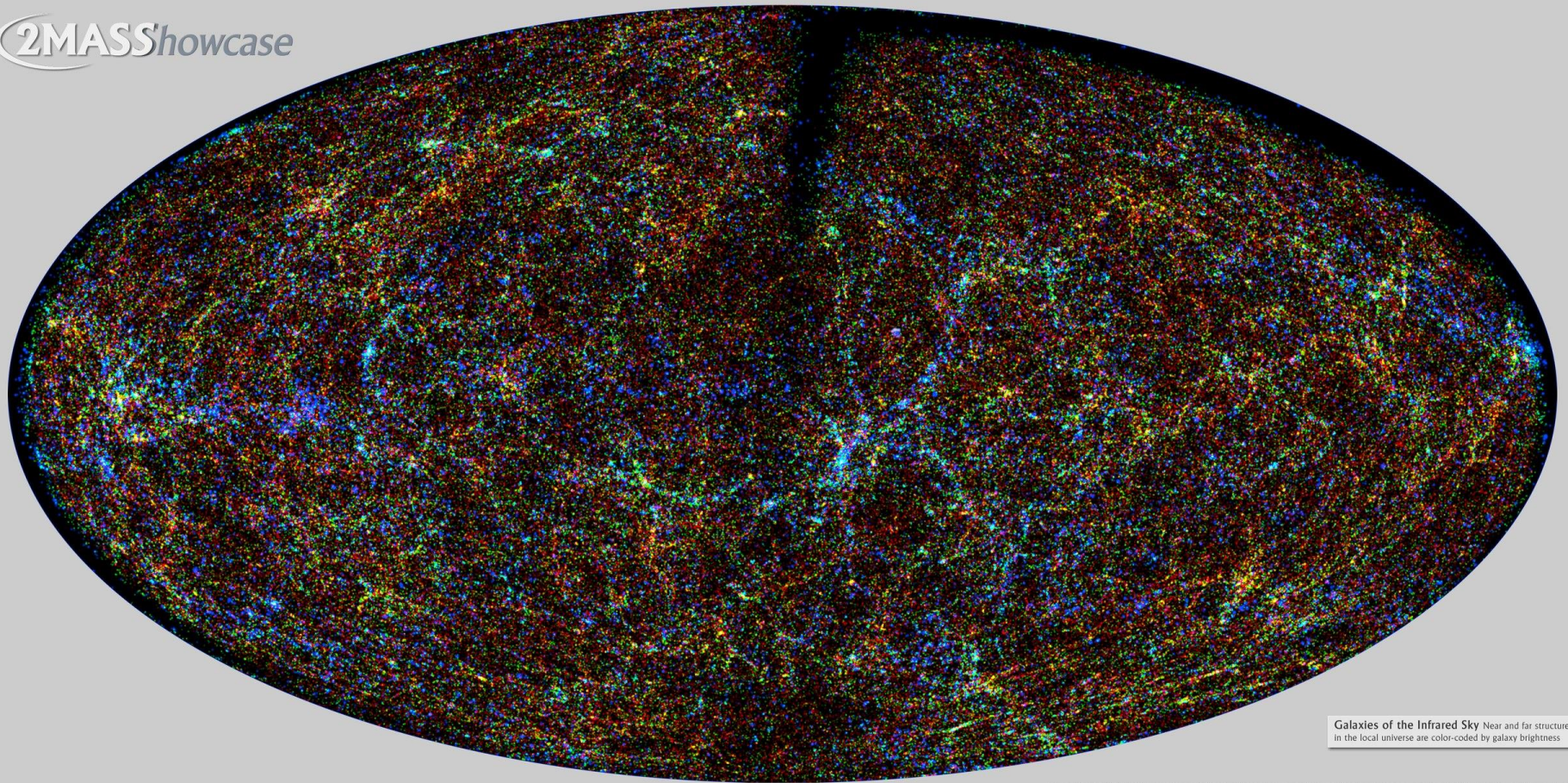
Arno Penzias and Robert Wilson. Their discovery of **the cosmic microwave background** won for them the Nobel Prize in physics in 1978.

Экспериментально
его существование
было подтверждено в
1965 г. $T = 2.725 \text{ K}$
(relict photons now
represent radio waves).

$$T = 2.725^\circ\text{K}, \quad \frac{\delta T}{T} \sim 10^{-5}$$



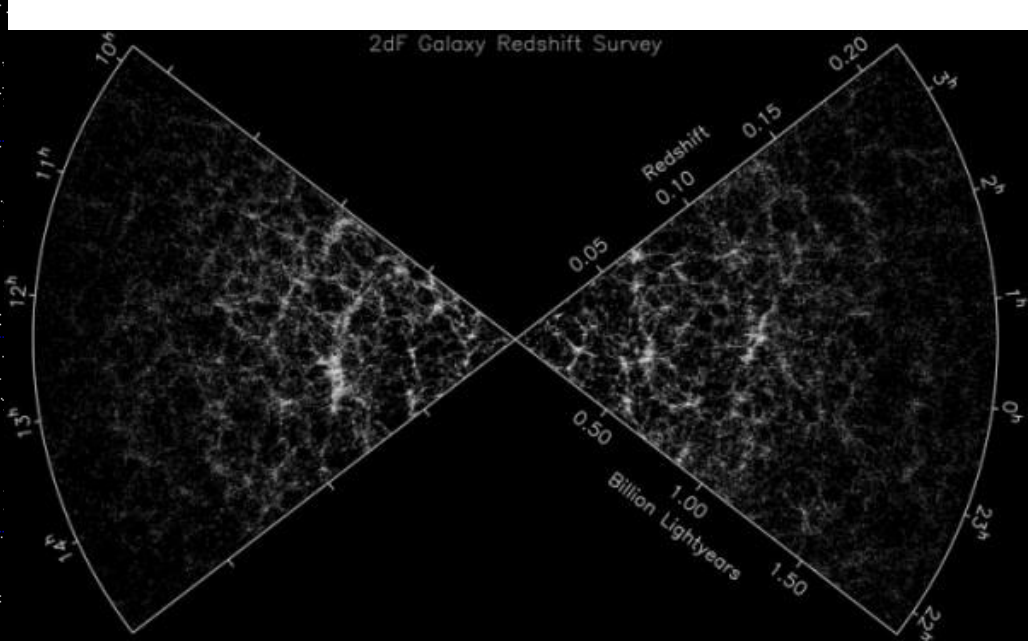
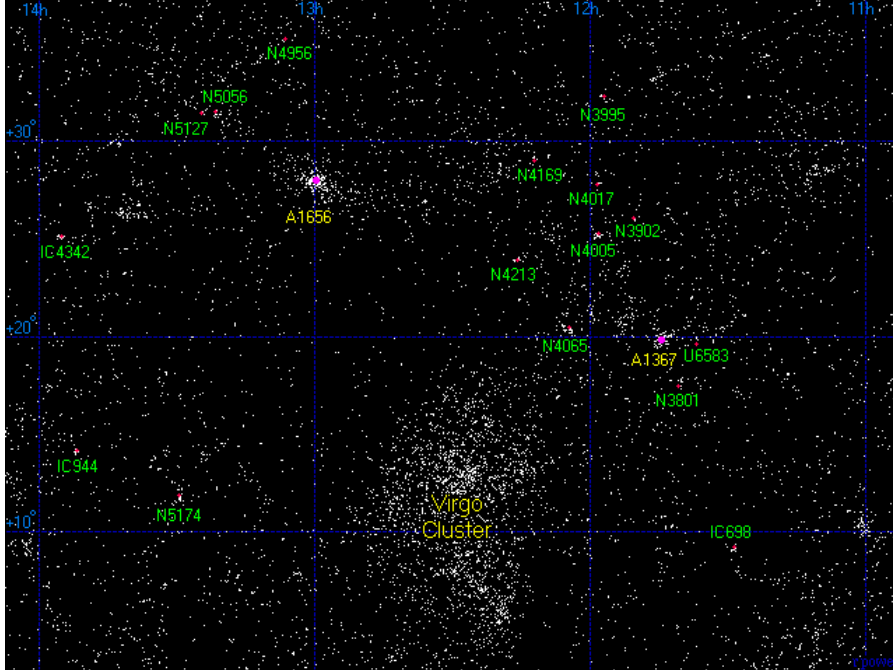
This temperature now is insignificant (below than temperature of fluid helium), in past it was much more. During dilating the Universe cools down. In the past Universe was hot, dense and fast expanding.



Galaxies of the Infrared Sky Near and far structures in the local universe are color-coded by galaxy brightness

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & University of Massachusetts

Крупномасштабная структура Вселенной - так она выглядит в инфракрасных лучах с длиной волны 2,2 мкм — 1 600 000 галактик, зарегистрированных в Extended Source Catalog как результате Two Micron All-Sky Survey. Яркость галактик показана цветом от синего (самые яркие) до красного (самые тусклые). Тёмная полоса по диагонали и краям картины — расположение Млечного пути, пыль которого мешает наблюдениям.



Если выделить во Вселенной «кубы» с ребром 200 Мпс, в них материя распределена однородно.

?? Как один «куб» узнает о том, как распределена материя в другом «кубе»?

Big Bang theory confirms:

- The Universe was born from a point, in which one a volume and pressure were very great (singular);
- The moment of birth called Big Bang;

- The laws of physics are applicable for the description of evolution of the Universe from so-called Planck's length

$$D_p = \sqrt{\frac{Gh}{2\pi c^2}} \approx 1,6 \cdot 10^{-35} m$$

- h is Planck's constant, $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ joule} \cdot s$
- G is gravitational constant

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} m^3 / (kg \cdot s^2)$$

- Time which corresponds to this Planck's length is

$$t_p = \frac{D_p}{c} = 5 \cdot 10^{-44} \text{ s}$$

- This time is called Planck's time.
- Before this moment all fundamental interactions (electromagnetic, weak, strong or nuclear, gravitational) do not differ from each other.

When the time was equal t_p , the gravitational interaction was discharged.

1981 г – первая модель инфляционной Вселенной предложена Аланом Гутом. Дальнейшая разработка - Андрей Линде, Вячеслав Муханов, ...

Модель хаотической инфляции: если на ранних этапах было состояние, когда Вселенная начинает расширяться быстро (по экспоненте), то планковский объем (10^{-35}) расширится до объема современной Вселенной.

в 1998 году две группы астрофизиков - одна в США, а другая в Австралии - почти одновременно обнаружили, что самые далекие сверхновые светят не так ярко, как это ожидалось, исходя из того, что Вселенная заполнена материей, гравитирующей по закону Ньютона, то есть обратно пропорционально квадрату расстояния.

Supernova 1994D, NGC 4526



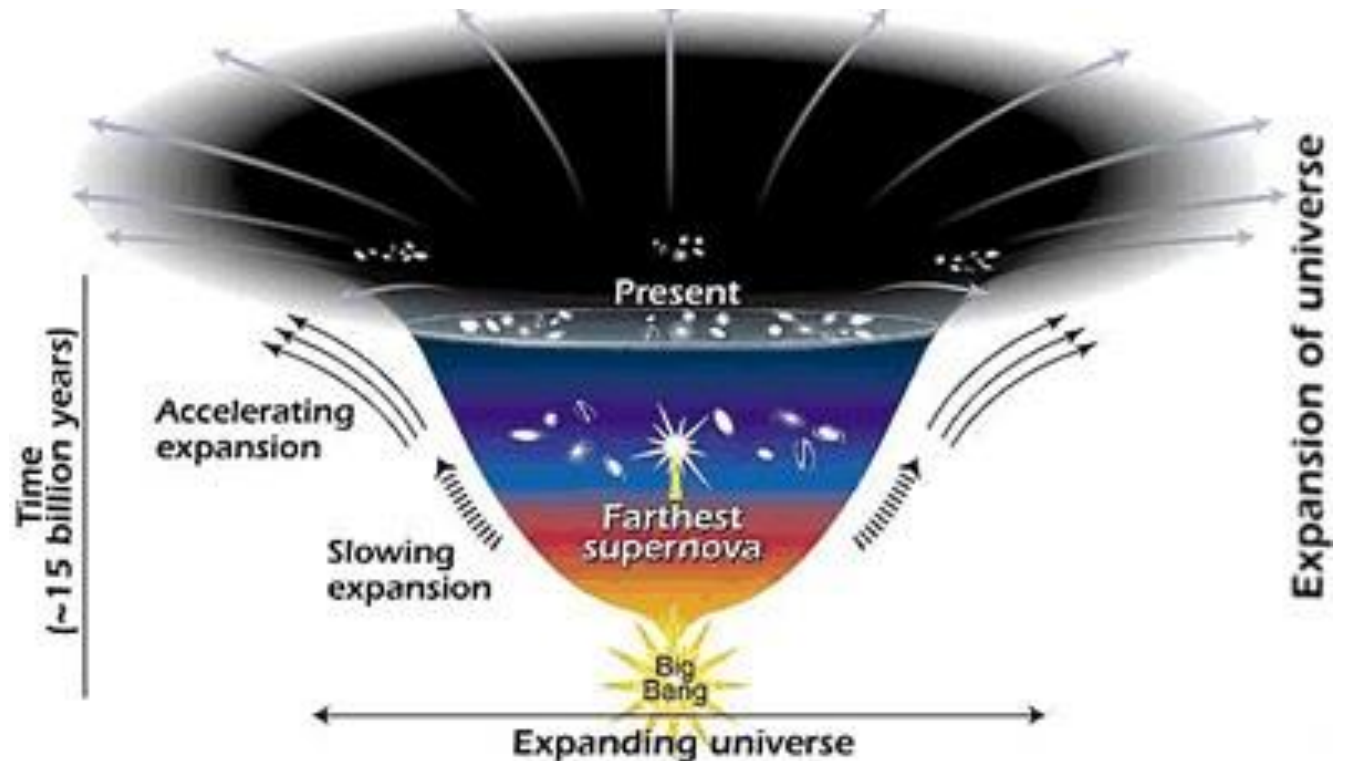
Это означало, что они расположены от нас дальше, чем должны были бы находиться, если бы Вселенная расширялась в поле обычных гравитационных сил.

Таким образом, с достоверностью 99% можно утверждать, что во Вселенной должна быть еще какая-то дополнительная энергия, способная на космологических расстояниях противостоять гравитационному притяжению материи. Она и есть то, что стали понимать под словами "темная энергия".

В космологии две силы – сила притяжения и та сила, которая возникла в результате большого взрыва. Сила притяжения должна замедлять расширение Вселенной.

- Красное смещение $z = a_0/a - 1$
- a – масштабный фактор, описывает, каким образом меняются расстояния во вселенной, если она расширяется.
- Зная красные смещения, которые происходили на достаточно ранних этапах эволюции Вселенной, мы можем определить скорость разбегания галактик, и выяснить темп эволюции Вселенной.

Когда размеры вселенной были $2/3$ от нынешних размеров, вместо замедления Вселенная начала расширяться ускоренно – обнаружено в результате наблюдения сверхновых.



Темная энергия темная, по крайней мере, в двух смыслах:

- она невидима – не излучает свет, не закрывает и не отражает его.
- её физическая природа и микроскопическая структура абсолютно неясны.

Сейчас принято считать, что темная энергия связана с космологической постоянной Λ .

Темная энергия

Темная материя

Межгалактический газ

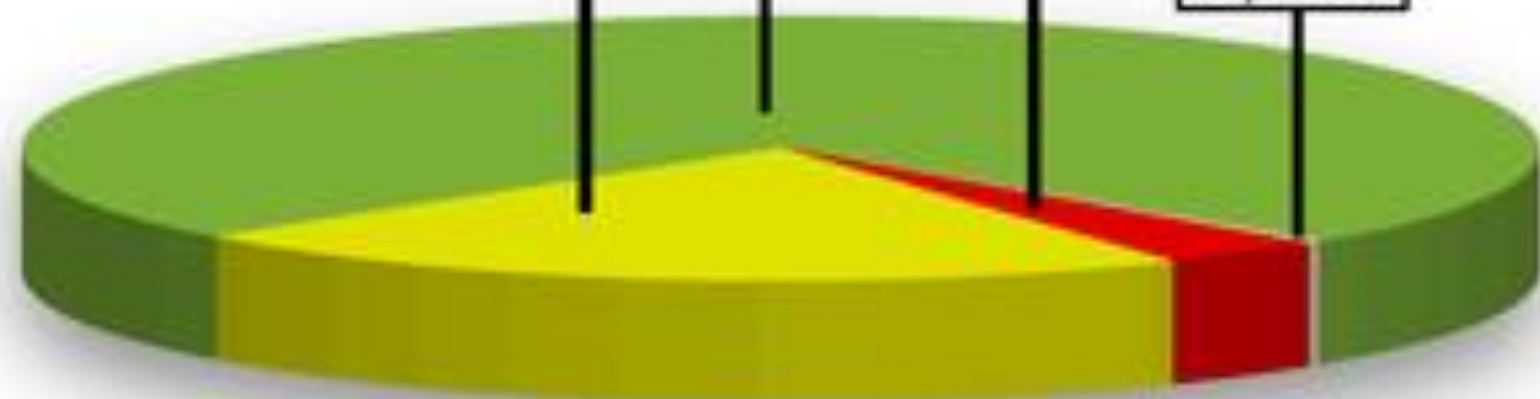
22 %

3,6 %

74 %

Звезды и пр.

0,4 %



Гипотезы:

- Вакуум как носитель темной энергии. В вакууме все время рождаются и умирают виртуальные частицы, в нем имеются конденсаты полей — в общем, вакуум скорее похож; на сложную среду, чем на абсолютную пустоту. Обладает следующими свойствами: постоянная плотность и отрицательное давление, при этом абсолютное значение давление равно значению плотности.

Гипотезы:

- Лёгкие поля – "квинтэссенция" – поле, "разлитое" во Вселенной. В этом варианте энергия нового поля и является темной энергией. Новое поле, вообще говоря, изменяется в процессе эволюции. новое поле — это новая сила (так же, как гравитационное поле соответствует гравитационным, а электромагнитное — электрическим и магнитным силам). Легкое поле с чрезвычайно малой массой — сила с большим радиусом действия, подобная гравитации. Чтобы не было противоречия с экспериментами по проверке общей теории относительности, взаимодействие этого поля с обычным веществом должно быть очень слабым, слабее гравитационного.

Гипотезы:

- еще одно возможное объяснение темной энергии состоит в том, что никакой темной энергии на самом деле нет. Темную энергию приходится привлекать для объяснения особенностей расширения Вселенной в том случае, если космологическая эволюция описывается общей теорией относительности. Если же эта теория неприменима на современных космологических масштабах длин и времен, то и в темной энергии нет необходимости. Нужно создать новую теорию гравитации.

Гипотезы:

Возможности:

- перестать считать ньютоновскую постоянную всемирного тяготения постоянной величиной, разрешить ей меняться в пространстве и во времени, подчиняясь определенным уравнениям – версия отвергнута экспериментами по проверке ОТО.
- наше пространство может иметь больше трех измерений.

Дополнительные источники

- Интереснейшие загадки Вселенной: темная материя и темная энергия. Лекция академика РАН Валерия Анатольевича Рубакова.
- <https://www.youtube.com/watch?v=gesB8THgRoI>

Дополнительные источники

- Лекция доктора физико-математических наук профессора Александра Ивановича Жука для учащихся Ришельевского лицея
- <https://www.youtube.com/watch?v=ula1Ui7KPHg&t=1860s>

Литература

1. Воронцов-Вельяминов, Б.А. Астрономия. Базовый уровень. 11 класс: учебник. / Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. К. Страут. – 5-е изд., пересмотр. – М.: Дрофа, 2018.
2. Засов, А.В. Астрономия: 10-11 классы / А.В. Засов, В.Г. Сурдин. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019
3. Кондакова, Е.В. Астрономия. Тетрадь-практикум. 10-11 классы: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень // Е.В. Кондакова, В.М. Чаругин. – М.: Просвещение, 2018.
4. Левитан, Е.П. Астрономия. 11 класс: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.: Просвещение, 2018.
5. Чаругин, В.М. Астрономия. 10-11 классы: учеб. пособие для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.: Просвещение, 2018.

Спасибо за внимание!



Тем временем в параллельной
вселенной