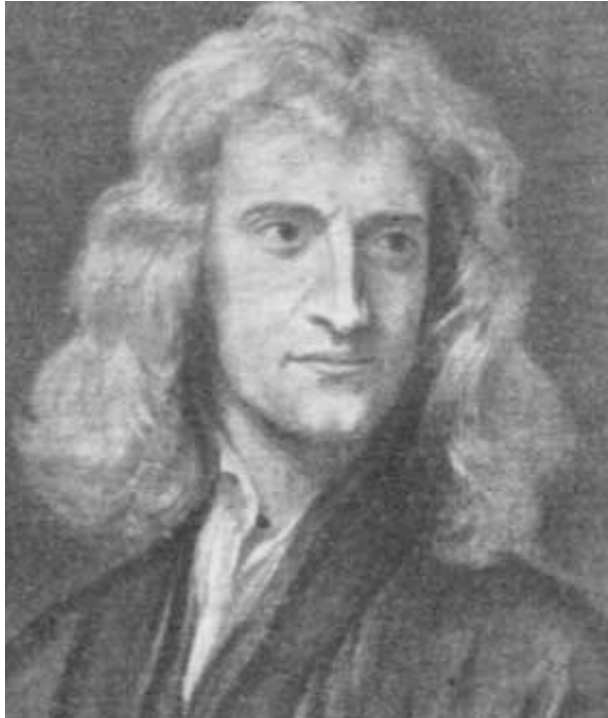
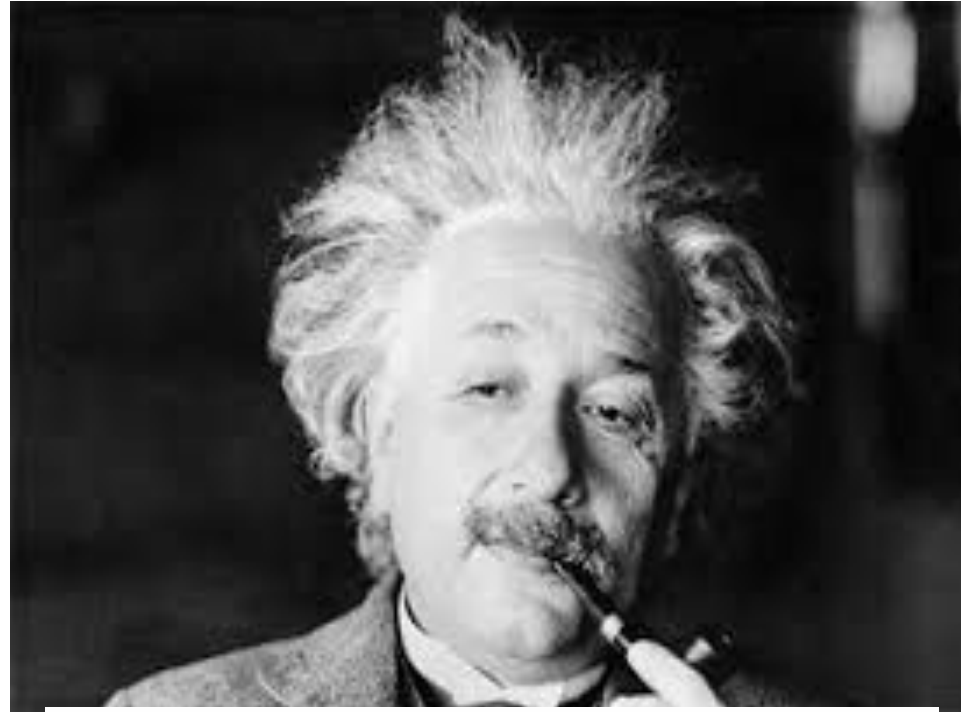


# Космологические модели Ньютона, Эйнштейна и Фридмана

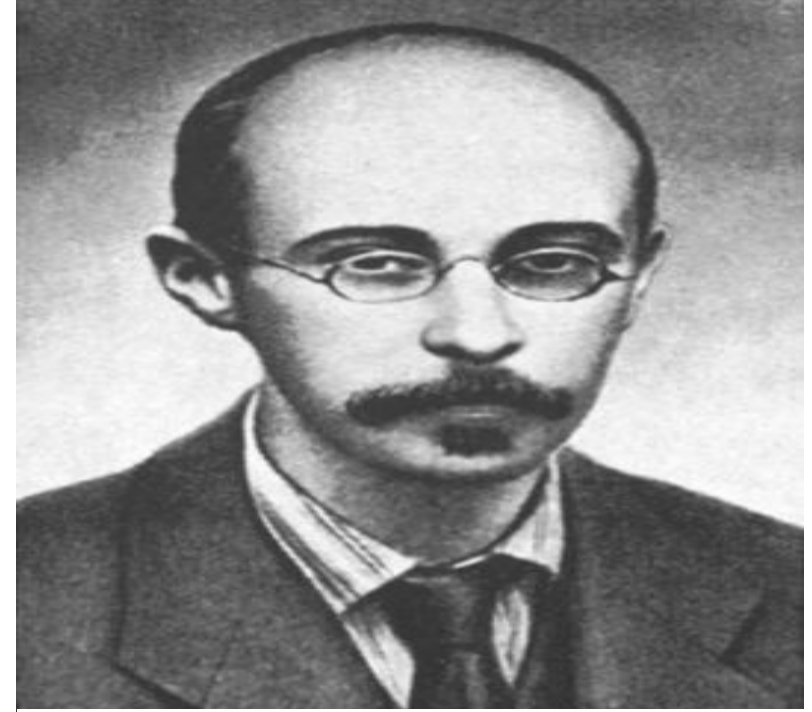
## Гравитация



$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$$



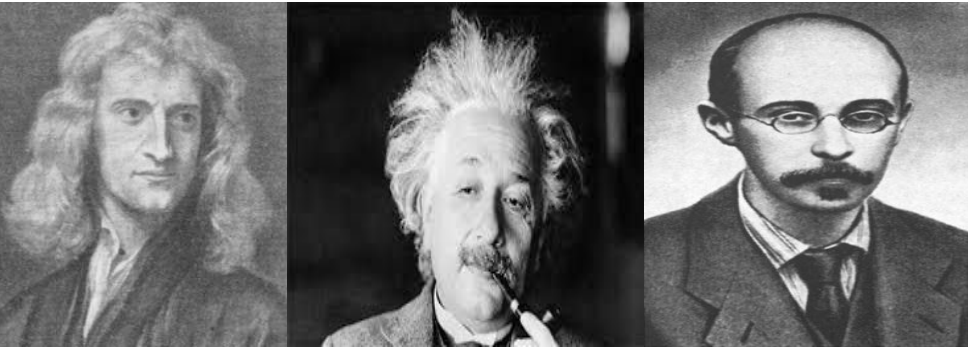
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

# Космология Ньютона, Эйнштейна и Фридмана

## Гравитация



Классическая механика

Общая теория

относительности

Расширяющаяся Вселенная

Общая теория

Пространство Евклида    Взаимодействий

Пространство Минковского

Пространство Фридмана — Леметра — Робертсона —

Уокера





В наиболее простом случае пустого  
пространства  
(тензор энергии-импульса равен нулю)  
одно из решений уравнений Эйнштейна  
описывается  
метрикой Минковского  
Специальной Теории Относительности

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$



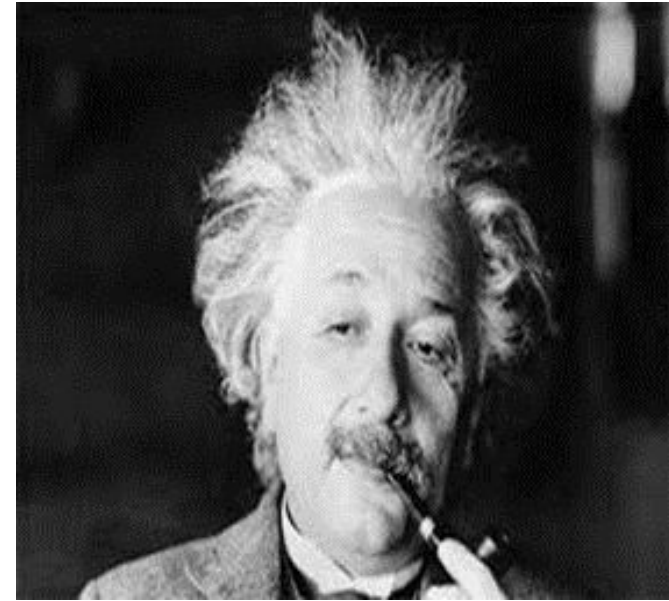


Первую попытку описания Вселенной на основе ОТО предпринял Эйнштейн в 1917 г.

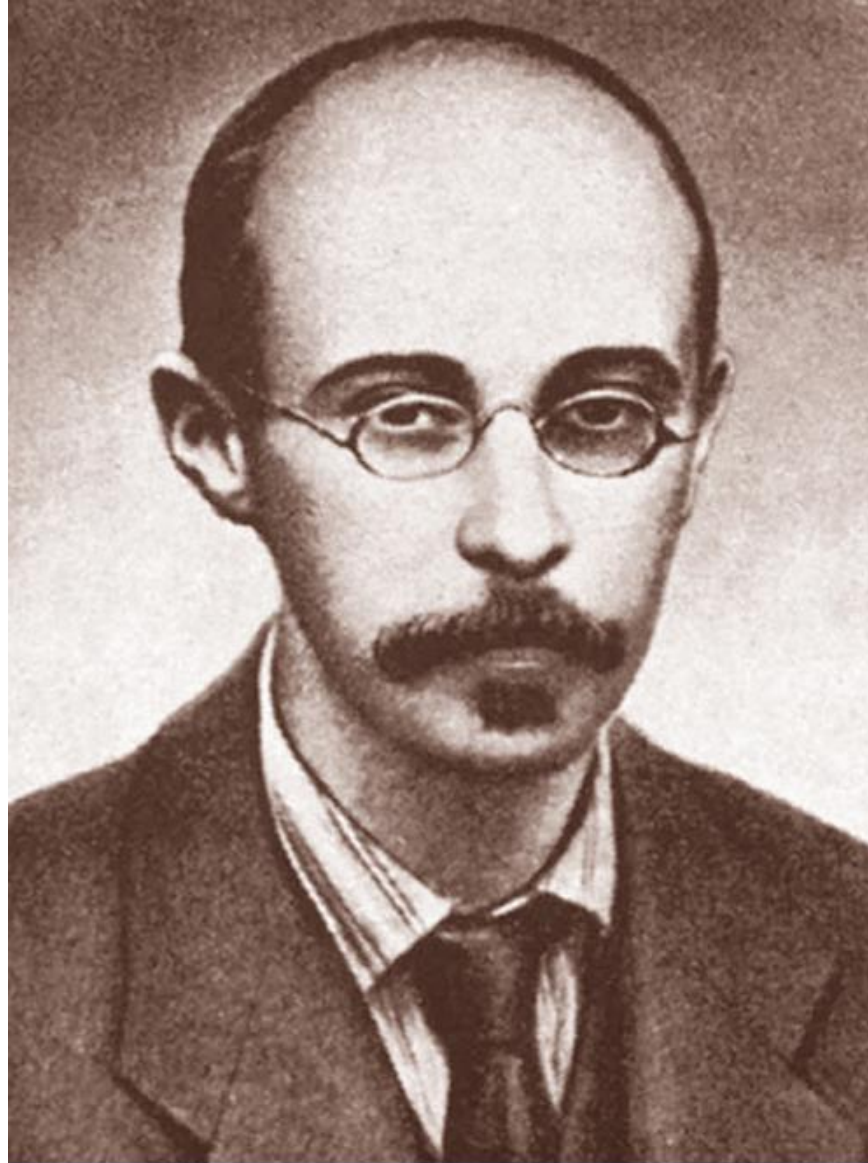
Он считал, что безграничная Вселенная замкнута на себя, пространственно конечна и стационарна во времени.

Её радиус кривизны не должен меняться.

Однако, при решении мировых уравнений не удастся получить устойчивую стационарную модель мира.







*Александр Александрович  
Фридман  
(1888-1925)*



## А.Эйнштейн: Замечание к работе А. Фридмана "О кривизне пространства"

*Результаты относительно нестационарного мира, содержащиеся в упомянутой работе, представляются мне подозрительными.*

*В действительности оказывается, что указанное в ней решение не удовлетворяет уравнениям поля <...> значение этой работы в том и состоит, что она доказывает*

*постоянство радиуса мира во времени.*

18 сентября 1922 г.





## **А.Эйнштейн: К работе А.Фридмана "О кривизне пространства"**

*В предыдущей заметке я подверг критике названную выше работу.*

*Однако моя критика, как я убедился из письма Фридмана, основывалась на ошибке в вычислениях.*

*Я считаю результаты Фридмана правильными и проливающими новый свет.*

*Оказывается, что уравнения поля допускают наряду со статическими также и динамические **(т.е. переменные относительно времени)** решения для структуры пространства.*



# Вселенная Фрийдмана



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

-Уравнения Эйнштейна

$G$

- постоянная Ньютона

$T_{\mu\nu}$

-ТЭИ вещества

$$ds^2 = -dt^2 + a^2(t)dl^2$$

-метрика

$$dl^2 = \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2(\sin^2\theta d\varphi^2 + d\theta^2)$$

-пространственная часть

$$k = 0$$

-плоскость

$$k = 1$$

-3-сфера

$$k = -1$$

-Пространство Лобачевского





## Уравнения Фридмана (1922-1924)

$$H^2 + \frac{k}{a^2} = \frac{8\pi G}{3} \rho$$

- Одно из ур. Эйнштейна

$$H = \frac{\dot{a}}{a}$$

- Параметр Хаббла

$\rho$

- плотность энергии

$p$

- давление

$$p = w\rho$$

- уравнение состояния

$$\dot{\rho} + 3(p + \rho)H = 0$$

- “закон сохранения”

$$w = 0 \quad a(t) \propto t^{2/3}$$

- для пылевидной вселенной

$$w = \frac{1}{3} \quad a(t) \propto t^{1/2}$$

- для вселенной с излучением

**Большой Взрыв – первоначальная  
сингулярность**



Эйнштейн ввёл в уравнения дополнительный  
"космологический член"  $\Lambda$  (лямбда).

Эта постоянная величина имела необычный  
физический смысл

**СИЛЫ ОТТАЛКИВАНИЯ,**

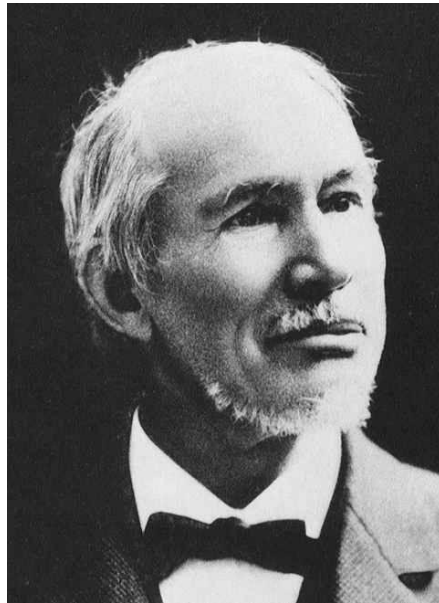
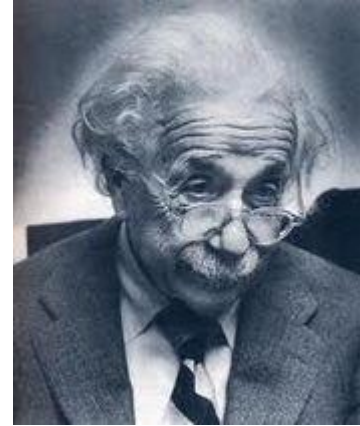
призванной уравновесить взаимное тяготение  
масс Вселенной.

Для её введения у Эйнштейна не было  
достаточных оснований.

$$R_{\mu\nu} - \frac{R}{2} g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

# Модели Вселенной

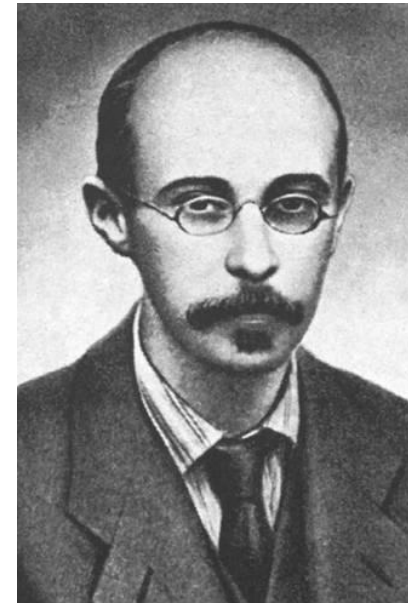
- Модель В. де Ситтера
- Модель Ж.Леметра
- Модели А.А.Фридмана
- Модель Эйнштейна-де Ситтера



В.де Ситтер



Ж.Леметр



А.Фридман



# Вселенная Эйнштейна



Модель Эйнштейна – модель стационарной неевклидовой сферической Вселенной.

Эйнштейн, придерживаясь своих взглядов относительно наиболее общих черт Вселенной, решил, основываясь на своей интуиции, ввести в левую часть своего уравнения новое слагаемое лямбда-член  $\Lambda$ . В этом случае можно получить решение, соответствующее условиям однородности и статичности Вселенной. Параметр  $\Lambda$  называют космологической постоянной.

Итак, Вселенная оказалась *замкнутой трехмерной сферой*.

Вселенная Эйнштейна заполнена галактиками, расстояние между которыми постоянно. Вселенная Эйнштейна бесконечна во времени (вечна), но конечна в пространстве в том смысле, что содержит большое, но ограниченное число звезд и звездных систем.

Гравитационный парадокс (силы тяготения – силы притяжения, все объекты должны собраться вместе) устранялся Эйнштейном введением "космического отталкивания", проявляющегося лишь на огромных расстояниях. Эта сила универсальна: она зависит не от массы тел, а только от расстояния, их разделяющего. Ускорение, которое эта сила сообщает любым телам, разнесенным на расстояние, должно быть пропорционально расстоянию.

В стационарной модели Вселенной Эйнштейна ускорение, создаваемое притяжением, должно уравновешиваться ускорением,

# Модель де Ситтера

Модель расширяющейся Вселенной, в которой не существует вещества или излучения (1917).

При полном отсутствии вещества (включая и гравитационные поля) пространство-время должно быть плоским. Но в уравнение ОТО Эйнштейна входил лямбда — космологический член, играющий роль источника тяготения, искривляющего пространство-время.

Пространство де Ситтера *эллиплично, со своим местным временем в любой его точке*, т.е. пространство-время статично - оно имеет не зависящие от времени 4-инварианты. Метрика де Ситтера может быть приведена к виду, при котором никакого расширения в ней нет - этот мир вечен, неизменен и идеально симметричен по своим геометрическим свойствам.

Теоретически вылетев из одной точки пространства и выдерживая прямой линию полета, путешественник должен был возвратиться не только *в ту же точку пространства, но и в то же самое время*.

Во Вселенной де Ситтера *чем дальше* взгляд земного наблюдателя проникал бы в пространство, тем *медленнее* должны были ему казаться происходящие *там процессы*, но по мере приближения к этим областям он увидел бы постепенное оживление хода времени.

Вакуум де Ситтера отличается от «пустого вакуума», его свойства, т.е. динамика вселенной, зависят от космологической постоянной.

Считается, что реальная Вселенная описывалась моделью де Ситтера на очень ранних стадиях расширения – инфляционная модель вселенной (ускоренное расширение Вселенной на ранней стадии Большого взрыва (при





# Рождение Вселенной по де Ситтеру



Стадия расширения длилась примерно  $10^{-35}$  с вакуум как бы растягивался без изменения своих свойств. Образовавшееся состояние Вселенной было крайне неустойчивым, энергетически напряженным. В таких случаях достаточно возникновения малейших неоднородностей, играющих роль случайной затравки, чтобы вызвать переход в другое состояние - при переходе вакуума в другое состояние мгновенно выделилась колоссальная энергия за счет разности его начального и конечного состояний и за  $10^{-32}$  с пространство раздулось в громадный раскаленный шар с размерами много большими видимой нами части Вселенной. При этом произошло рождение из вакуума реальных частиц, из которых со временем сформировалось вещество нашей Вселенной.

В первые три минуты ее существования температура снизилась до  $10^9$  К. В этот момент происходил процесс первичного нуклеосинтеза - образование ядер водорода и гелия с небольшой добавкой ядер дейтерия и лития. В результате сформировалась очень плотная плазма, состоявшая из ядер водорода, гелия (с добавкой ядер дейтерия и лития), электронов и фотонов.

Подтверждением теории Большого Взрыва является обнаружение реликтового излучения, связанного с существованием первоначального сверхплотного сгустка вещества и излучения. Название «реликтовое излучение» ввел отечественный астрофизик И.С. Шкловский .

# Модель Леметра



Модель вселенной, которая начинается с Большого взрыва, сменяющегося затем статической фазой и последующим бесконечным расширением (1927) - процесс расширения Вселенной от состояния "первичного атома."

Это модель мира с космологическим слагаемым, не равным нулю, т.е. нестационарная. Радиус кривизны пространства в его модели меняется со временем. Пространство Вселенной сферическое, закрытое и конечное.

Расширение приводит в равновесие силу тяготения и, таким образом, препятствует тому сжатию вещества во Вселенной в точку. Расширяющаяся Вселенная с каждым разом становится больше, когда-то очень давно Вселенная была одной-единственной точкой. Леметр назвал эту точку точкой начала Вселенной.

Леметр был первым, кто чётко заявил, что объекты, населяющие расширяющуюся Вселенную, распределение и скорости движения которых и должны быть предметом космологии — это не звёзды, а гигантские звёздные системы, галактики.

В 1933 году он отождествил космологическую постоянную с плотностью энергии вакуума.



# Модели Фридмана



Модели Фридмана – модели Вселенной, которая может коллапсировать внутрь себя (1922-1924):  $\Lambda = 0$  и потому Вселенная не может находиться в стационарном состоянии — она должна либо расширяться, либо пульсировать.

Если распределение вещества во Вселенной в среднем равномерно, то она должна или сжиматься, или расширяться, причём в последнем случае должен наблюдаться линейный закон между расстоянием и скоростью убегания (закон Хаббла).

Три модели Фридмана (из уравнений Эйнштейна) в зависимости от средней плотности вещества во Вселенной (вклад полей незначителен):

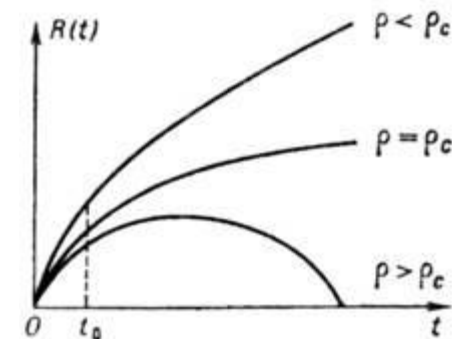
$$\rho_{\text{кр}} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

$H$  – постоянная Хаббла ( $v=Hr$ , в наст время  $H=70$  км/с),  
 $G$  – постоянная всемирного тяготения.

Конечное значение плотности тормозит расширение, но с расширением плотность падает и замедление уменьшается.

В настоящее время  $\rho_{\text{кр}} = 9,31 \cdot 10^{-29}$  г/см<sup>3</sup> (или  $5,20 \cdot 10^{-6}$  ГэВ/см<sup>3</sup>) или 5,5 атома водорода на м<sup>3</sup>, а данные измерений  $3 \cdot 10^{-31}$  г/см<sup>3</sup>

Фридмановские космологические модели описываются зависимостью от времени масштабного фактора  $R(t)$  (относительное расстояние между телами Вселенной). Точку в момент времени  $t=0$  можно назвать «началом» Вселенной.



# Модели Фридмана



## Фридмановские космологические модели:

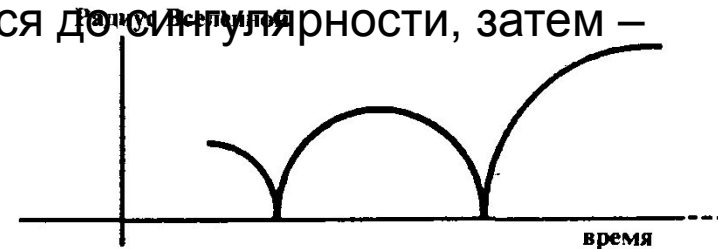
I – **открытая модель**: бесконечное гиперболическое расширение, пр-во отрицательной кривизны, бесконечно и безгранично, бесконечное число объектов

II – **плоская модель** (открытая): параболическое расширение с уменьшающейся скоростью, пр-во нулевой кривизны, бесконечно и безгранично, бесконечное число объектов;

III - **закрытая модель** (замкнутая): сферическое расширение сменится сжатием, пр-во положительной кривизны, безгранично, но конечно, конечное число объектов.

Пульсирующая модель - при  $\Lambda > 0$  и  $\rho > \rho_{кр}$ , масштабный фактор возрастает от сингулярности до максимума, затем уменьшается до сингулярности, затем – все повторяется.

Каждый новый цикл начинается с большей энтропией, их не более 100 в прошлое.



## МОДЕЛЬ Фридмана-Леметра-Робертсона-Уокера

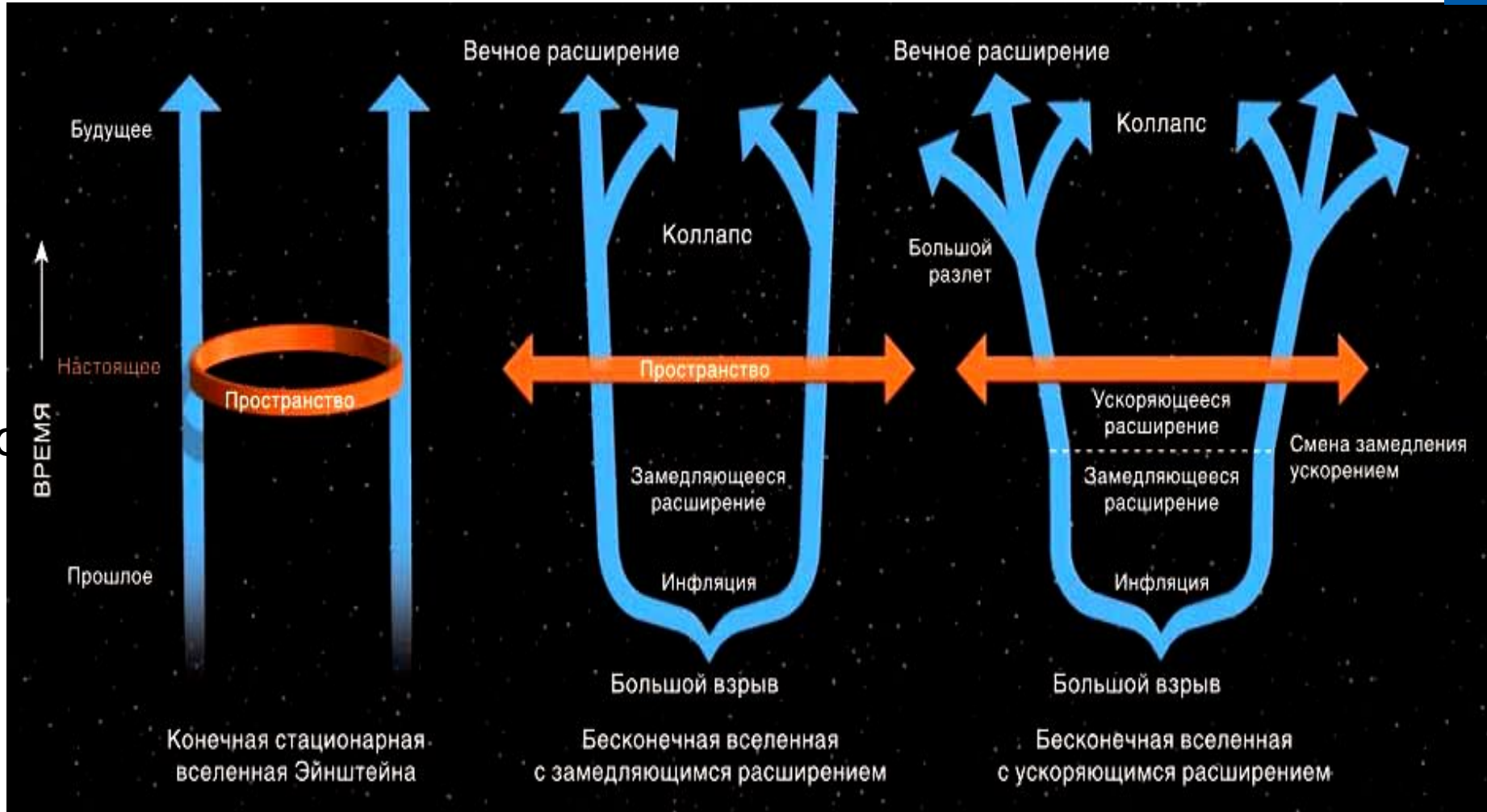
– та же модель Фридмана (описывающее однородную изотропную Вселенную с постоянной кривизной), решение уравнений повторно найдено Леметром (1927) и математически исчерпывающее описание таких пространств дано Робертсоном и Уотсоном (1935).

# Решения Фридмана



**Уравнение Фридмана**  $ds^2 = dt^2 - a(t)^2 dl^2$ , где  $l$  — пространственный элемент длины в пространстве постоянной кривизны,  $a(t)$  — масштаб (“размер”) Вселенной.

Мо





# Расширение Вселенной

В 1929 году Э.Хаббл экспериментально установил систематическое красное смещение спектральных линий галактик (их взаимное удаление), определил закон, по которому скорости удаления галактик от нас возрастают по мере увеличения расстояния:

$$cz = H_0 D$$

где  $z$  — красное смещение галактики,  $D$  — расстояние до неё,  $H_0$  — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

Мера красного смещения  $z$  достигает значения 1 на расстоянии

$r = c/H = 5000$  Мпк. Это расстояние называется радиусом Хаббла. Основная часть наблюдаемой Метагалактики располагается внутри этого радиуса.

Сегодня установленный факт:

Вселенная возникла  $13,73 \pm 0,12$  млрд лет назад из некоторого начального "сингулярного" состояния с температурой примерно  $10^{10}$  К и плотностью около  $10^{5}$  г/см<sup>3</sup>, и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается.

Скорость расширения:

$v = Hr$ , где  $H$  — постоянная Хаббла,  $r$  — расстояние между галактикой и наблюдателем

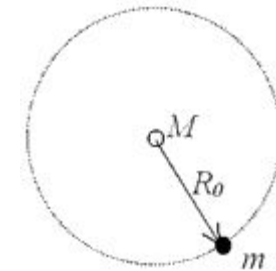


Э.Хаббл

# Гравитационный парадокс

Гравитационный парадокс (парадокс Неймана-Зеелигера) - ньютоновская теория тяготения приводит к бесконечным значениям гравитационного потенциала и тем самым не позволяет однозначно определить абсолютные и относительные гравитационные ускорения частиц в бесконечной Вселенной, заполненной бесконечным количеством вещества (напр., однородно распределённого).

Выберем сферу радиуса  $R_0$  так, чтобы средняя плотность была равна средней плотности Вселенной  $\rho$ . Пусть на поверхности сферы находится тело массой  $m$ , например, Галактика. Согласно теореме Гаусса о центрально-симметричном поле, сила тяготения со стороны вещества массой  $M$ , заключенного внутри сферы, будет действовать на тело так, как если бы все вещество было сосредоточено в одной точке, расположенной в центре сферы. При этом остальное вещество Вселенной никакого вклада в эту силу не вносит.



$$F_T = G \frac{M \cdot m}{R_0^2} \quad g = G \frac{4}{3} \pi \rho R_0 \quad \text{пусть } G \frac{4}{3} \pi \rho = b \quad g = b R_0 - \text{ускорение свободного}$$

падения тела к центру сферы зависит только от радиуса сферы  $R_0$ , т.к. радиус сферы и положение центра сферы выбраны произвольно, возникает неопределенность в действии силы на массу  $m$  и направление ее движения.

# Термодинамический парадокс

**Термодинамический парадокс (тепловая смерть Вселенной):** согласно необратимости тепловых процессов, все тела во Вселенной стремятся к тепловому равновесию – принцип возрастания энтропии (все виды энергии во Вселенной, в конце концов, должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по веществу вселенной, после чего в ней прекратятся все макроскопические процессы), поскольку Вселенная существует бесконечно долго, то должно было наступить тепловое равновесие (состояние с максимальной энтропией), но оно не наблюдается.

При этом Вселенная предполагается однородной - вещество должно быть равномерно распределено по всему объему Вселенной, и изотропной.

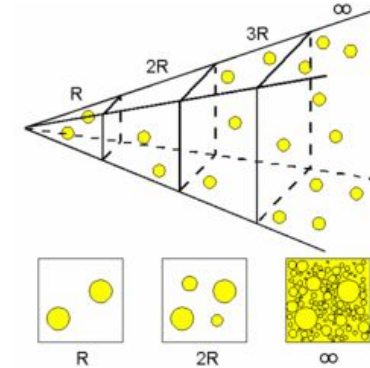
# Решение гравитационного и термодинамического парадоксов

- потенциала тяготения запаздывает из-за конечности скорости действия тяготения  $c$  (поле тяготения бесконечно удаленных тел достигает данной точки только через бесконечно большое время);
  - поле тяготения неаддитивно – нельзя рассматривать поля тяготения космических тел как сумму их гравитационного потенциала, т.к. принцип аддитивности применим лишь в ограниченной области, а Вселенная неограниченна.
- 
- имеется сингулярность, временная граница в прошлом Вселенной, Вселенная рассматривается как гравитирующая система – это означает, однородное распределение не соответствует максимальной энтропии, т.е максимальная энтропия недостижима;
  - при расширяющейся Вселенной и падении плотности материи на объём пространства гравитационная постоянная должна падать, но этого не происходит — Вселенная является незамкнутой, термодинамически открытой неравновесной системой, к которой неприменимы закономерности замкнутых систем (2е начало термодинамики).

# Фотометрический парадокс и его решение

Фотометрический парадокс (Ж. Шезо, Г. Ольберс): В наблюдаемой Вселенной звезды расположены неравномерно и имеют разную светимость.

Но если Вселенная бесконечна, то звезд в ней бесчисленно много, при сравнительно равномерном распределении звезд в пространстве число звезд, находящихся на данном расстоянии, возрастает пропорционально квадрату расстояния до них. Поскольку блеск звезды ослабевает пропорционально квадрату расстояния до нее, то ослабление общего света звезд из-за их удаленности должно в точности компенсироваться возрастанием числа звезд, и вся небесная сфера должна равномерно и ярко светиться.



- конечность возраста Вселенной означает, что Вселенная, наблюдаемая на больших расстояниях, настолько молода, что звезды еще не успели в ней образоваться, значит, нет их вклада в светимость;

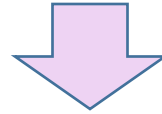
красное смещение (разбегание галактик) приводит к тому, что суммарная энергия, поступающая к нам от далеких галактик, в  $(1+z)^2$  раз меньше, чем если бы эта галактика не удалялась от нас вследствие космологического расширения.



# Проблемы ОТО и их решения

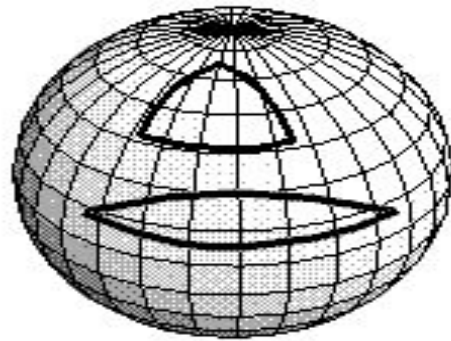
С точки зрения математической физики энергия представляет собой величину, сохраняющуюся из-за однородности времени, но в ОТО время неоднородно, оно – компонент пространства-времени, т.е в ОТО не существует такой величины, эквивалентной энергии в СТО (можно определить величину энергии для большой области, но нельзя указать, где она сосредоточена, т.е. вычислить плотность энергии гравитационного поля).

✓ Невозможно построить для ОТО квантово-полевую модель.

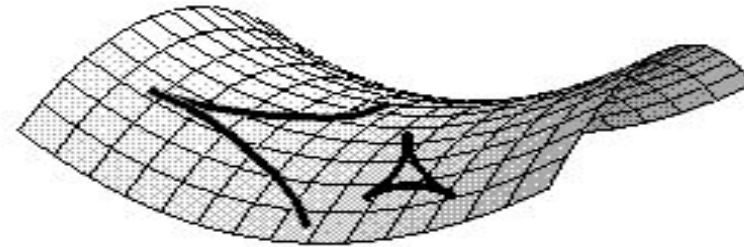


- Локальный (для ограниченных областей) закон сохранения энергии-импульса материи и электромагнитного поля в ОТО существует; кроме того, в полную энергию, кроме энергии материи и электромагнитного поля, необходимо включать также и энергию самого гравитационного поля (она не может быть хорошо определена). Возможно, принцип эквивалентности не выполняется в отношении массы-энергии самого гравитационного поля.
- По крайней мере слабое) гравитационное поле можно рассматривать как квантовое безмассовое поле спина 2 (ведутся поиски гравитона).

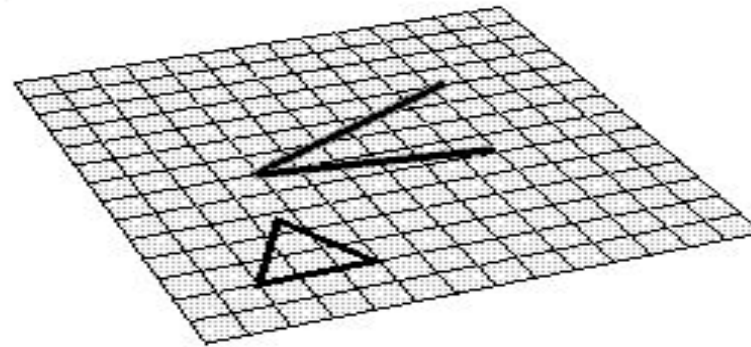
# Пространства разной кривизны



Universe with *positive* curvature. Diverging line converge at great distances. Triangle angles add to more than  $180^\circ$ .

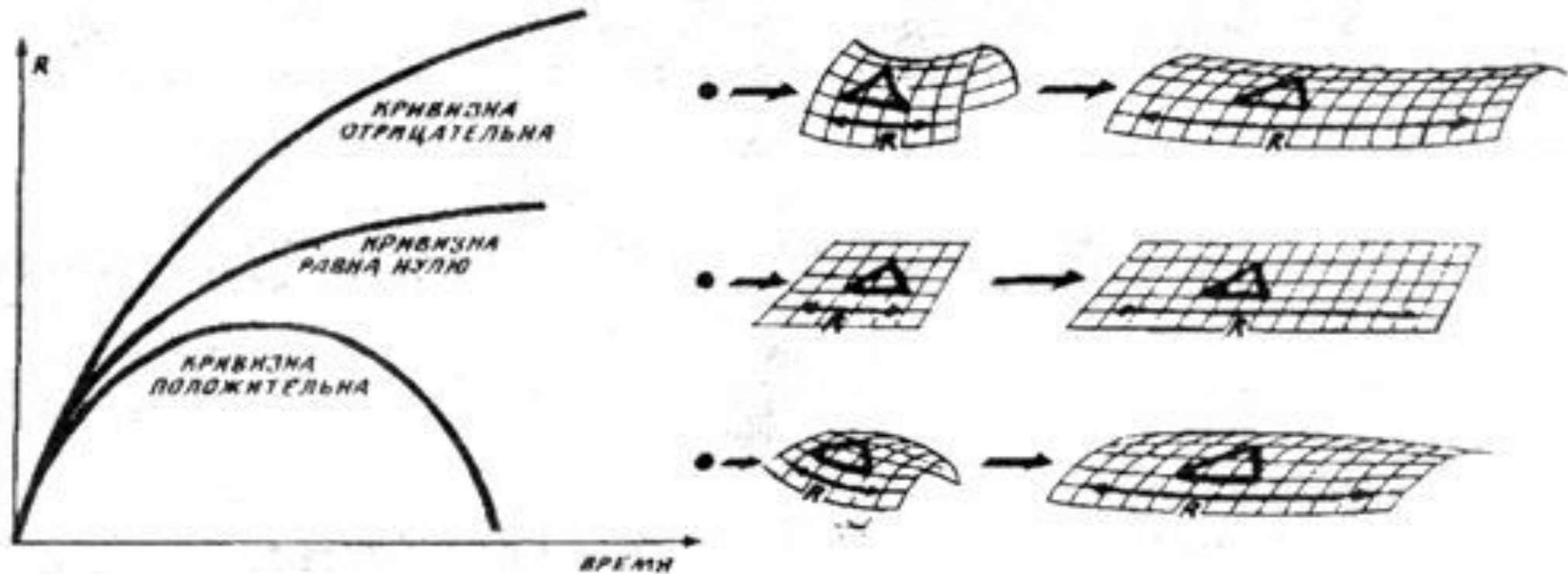


Universe with *negative* curvature. Lines diverge at ever increasing angles. Triangle angles add to less than  $180^\circ$ .



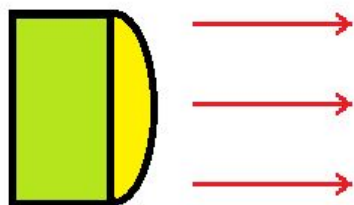
Universe with no curvature. Lines diverge at constant angle. Triangle angles add to  $180^\circ$ .

# Пространства разной кривизны

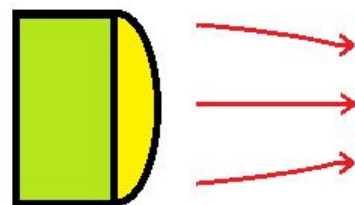
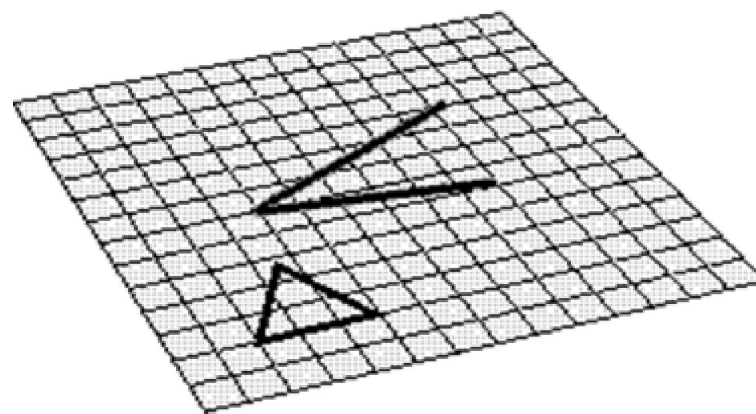




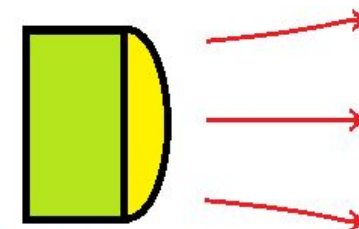
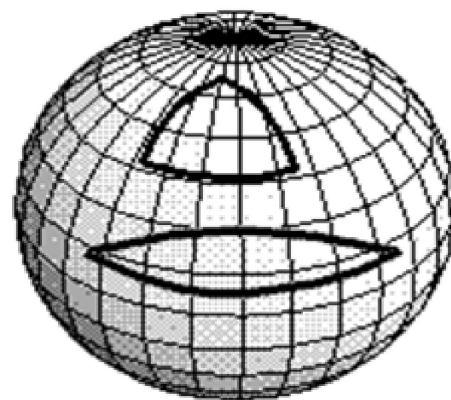
# Распространение света в пространстве разной кривизны



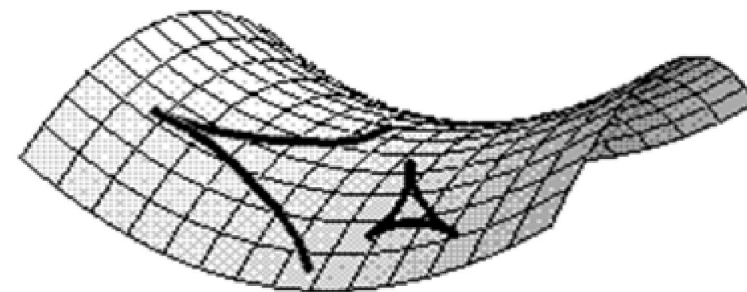
прожектор в пространстве нулевой кривизны



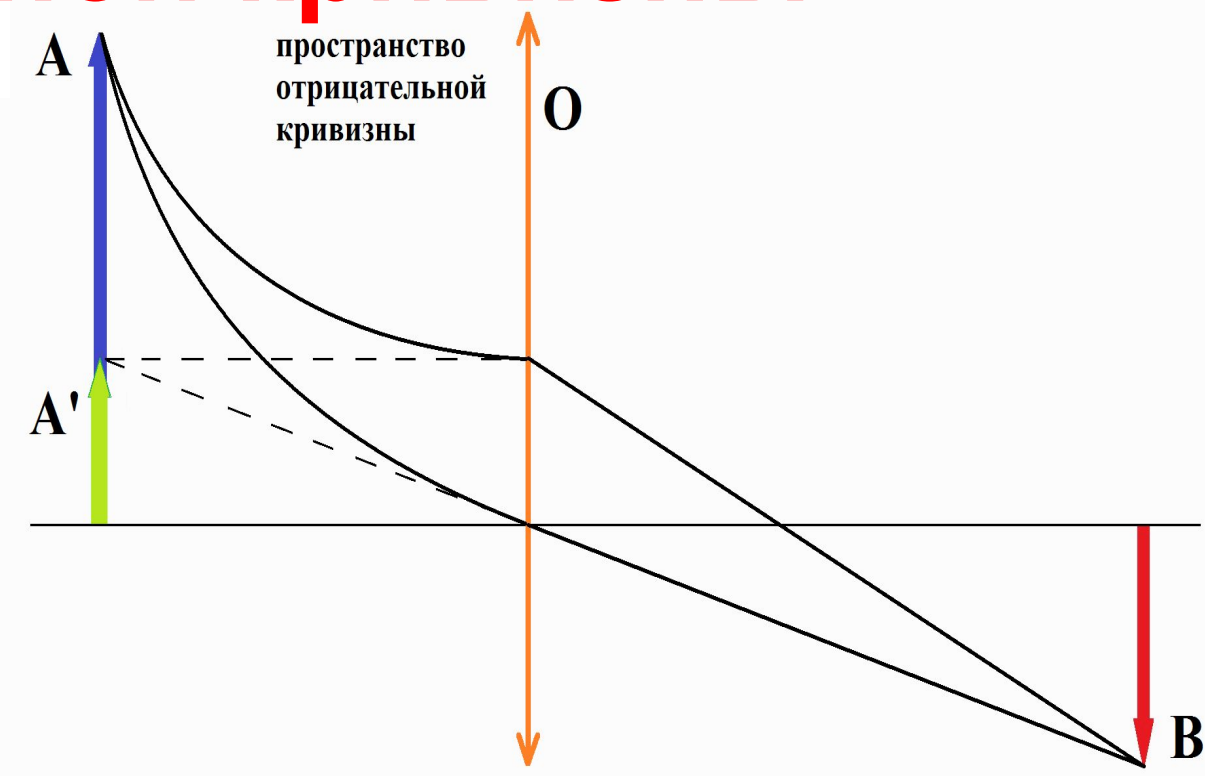
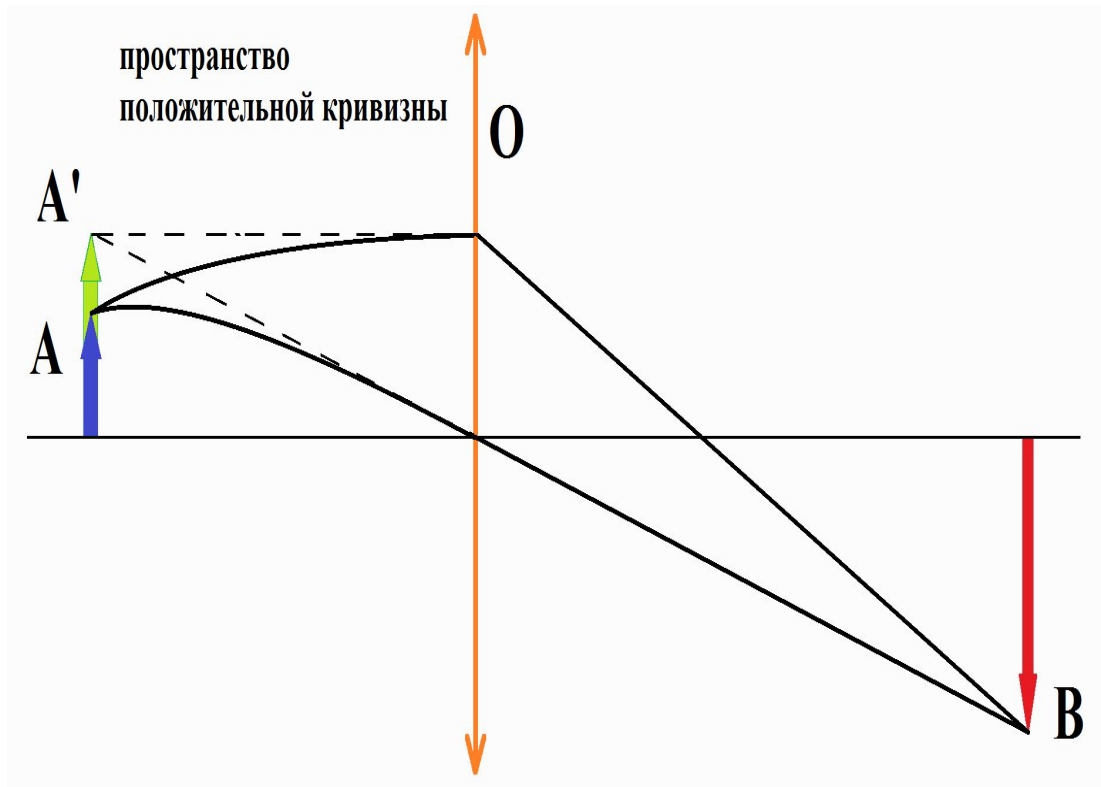
прожектор в пространстве положительной кривизны



прожектор в пространстве отрицательной кривизны



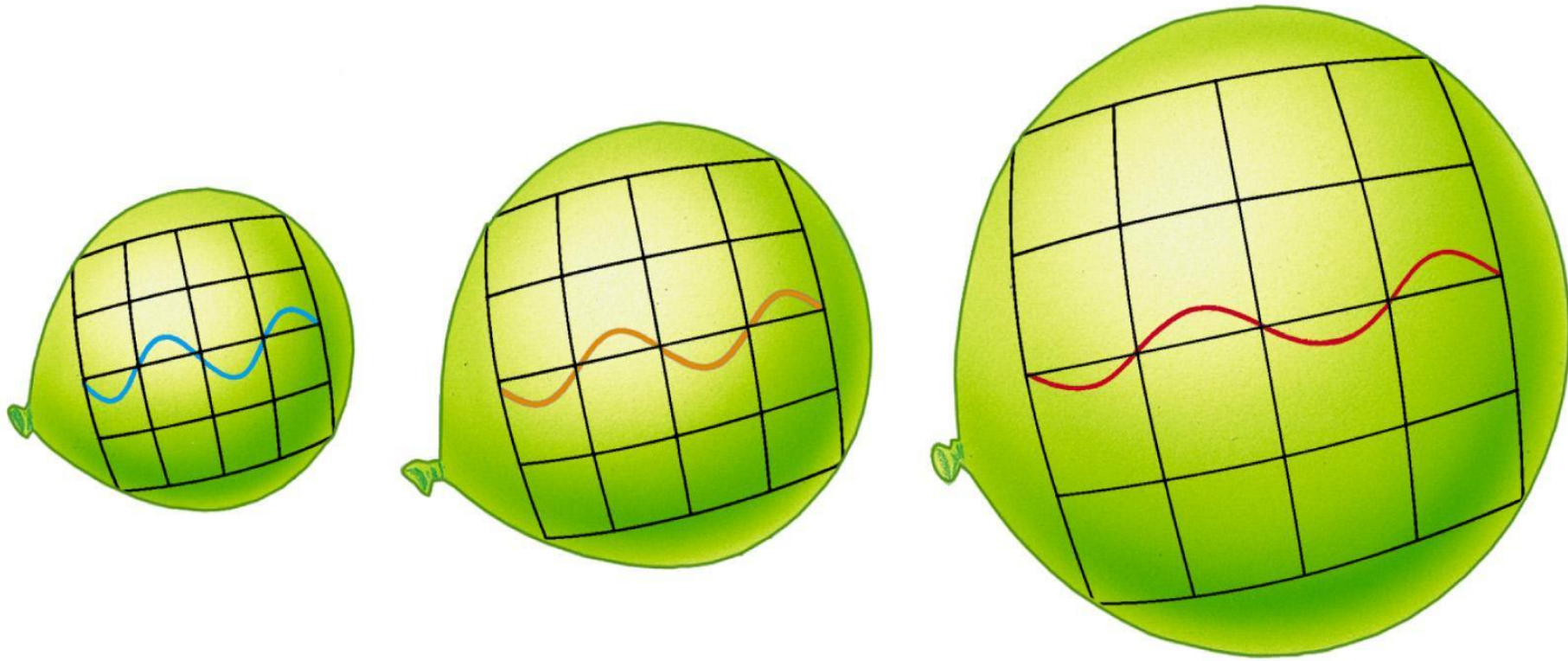
# Распространение света в пространстве разной кривизны





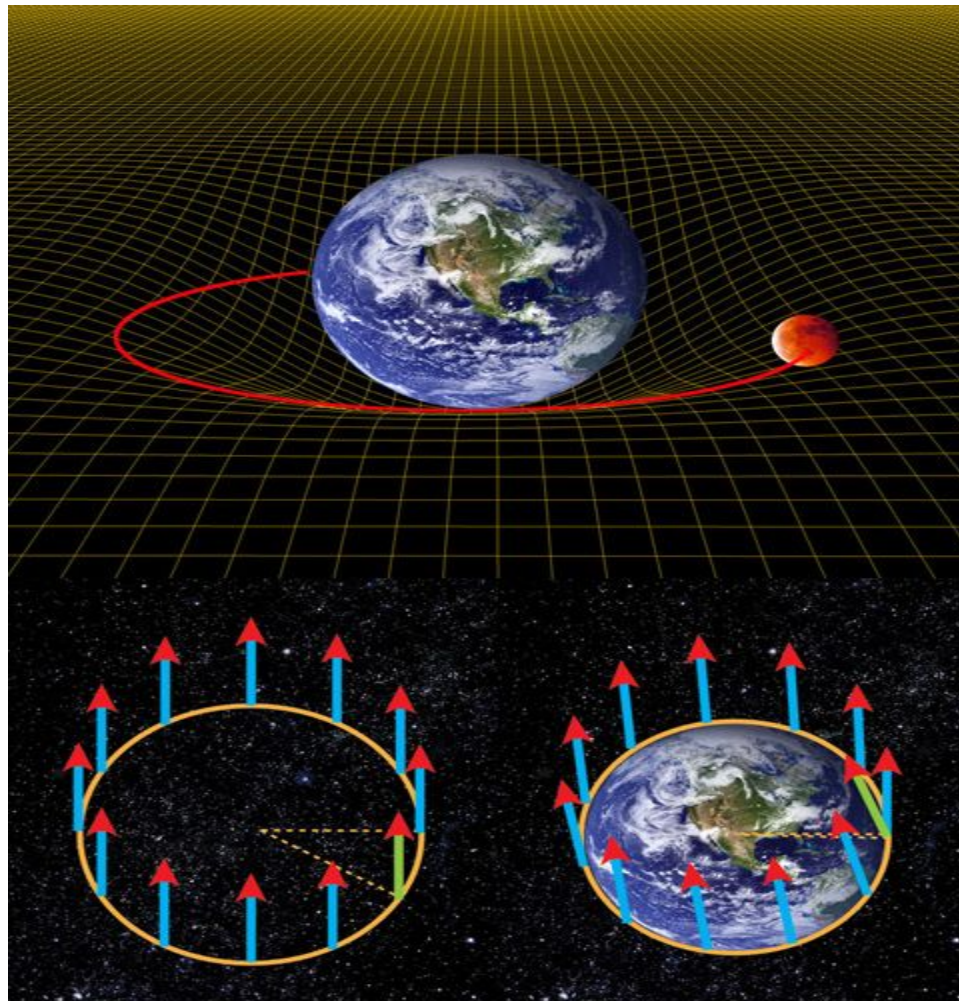


# Расширение Вселенной





# Доказательство неевклидовости пространства вблизи Земли



2005г

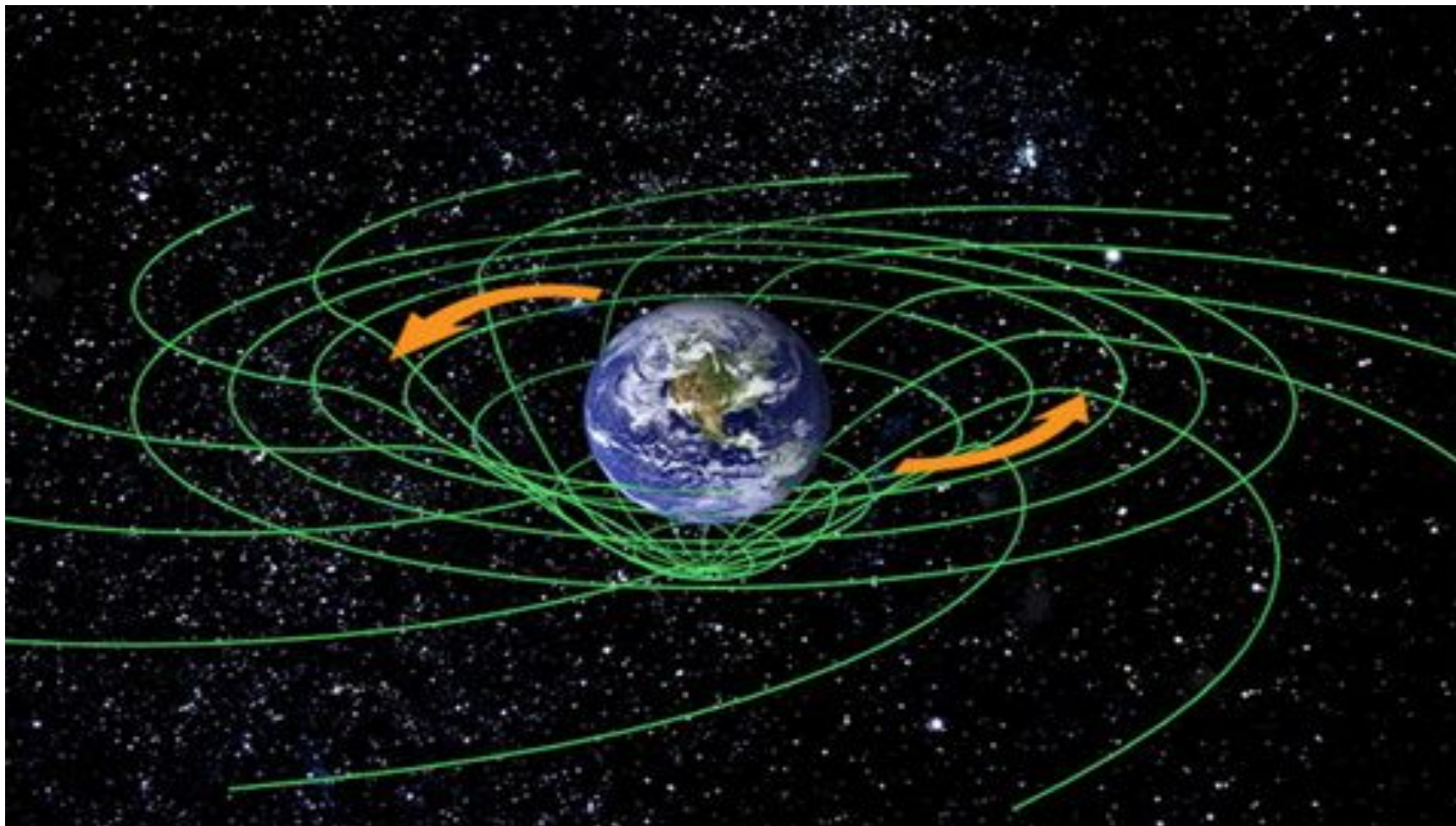
•  
Спутник движется по стационарной круговой орбите диаметром 12 745 километров. Длина этой окружности — 40 тыс. км.

Полёт аппарата Gravity Probe B показал, что точное значение этой длины примерно на три сантиметра меньше, чем следует из евклидовой геометрии, то есть рассчитанное по известной любому школьнику формуле  $2\pi R$ .

Гироскоп всё время должен сохранять ориентацию своей оси (она отмечена стрелками).

**В реалии все время фиксировалась смещения оси гироскопа, вызванного геодезическим «прогибом» ткани пространства-времени**

# Закручивание пространства времени вокруг земли



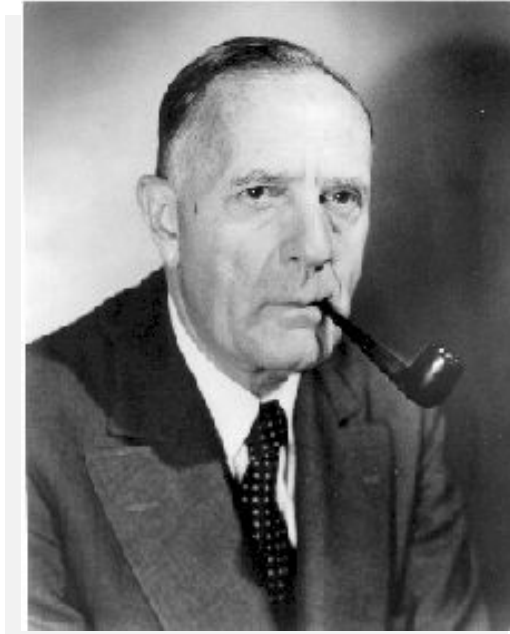
# Закон Хаббла (1929 г.)

Галактики разбегаются друг  
от друга со скоростью

$$V = H R$$

$H = 71$  (км/с)/Мпк – постоянная  
Хаббла

$R$  – расстояние



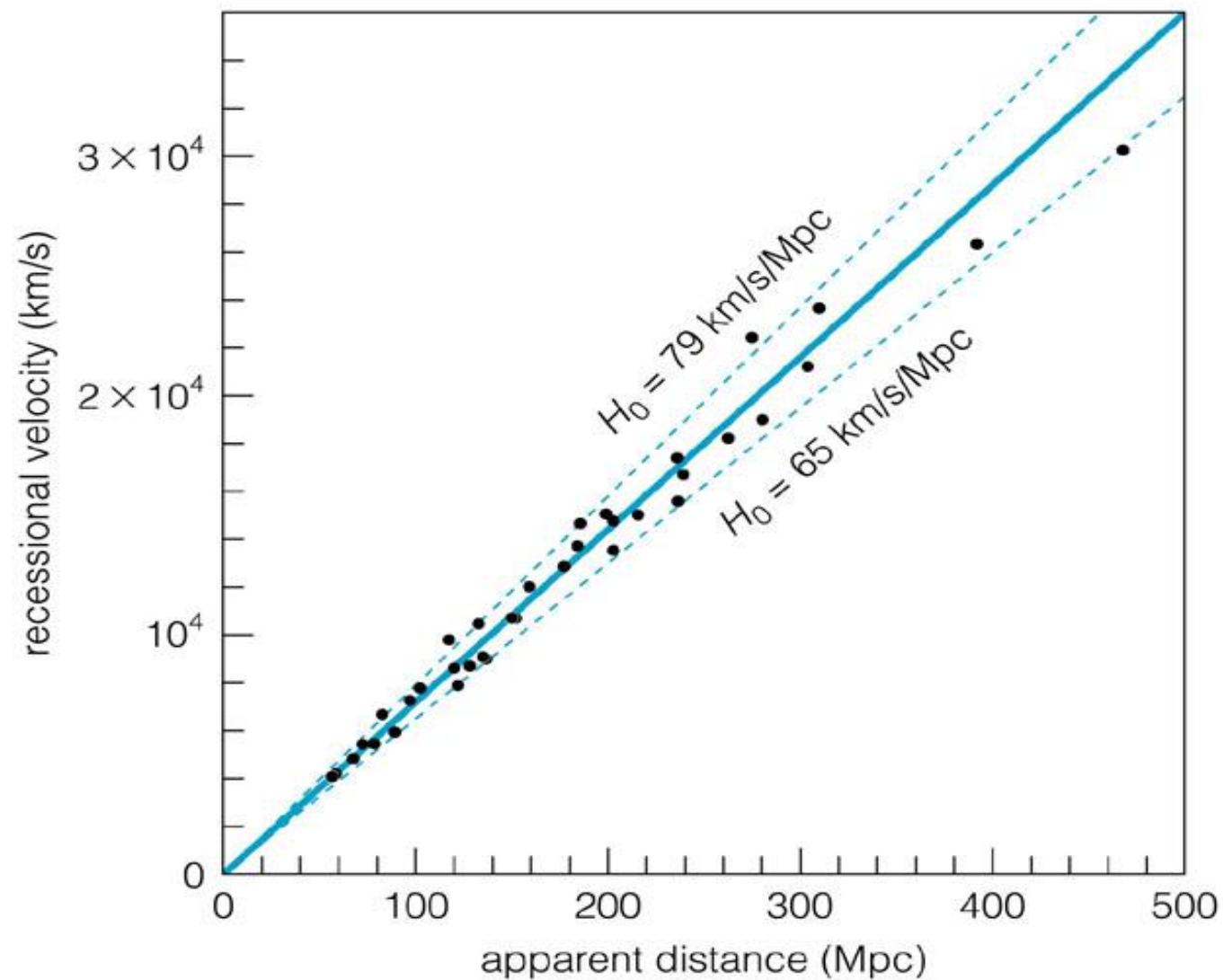
**Эдвин  
Хаббл  
(1889-1953)**

Закон справедлив для  
близких





# Закон Хаббла



# Следствия



- Расширение Вселенной указывает, что когда-то она была очень плотной и горячей
- По мере остывания во Вселенной происходили фазовые переходы
- При температуре порядка 1000 градусов произошла рекомбинация ионизированной плазмы, вещество стало прозрачным для излучения (“реликтовые фотоны” CMBR)
- Температура реликтового фона падала по мере расширения (уменьшилась примерно в 1000 раз)



# Реликтовое излучение и теория большого взрыва



**1946-1948 гг. теория образования химических элементов путём последовательного нейтронного захвата.**

**обоснована теория «Горячей Вселенной», именуемая на Западе теорией «Big Bang» (Теория Большого Взрыва).**

**Предсказано существование реликтового излучения**

Реликтовое, космическое микроволновое фоновое излучение -равномерно заполняющее Вселенную тепловое излучение, возникшее в эпоху первичной рекомбинации водорода.

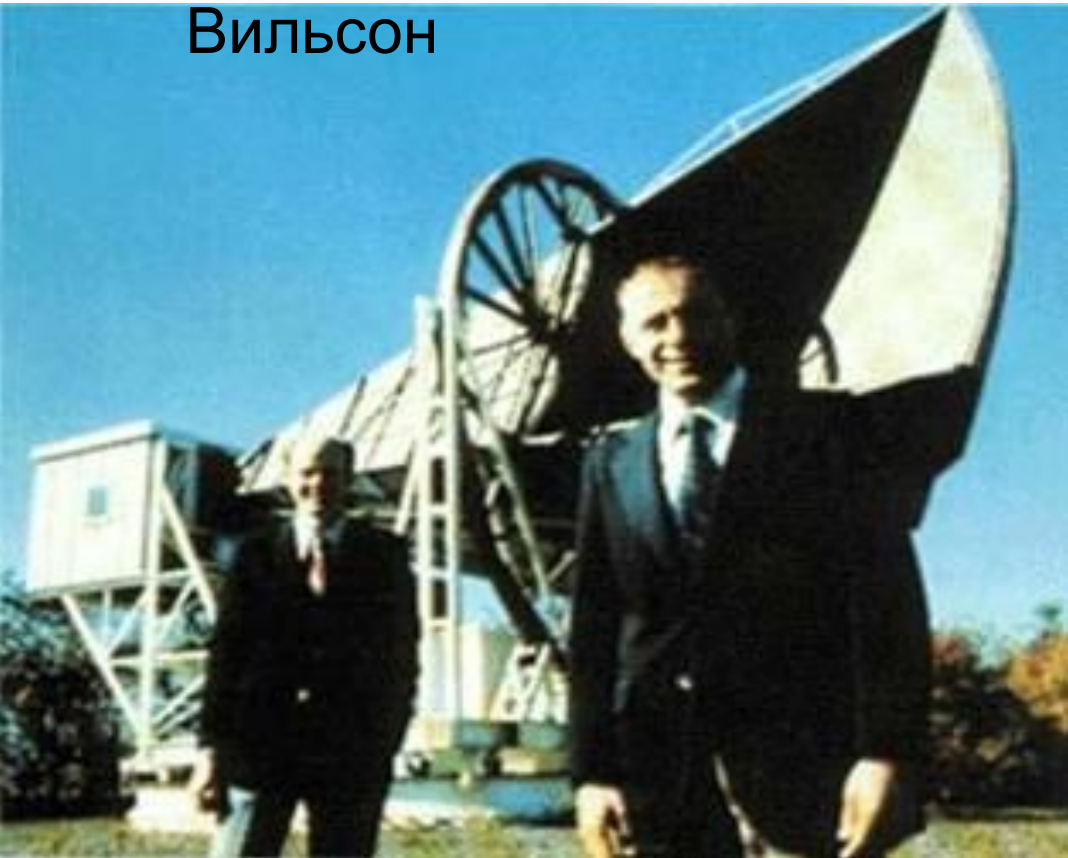
Обладает высокой степенью изотропности и спектром, характерным для абсолютно чёрного тела с температурой  $2,72548 \pm 0,00057$  К[1].



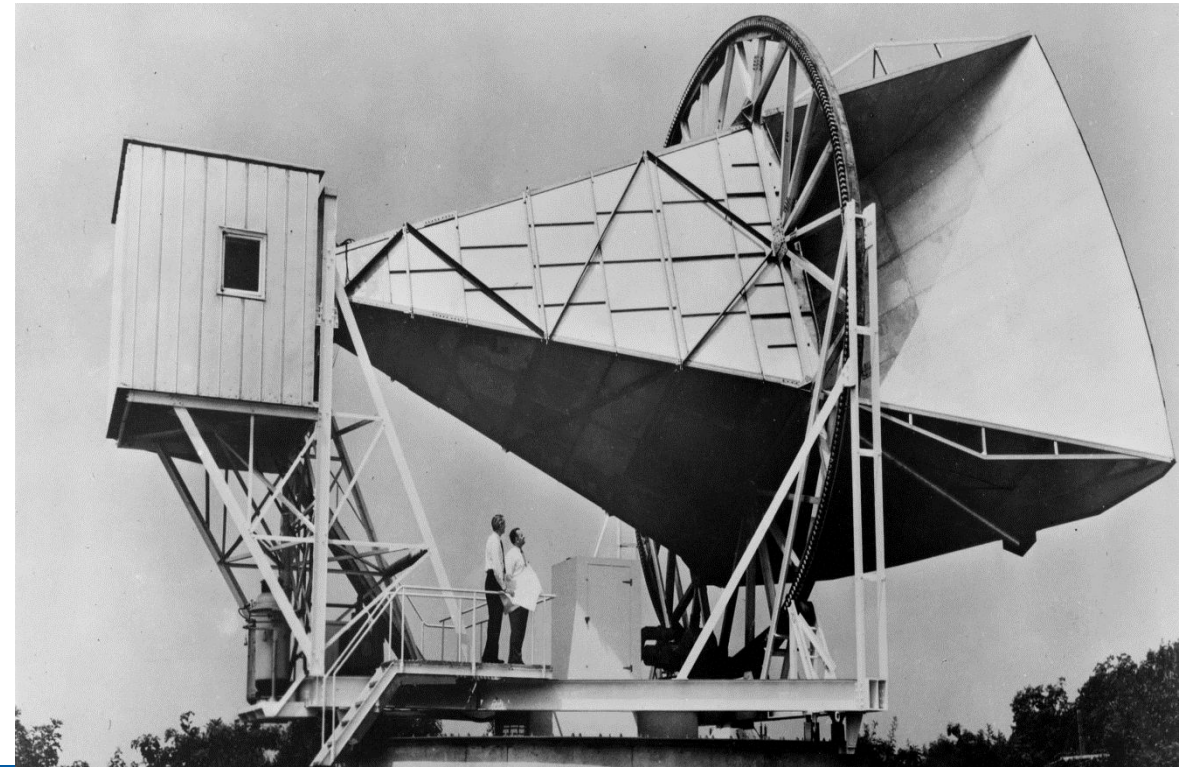
# Реликтовое излучение и теория большого взрыва



Арно Пензиас и Роберт  
Вильсон

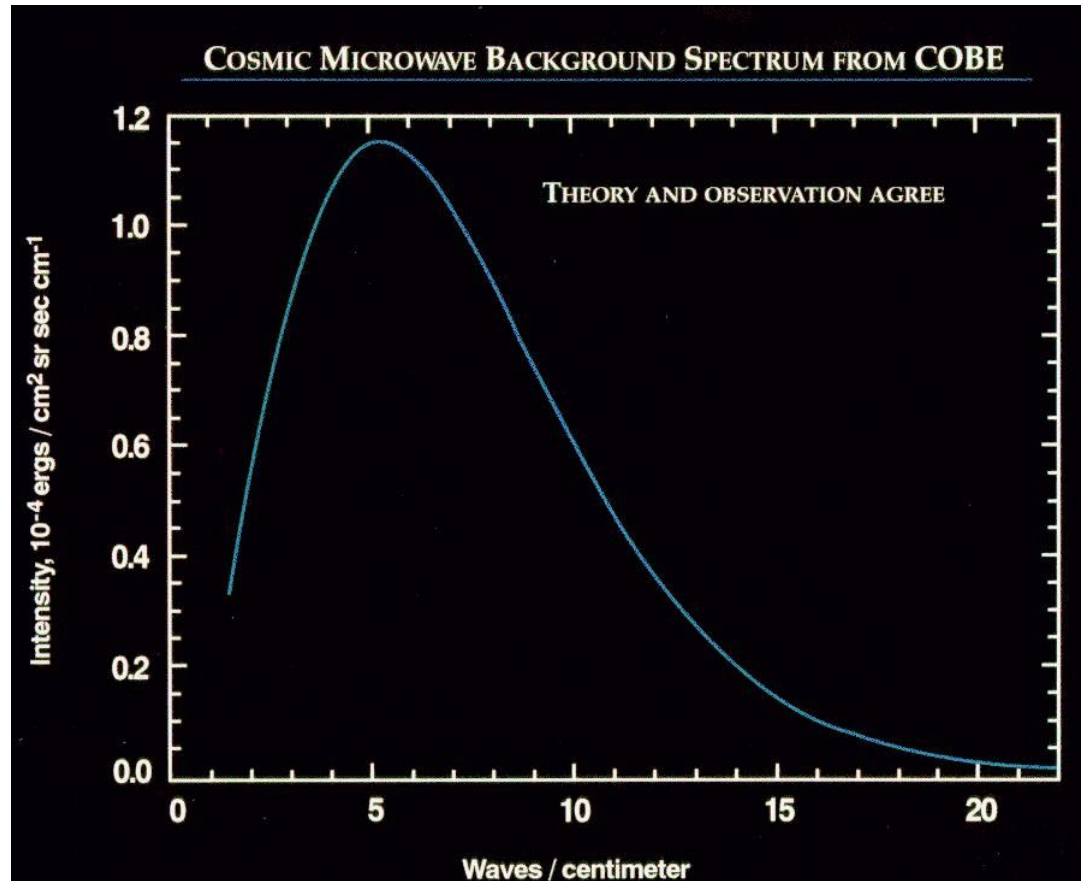


В 1978 году Пензиас и Вильсон за своё открытие  
получили Нобелевскую премию





# Основной результат COBE



Спектр CMBR является планковским при температуре 2,7 К (радиодиапазон)

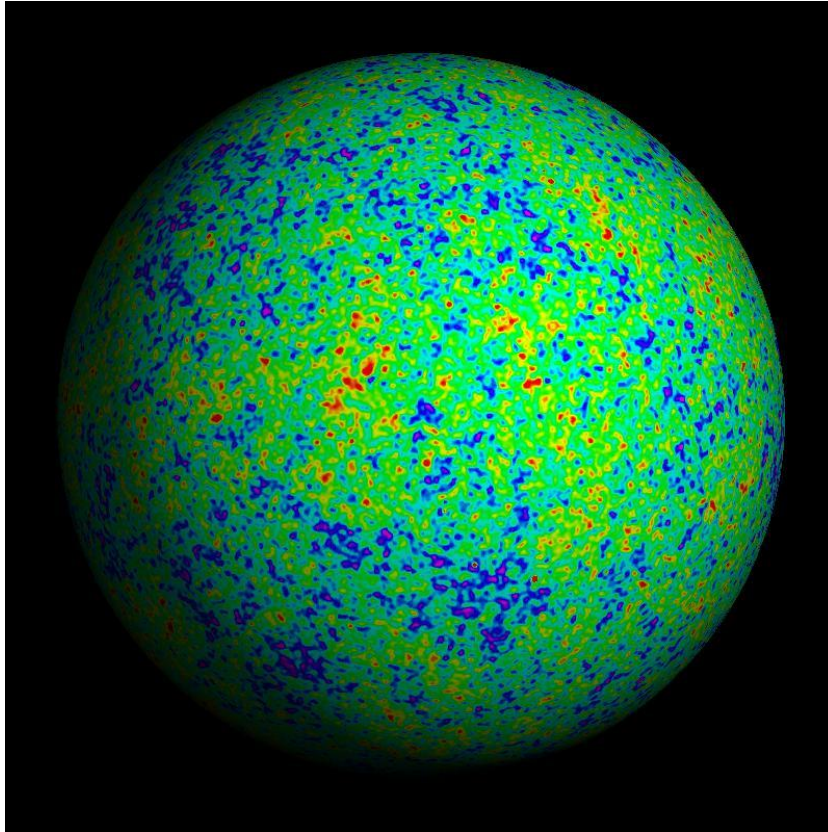
Важно, что температура является слегка неоднородной

$$\frac{\delta T}{T} \approx 10^{-5}$$



# Микроволновой фон

(открыт Пензиасом и Вильсоном в 1965 г.)



Температура  
излучения  
2,7 К

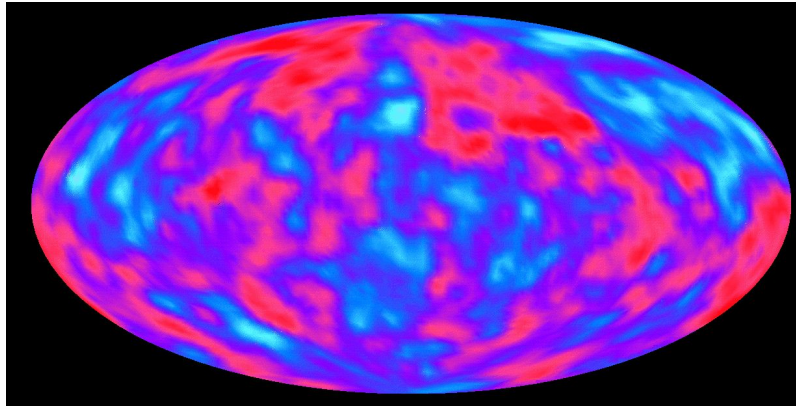
**Для физиков важны  
неоднородности фона!**

«Фотоснимок» Вселенной в момент ее  
«молодости»

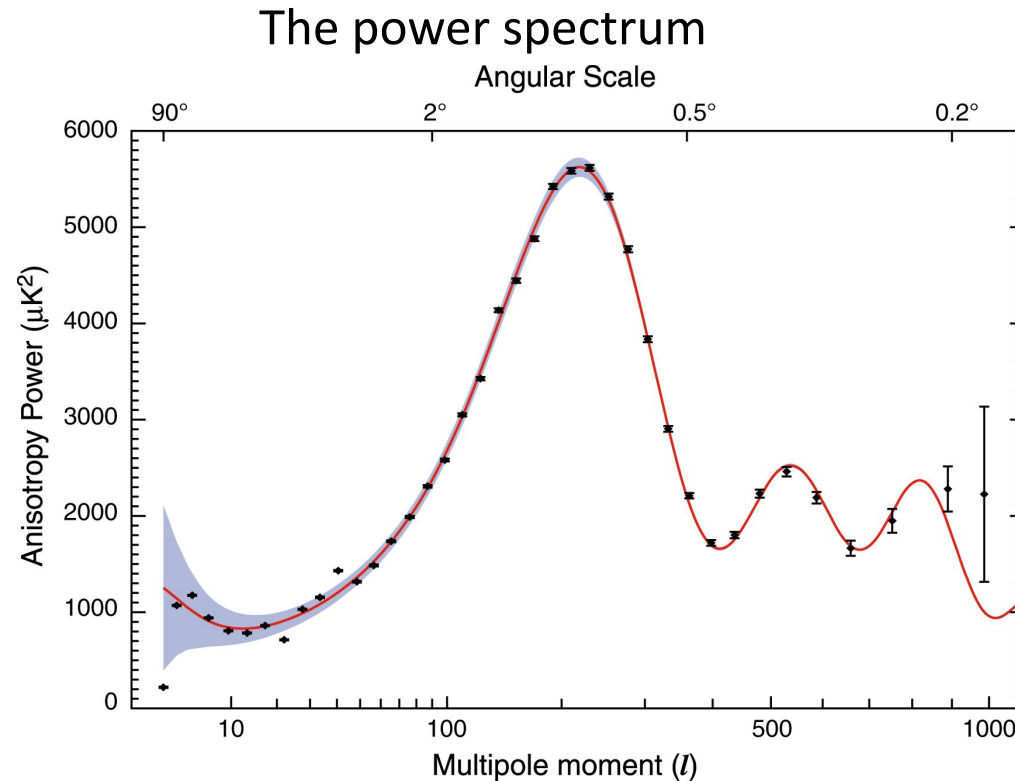
(когда ей было около 300 тысяч лет)



# Флуктуации температуры реликтового фона

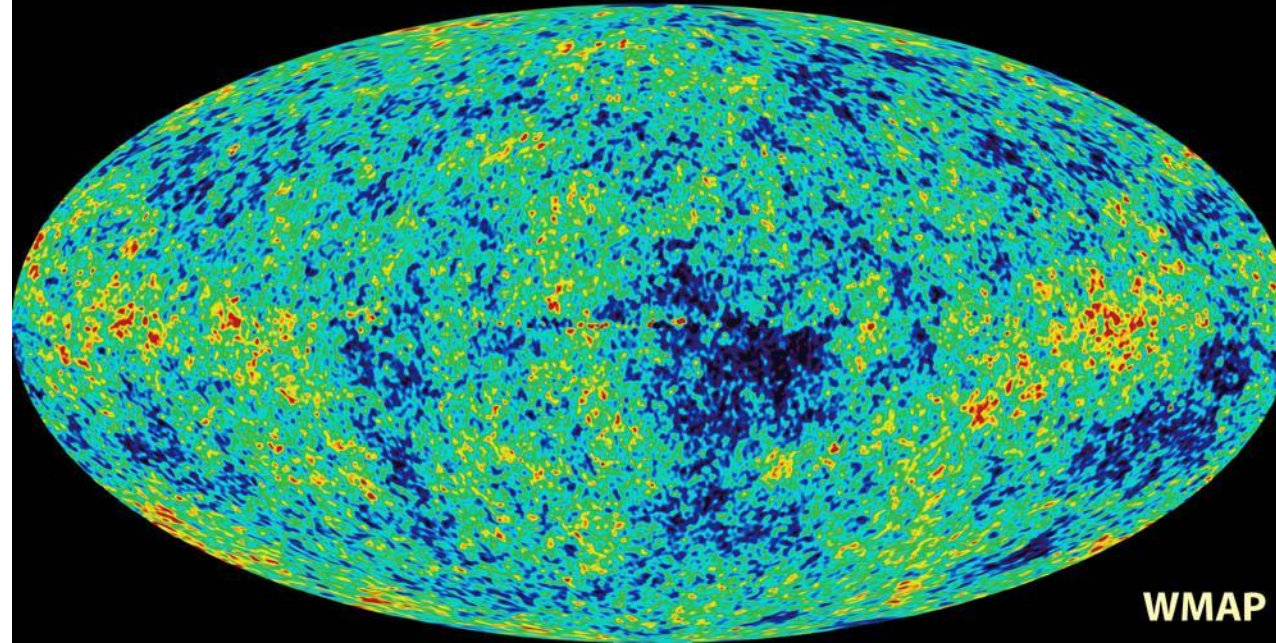
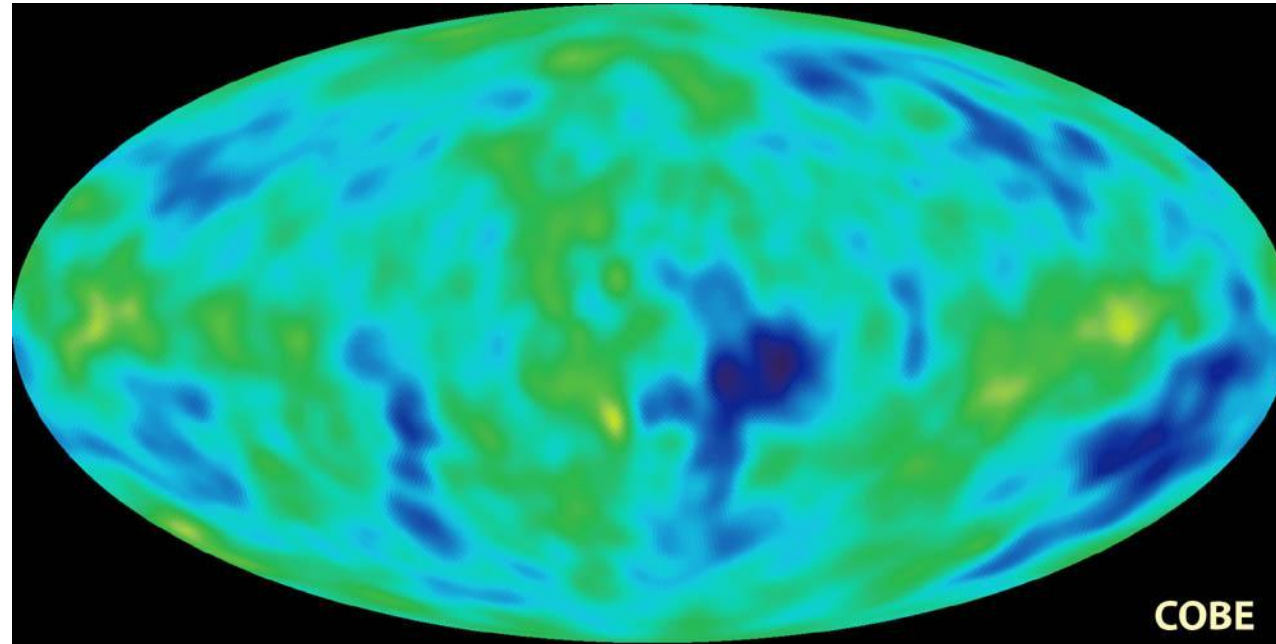


Данные спутника  
WMAP (2001)  
Wilkinson Microwave  
Anisotropy Probe



Угловой размер типичной  
неоднородности 1 градус  
(эквивалентно  $l=200$ )

# Флуктуации реликтового фона





# Анализ CMBR указывает на плоскую Вселенную ( $k=0$ )!

Это означает, что плотность вещества во Вселенной

$$\rho = \rho_{crit} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

Зная параметр Хаббла, это дает следующую величину:

$$0.8 \cdot 10^{-25} \text{ г /куб. метр}$$

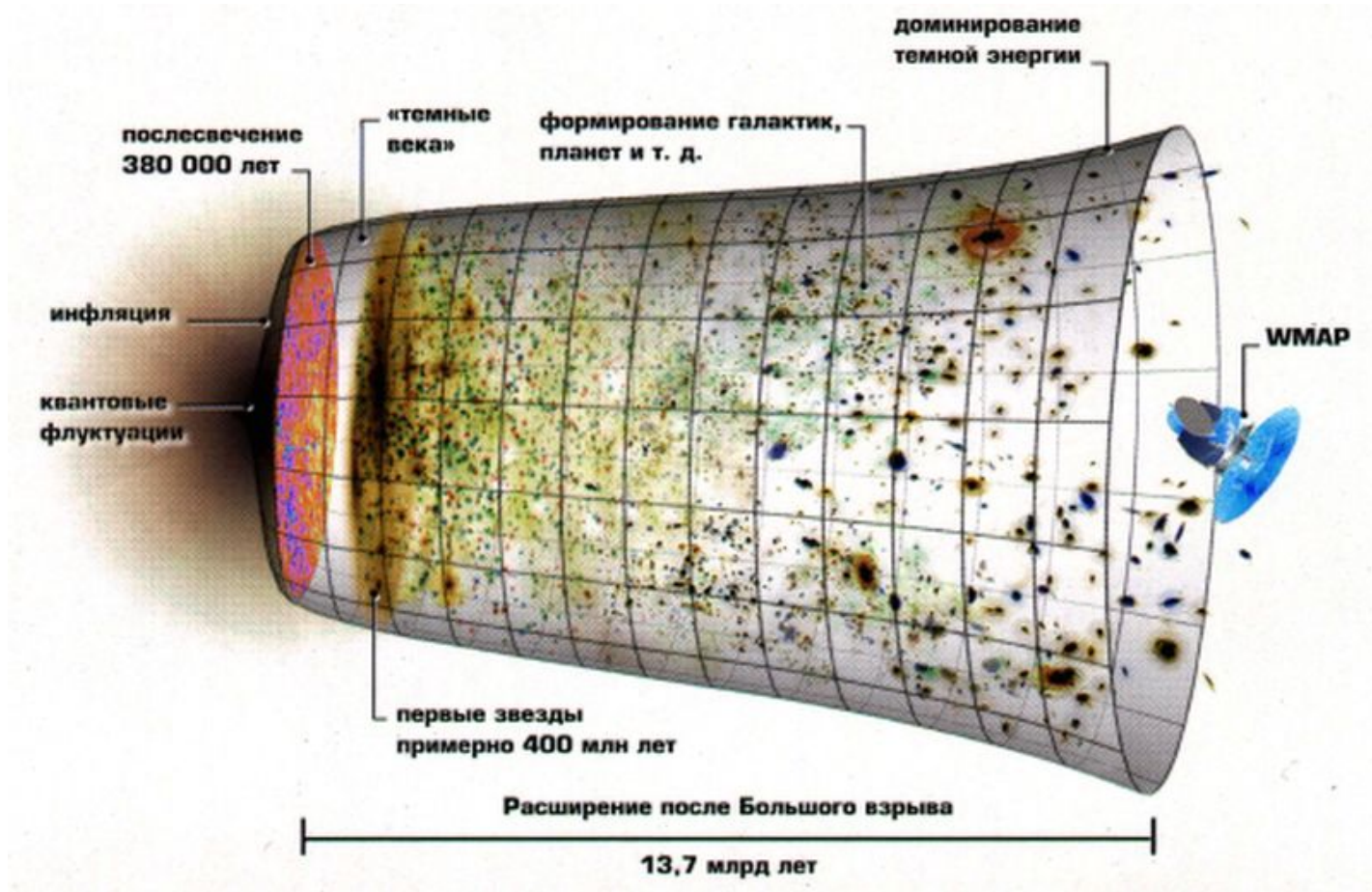
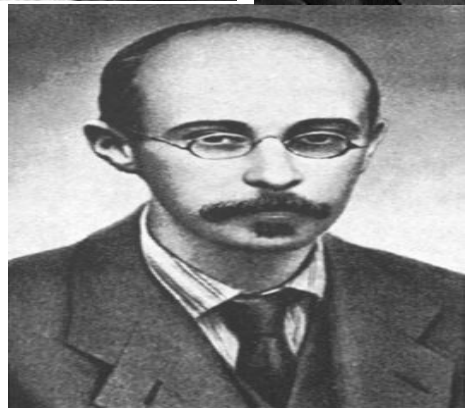
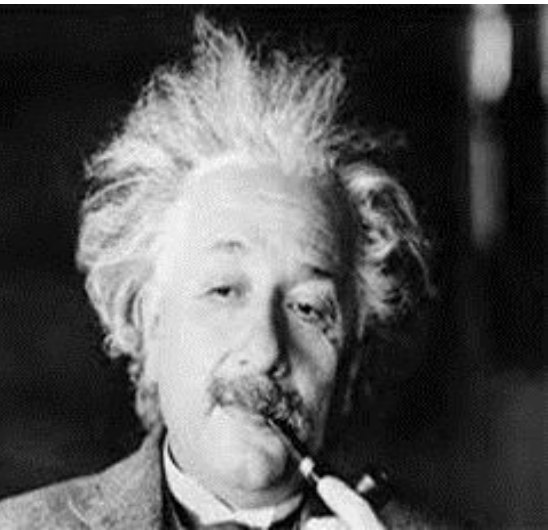
(масса протона  $1.6 \cdot 10^{-24}$  г)





# Космология Эйнштейна Фридмана Гамова

## Гравитация



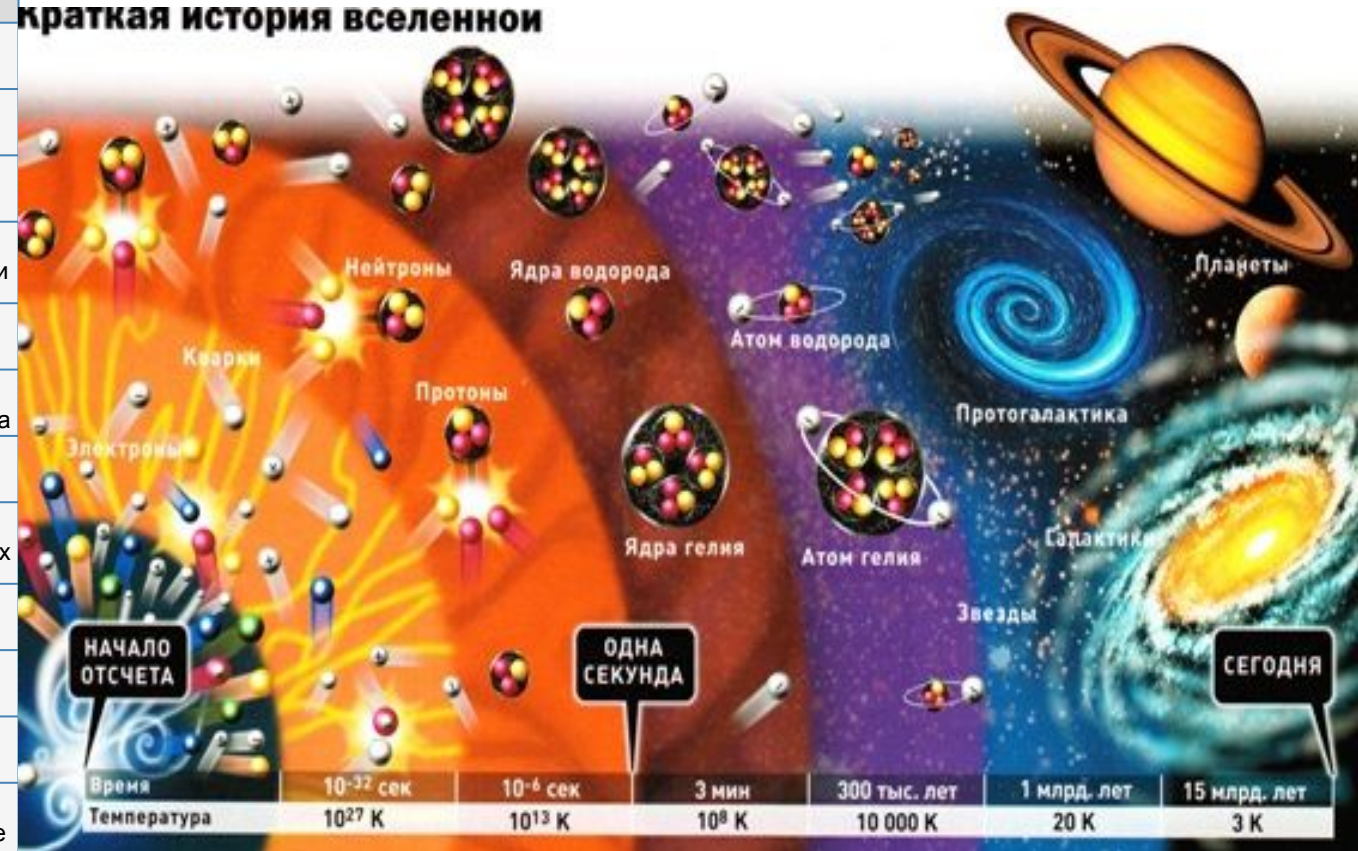
# Реликтовое излучение и теория большого взрыва



Краткая история развития Вселенной

Время	Температура	Состояние Вселенной
$10^{-45} - 10^{-37}$ сек	Более $10^{26}$ К	Инфляционное расширение
$10^{-6}$ сек	Более $10^{13}$ К	Появление кварков и электронов
$10^{-5}$ сек	$10^{12}$ К	Образование протонов и нейтронов
$10^{-4}$ сек - 3 мин	$10^{11} - 10^9$ К	Возникновение ядер дейтерия, гелия и лития
400 тыс. лет	4000 К	Образование атомов
15 млн. лет	300 К	Продолжение расширения газового облака
1 млрд. лет	20 К	Зарождение первых звезд и галактик
3 млрд. лет	10 К	Образование тяжелых ядер при взрывах звезд
10 - 15 млрд. лет	3 К	Появление планет и разумной жизни
$10^{14}$ лет	$10^{-2}$ К	Прекращение процесса рождения звезд
$10^{37}$ лет	$10^{-18}$ К	Истощение энергии всех звезд
$10^{40}$ лет	-20 К	Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц
$10^{100}$ лет	$10^{-60} - 10^{-40}$ К	Завершение испарения всех черных дыр

краткая история вселенной

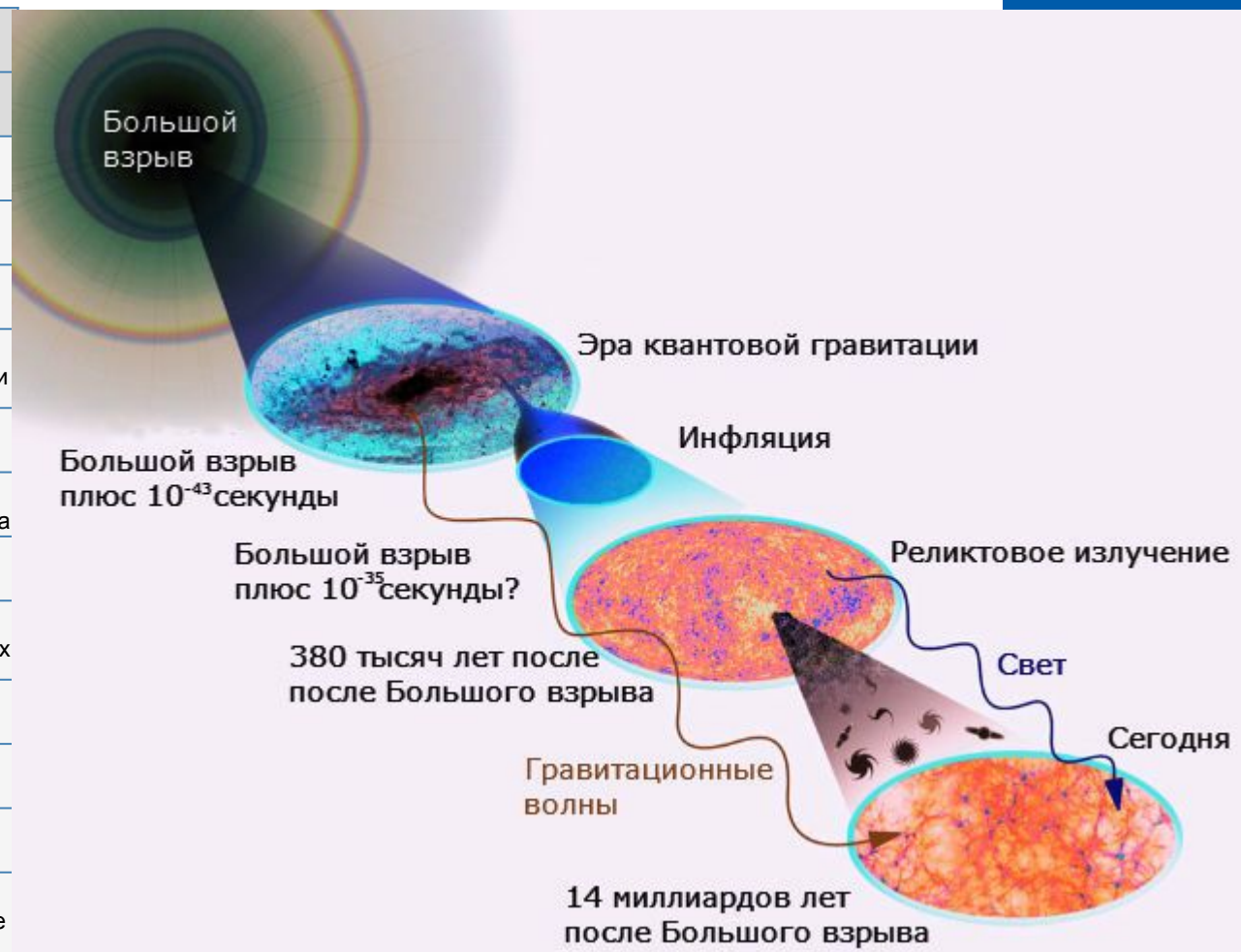




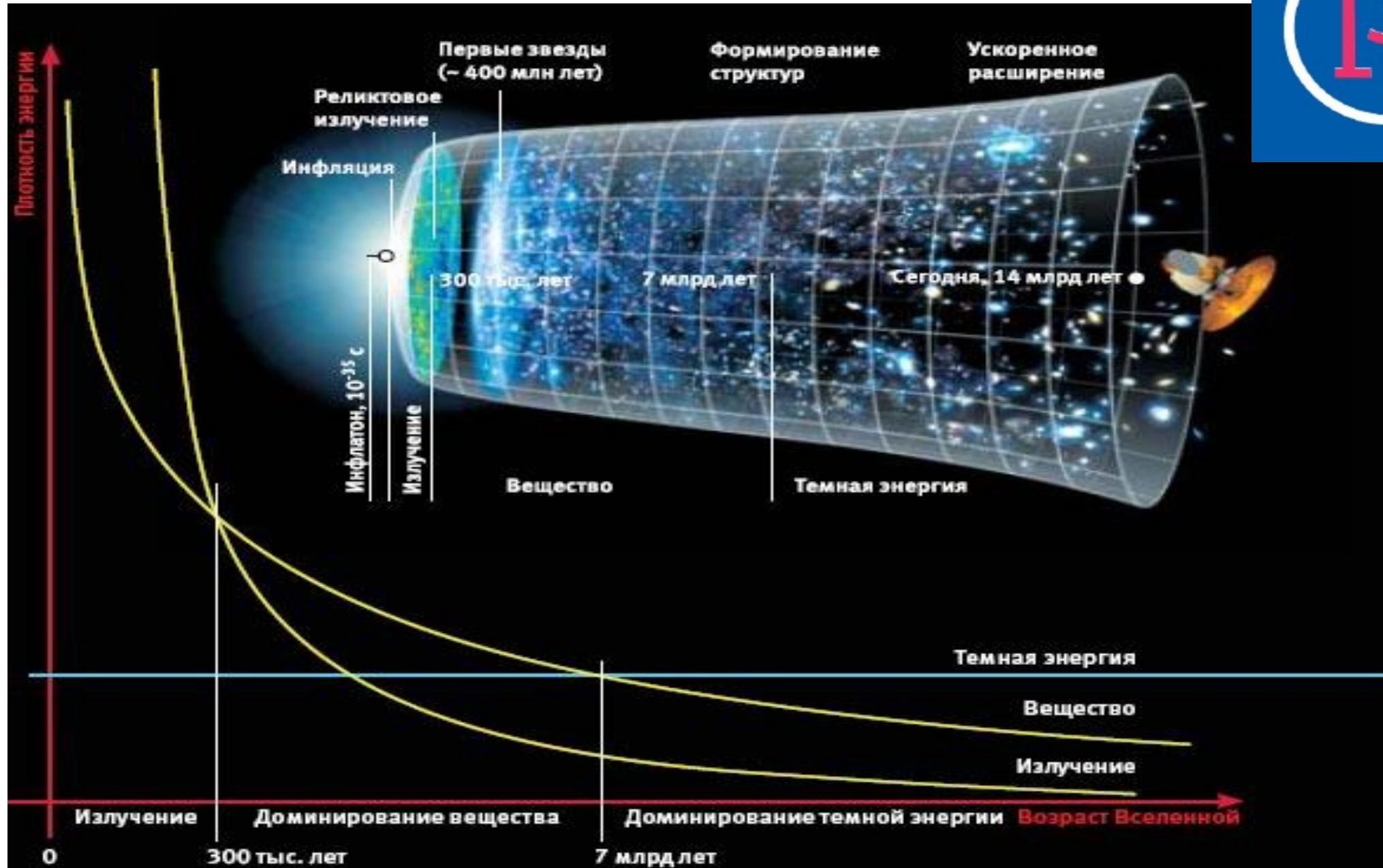
# Реликтовое излучение и этапы большого взрыва



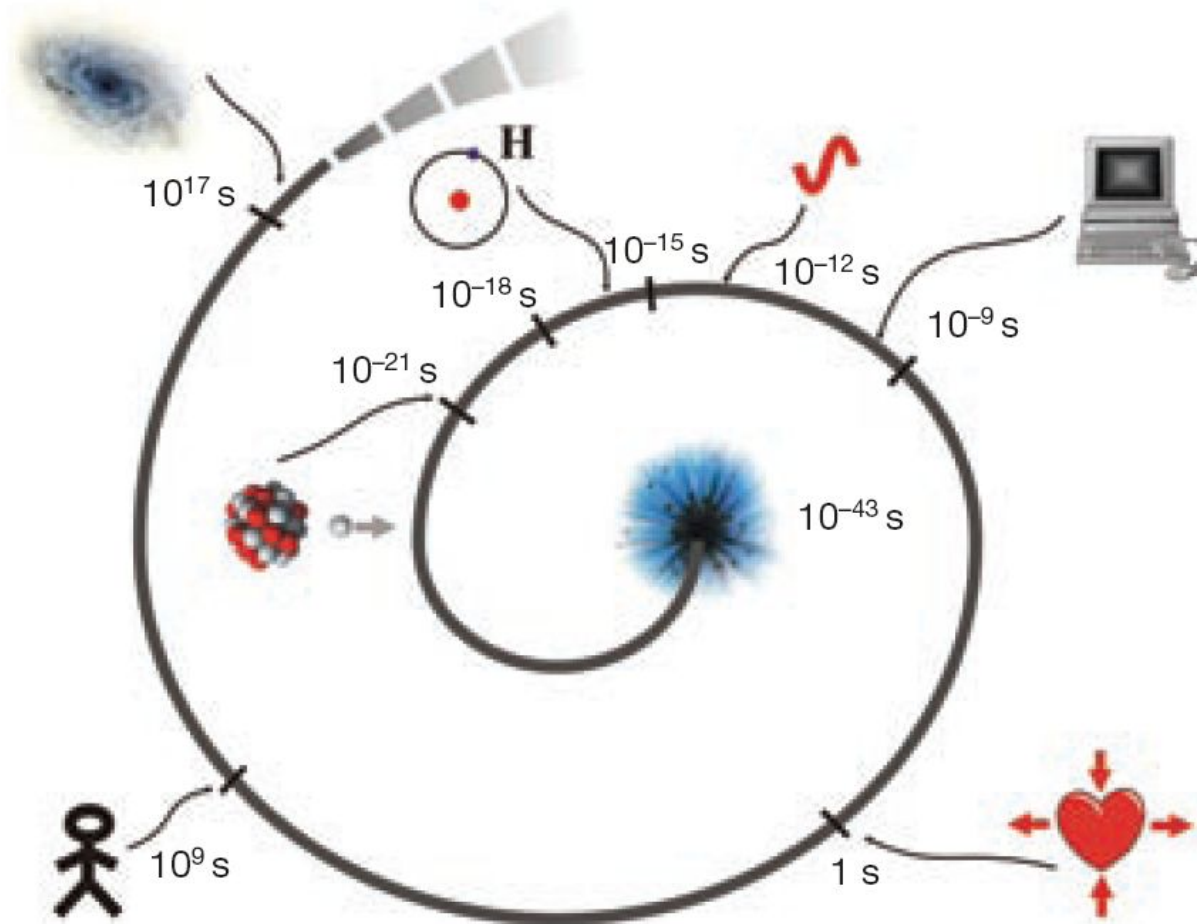
Краткая история развития Вселенной		
Время	Температура	Состояние Вселенной
$10^{-45} - 10^{-37}$ сек	Более $10^{26}$ К	Инфляционное расширение
$10^{-6}$ сек	Более $10^{13}$ К	Появление кварков и электронов
$10^{-5}$ сек	$10^{12}$ К	Образование протонов и нейтронов
$10^{-4}$ сек - 3 мин	$10^{11} - 10^9$ К	Возникновение ядер дейтерия, гелия и лития
400 тыс. лет	4000 К	Образование атомов
15 млн. лет	300 К	Продолжение расширения газового облака
1 млрд. лет	20 К	Зарождение первых звезд и галактик
3 млрд. лет	10 К	Образование тяжелых ядер при взрывах звезд
10 - 15 млрд. лет	3 К	Появление планет и разумной жизни
$10^{14}$ лет	$10^{-2}$ К	Прекращение процесса рождения звезд
$10^{37}$ лет	$10^{-18}$ К	Истощение энергии всех звезд
$10^{40}$ лет	-20 К	Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц
$10^{100}$ лет	$10^{-60} - 10^{-40}$ К	Завершение испарения всех черных дыр



# Инфляция. (А. Старобинский, А. Гут. 1979 г.)



# Временные масштабы природных явлений



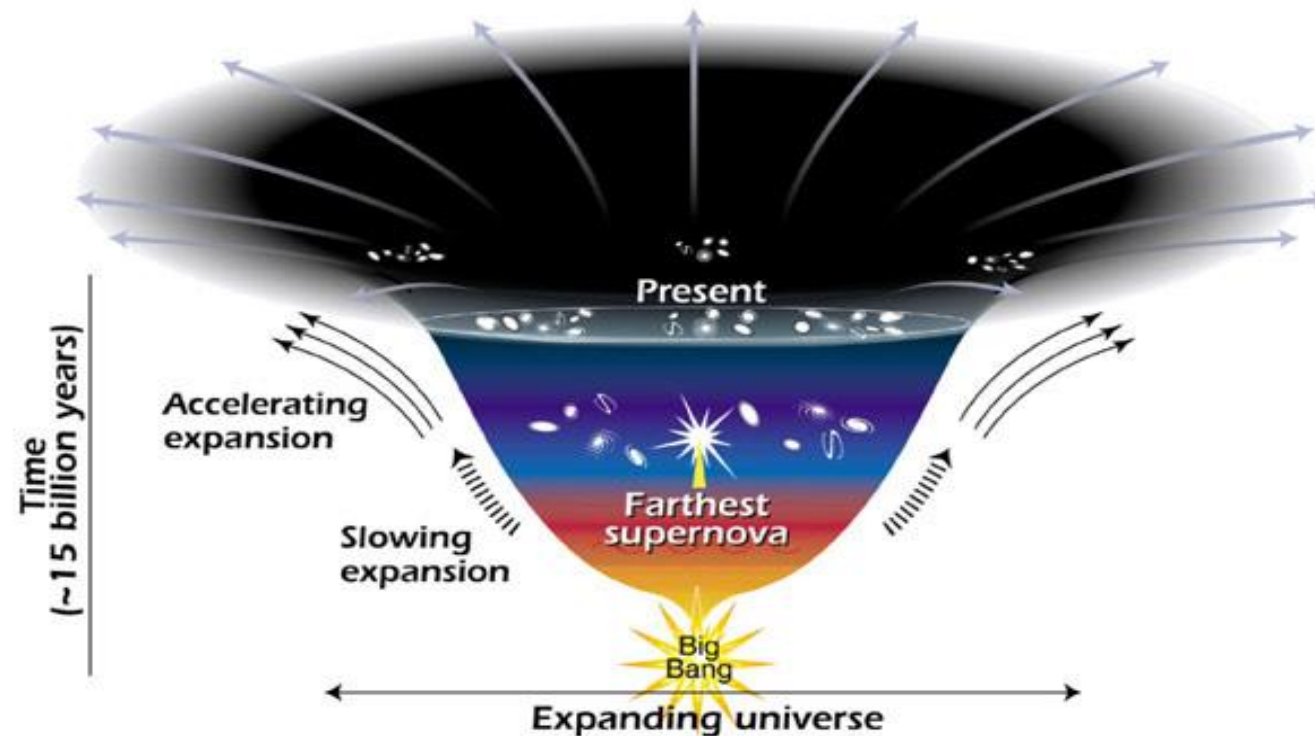
Kaplan,  
Optics and Photonics News,  
2005

Время жизни вселенной:  
14 миллиардов лет =  $5 \cdot 10^{17}$  с  
Средняя продолжительность жизни  
человека: 70 лет =  $2 \cdot 10^9$  с  
Сердечный ритм: 1 с

Быстродействие компьютера:  $3 \cdot 10^{-10}$  с  
Длительность терагерцового импульса:  $10^{-12}$  с = 1 пикосекунда  
Период колебания светового поля видимого излучения :  
 $3 \cdot 10^{-15}$  с = 3 фемтосекунды  
Период обращения электрона вокруг протона в атоме водорода:  $1.5 \cdot 10^{-16}$  с = 150 аттосекунд (атто –  $10^{-18}$ )  
Сильные ядерные взаимодействия:  
 $10^{-21}$  с = 1 зептосекунда  
Начальная вспышка большого взрыва (время Планка):  $10^{-43}$  с



# Вселенная расширяется с ускорением (антигравитация)



NASA/A. Riess





Ускорение = положительная вторая производная масштабного фактора



$$\dot{a} > 0$$

$$\frac{\dot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3p) = -\frac{4\pi G}{3}(1 + 3w)\rho$$

$$w < -\frac{1}{3}$$

Для определения высших производных необходима информация об удаленных объектах (для которых нарушается закон Хаббла)

# Из чего состоит Вселенная?



$$\rho = \rho_{\Lambda} + \rho_M$$

$\rho_{\Lambda}$  - Плотность загадочного вещества “темной энергии”, обеспечивающего ускорение

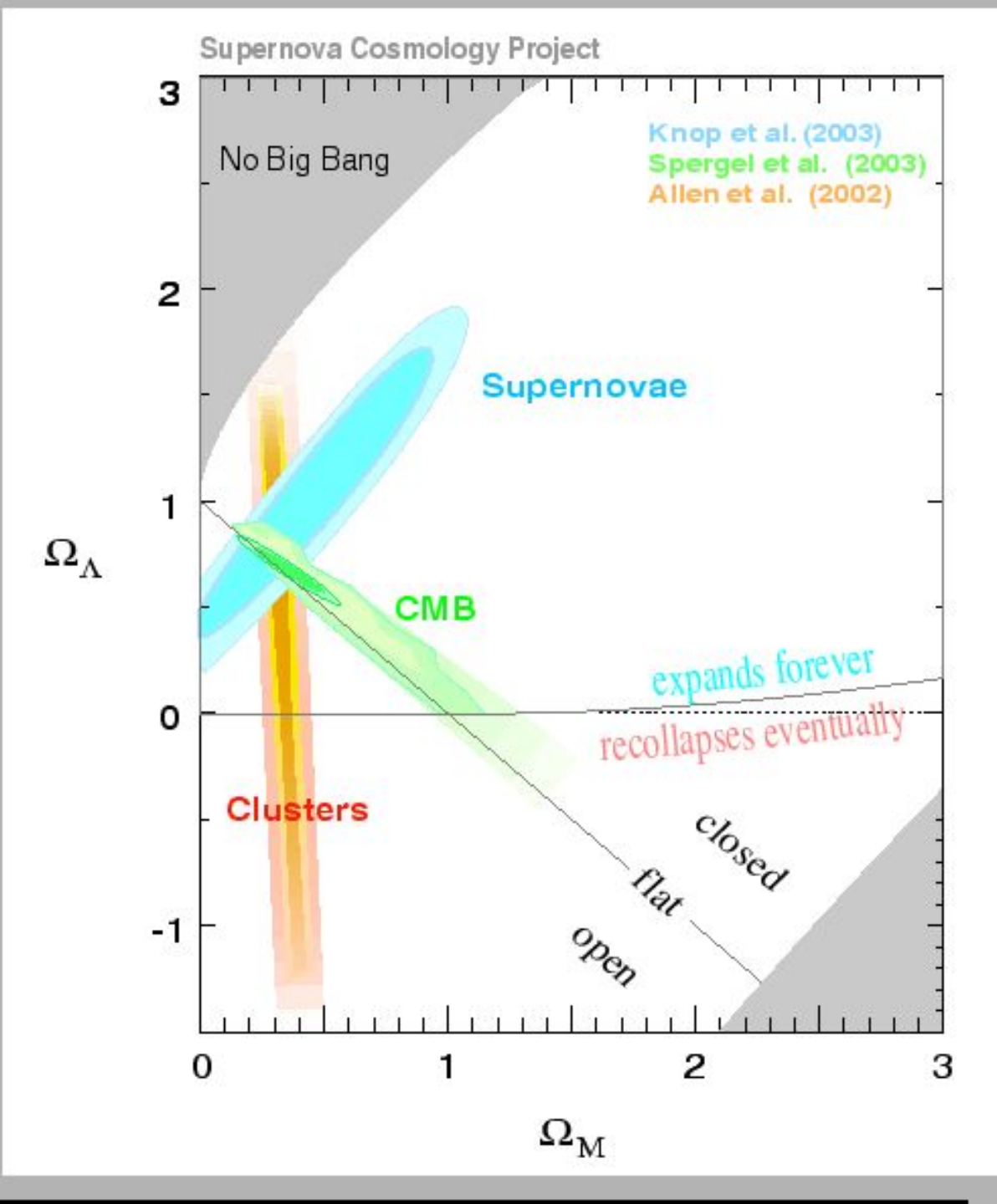
$\rho_M$  - плотность материи с обычным уровнем состояния

$$\Omega_{\Lambda} = \frac{\rho_{\Lambda}}{\rho_{crit}} = \frac{\rho_{\Lambda}}{\rho}$$

Каковы пропорции двух форм материи?

$$\Omega_M = \frac{\rho_M}{\rho_{crit}} = \frac{\rho_M}{\rho}$$

$$\Omega_{\Lambda} + \Omega_M = 1$$



$$\Omega_\Lambda \approx 0.7$$

$$\Omega_M \approx 0.3$$



# Загадка Вселенной:

Только 5 % вещества Вселенной состоит  
из  
известных форм материи:

0,03 % - тяжелые элементы (вещество  
планет)

0,5% - звезды

0,3 % - релятивистские частицы  
(нейтрино)

4 % - свободный водород и гелий  
непосредственно не  
детектируется (темная материя или  
скрытая)



# Столкновения отделили темную материю от обычной



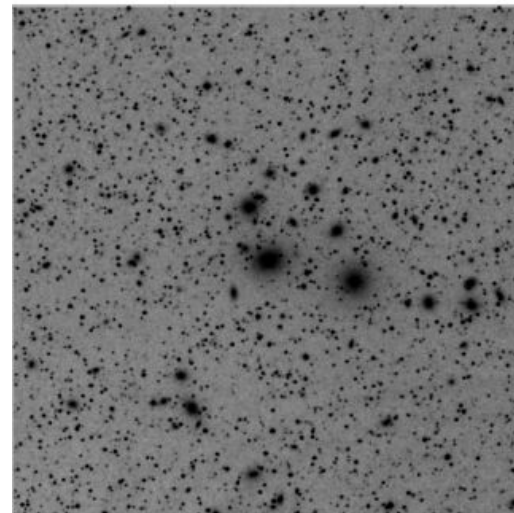
# Темная материя



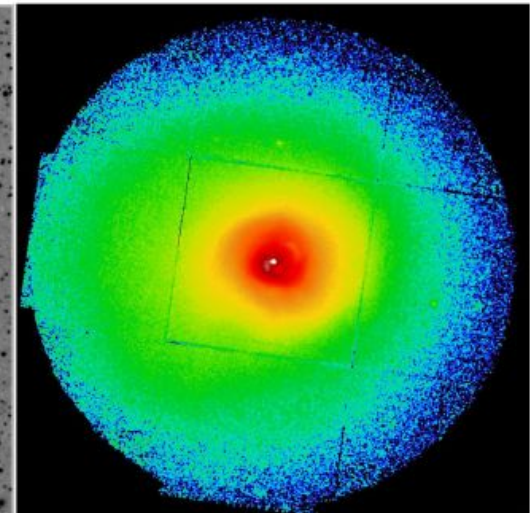
**Скорости движения галактик  
в связанных системах дают  
оценку массы скопления  
гораздо больше видимой  
массы**

**Вид скоплений в  
разных диапазонах  
энергий**

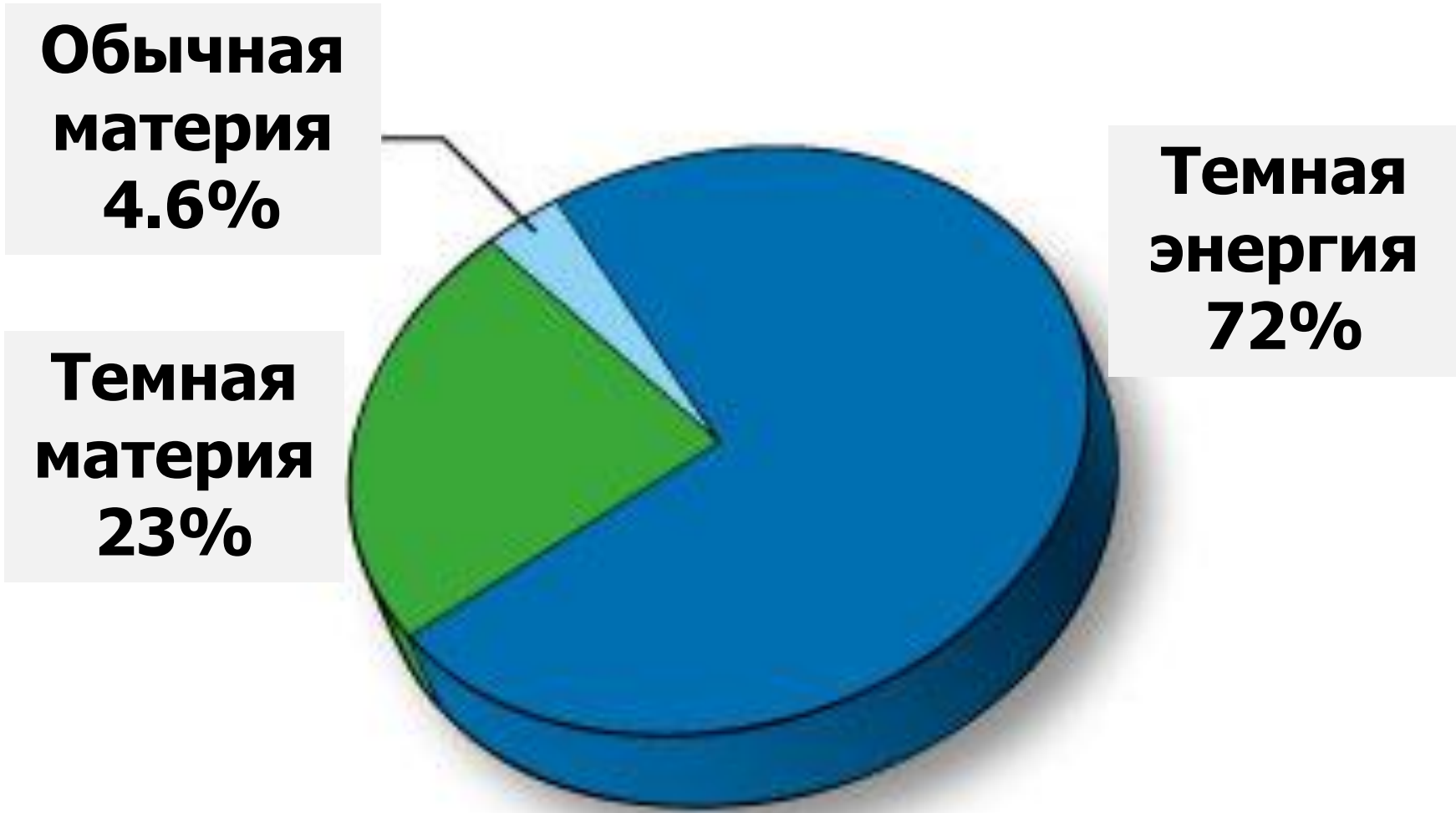
Оптика



Рентген









# Как узнать о существовании «другой» материи?

- кривые вращения галактик
- гравитационные линзы
- наблюдение за изменением скорости разбегания далеких сверхновых

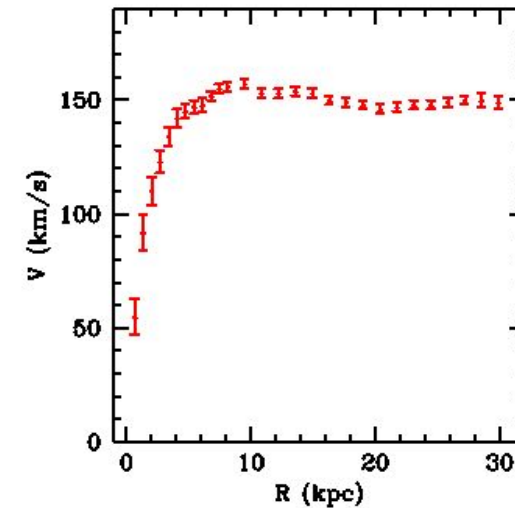
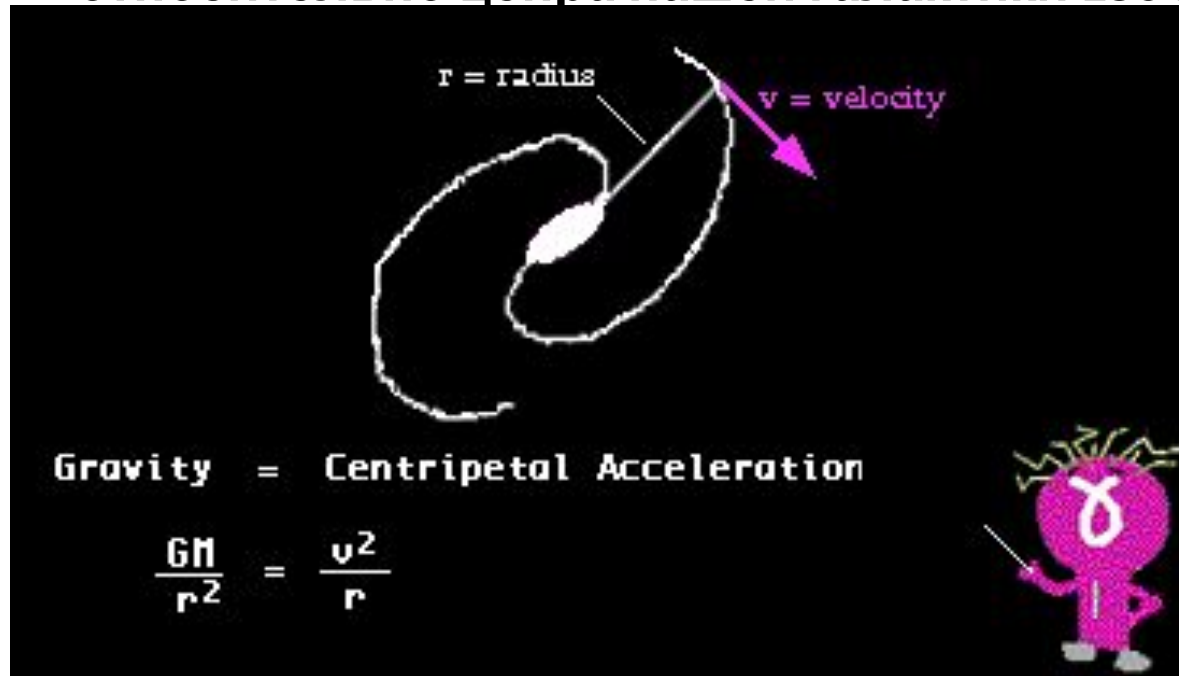




# кривые вращения галактик



(для справки: скорость вращения Солнечной системы относительно центра нашей галактики 250 км/с)

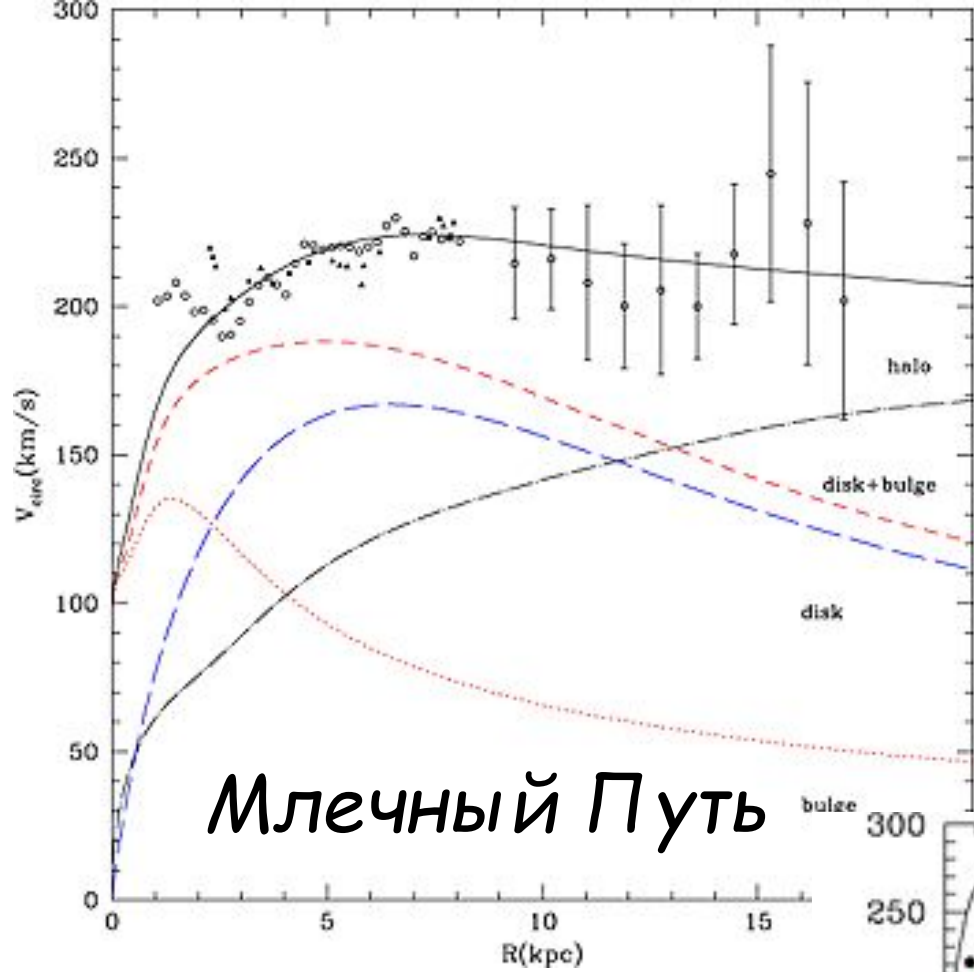


скорость должна убывать при удалении

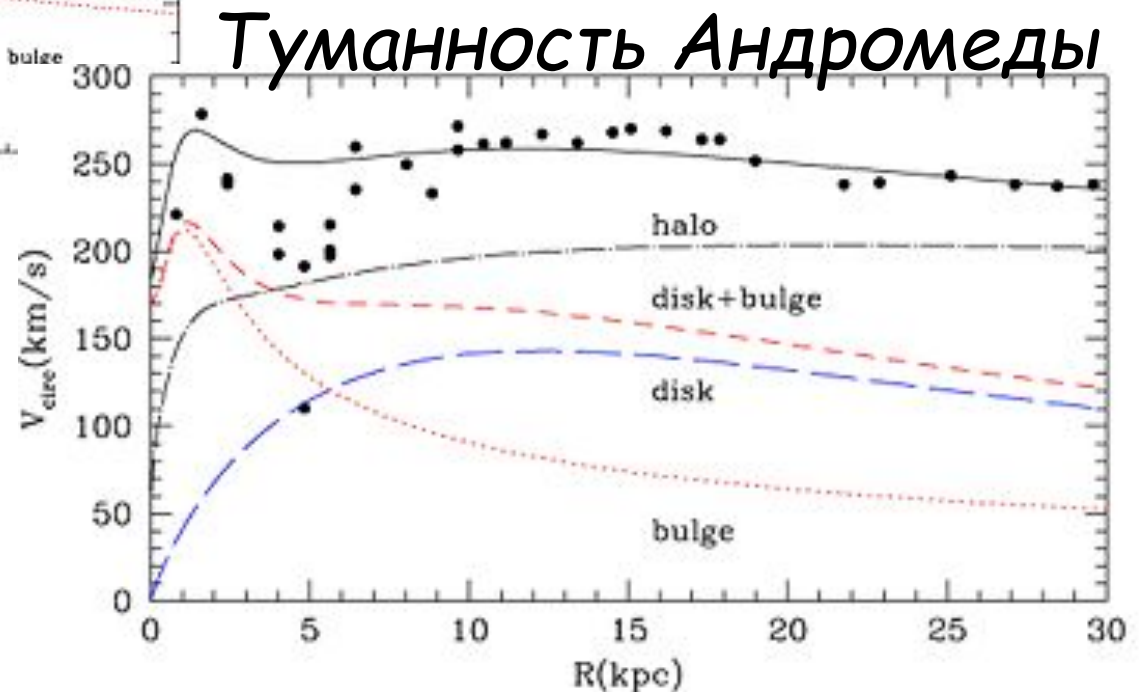
наблюдения дают другую



# Свидетельства о темной материи из кривых вращения галактик

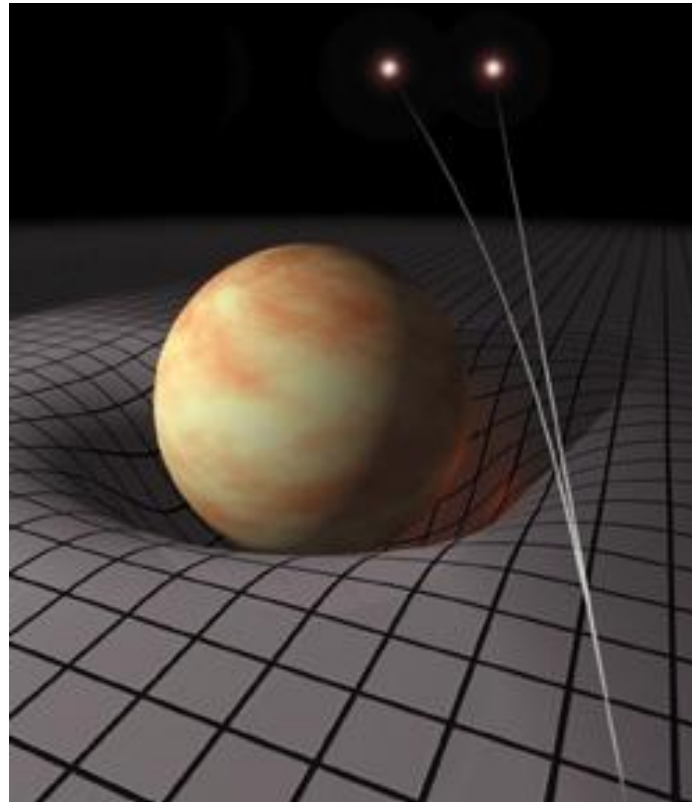


Млечный Путь



Туманность Андромеды

# Гравитационные линзы

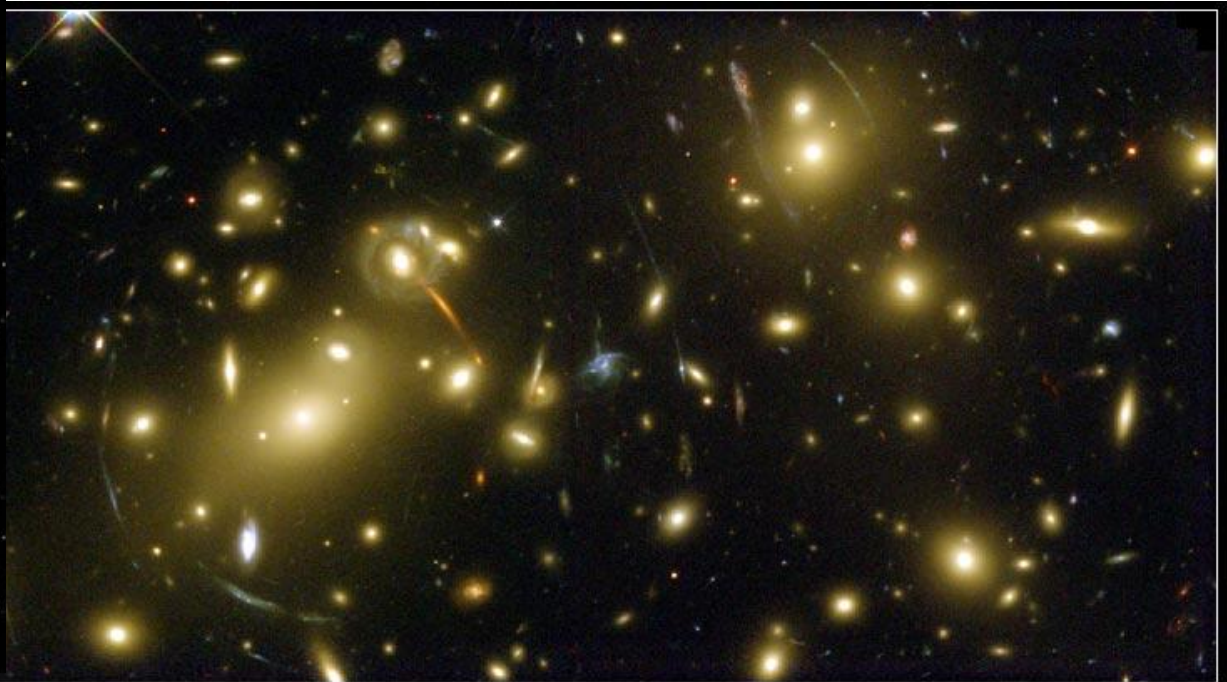
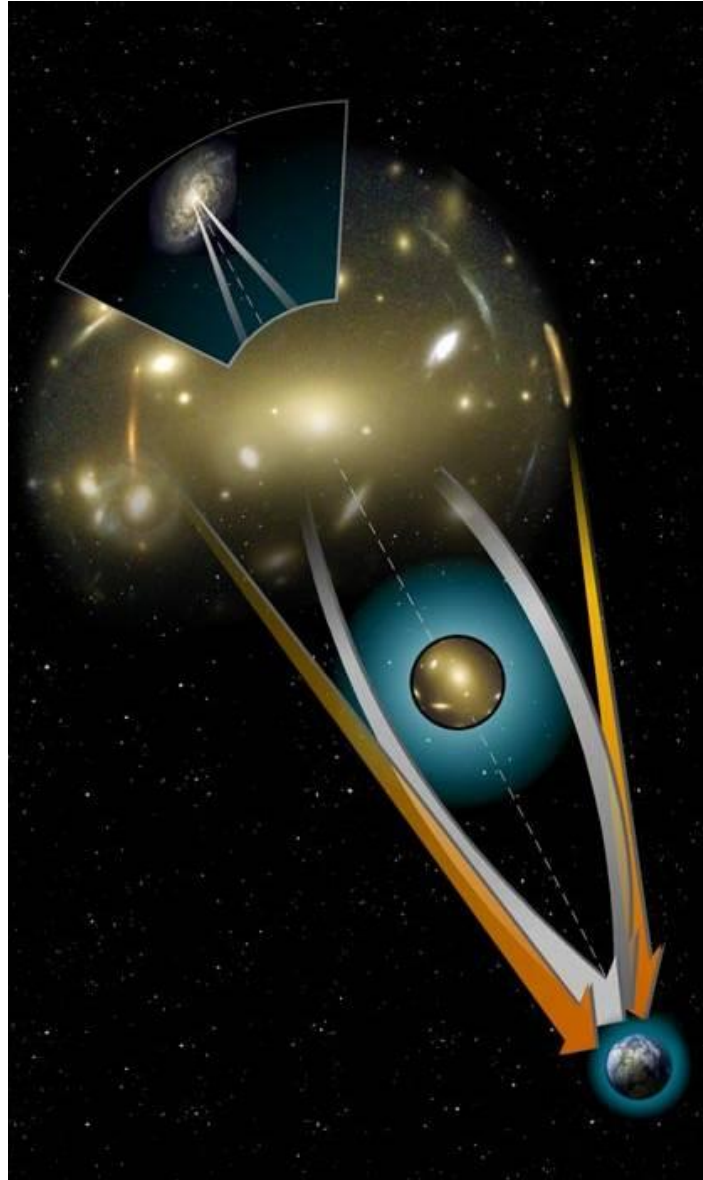


гравитационное поле искажает траектории лучей света



# Линза – скопление галактик A2218

Основная масса – темная материя



**Galaxy Cluster Abell 2218**

**HST • WFPC2**

NASA, A. Fruchter and the ERO Team (STScI) • STScI-PRC00-08



# Эффекты гравитационных линз





25% вещества Вселенной сконцентрировано в галактиках и галактических кластерах в форме невидимой материи

Эту форму вещества называли

**«темной материей»**

**Что это может быть?**

**Массивные компактные объекты (черные дыры, карлики?)**

**Новые стабильные нейтральные частицы, слабо взаимодействующие с кварками, лептонами, фотонами...?**

**Новая физика на ускорителях нового поколения?**



# Темная энергия

равномерно «разлита» по всей Вселенной  
дает 70% плотности вещества

**Космологическая постоянная (отрицательное давление)?**

**Квинтэссенция (новое поле или пятая сущность)?**

**Указание на то, что теория Эйнштейна на больших**

**масштабах должна быть модифицирована?**



# Энергия вакуума (уравнение состояния $w=-1$ )



$$E_{vac} = \frac{1}{2} \sum_{bosons} \hbar \omega_{bosons} - \frac{1}{2} \sum_{fermions} \hbar \omega_{fermions}$$

$\omega$  частоты «нулевых»  
колебаний

$\frac{E_{vac}}{V} \propto \Lambda^4$  - Лидирующий  
вклад

$\Lambda$  - параметр «ультрафиолетового обреза» -  
должен  
быть связан с каким-то физическим масштабом

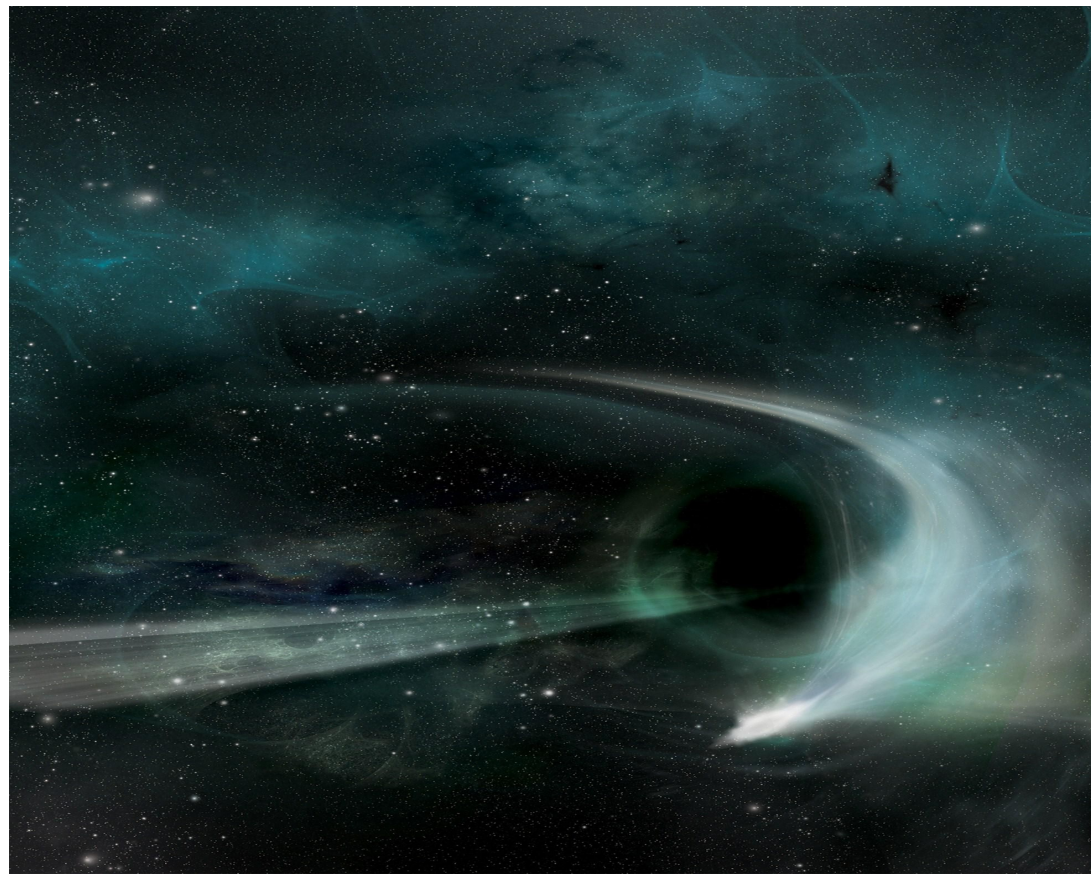


# Что такое черная дыра?



Под черной дырой понимается область пространства-времени, для которой вторая космическая скорость равна скорости света  $c = 300\,000$  км/с

**В 1783 году существование черных дыр предсказал английский астроном-любитель, священник и геолог Джон Митчел**

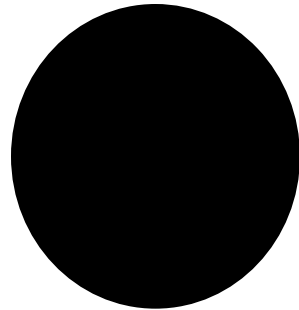




# Что такое черная дыра?

## Для физика

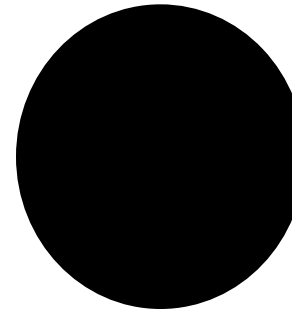
Обладает определенными внутренними свойствами



Объект, обладающий горизонтом.

## Для астронома

Обладает определенными внешними проявлениями

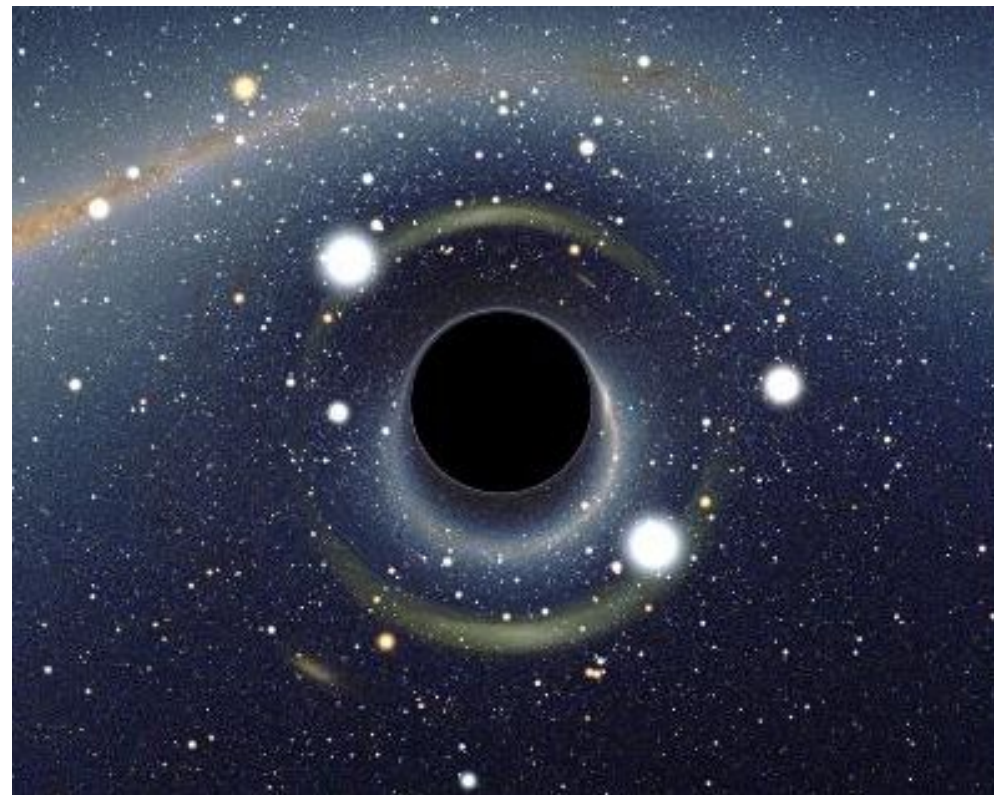


Компактное (размер горизонта) массивное тело, не проявляющее признаков наличия поверхности, и чьи недра недоступны для наблюдений.

# Черные дыры в двойных системах



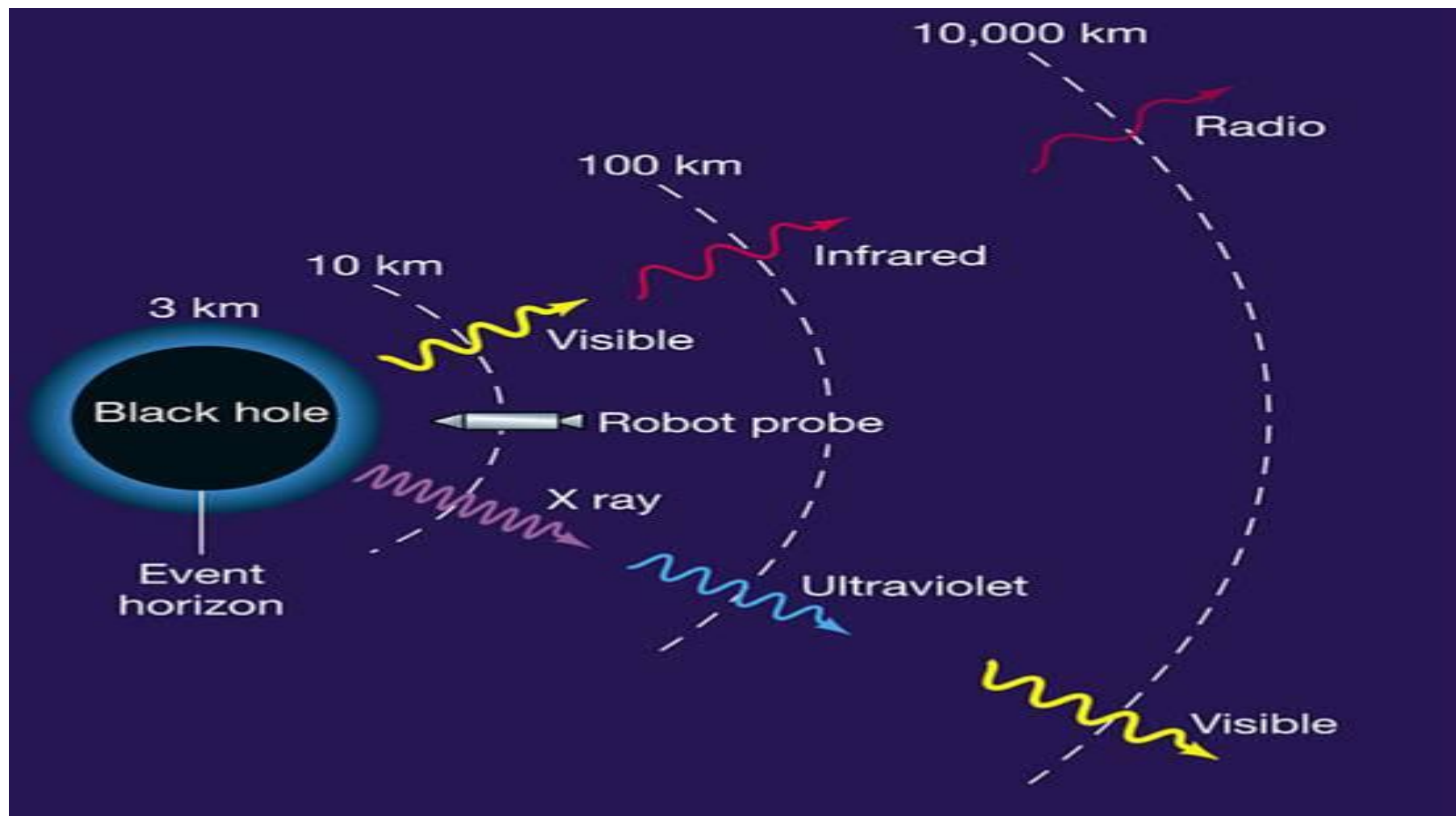
Система Лебедь X-1 была выделена как кандидат в двойную с черной дырой в начале 70-х гг.



«Черная дыра в источнике Лебедь X-1 – это самая консервативная гипотеза»  
(Э. Салпитер)



# Гравитационное красное смещение вблизи черной дыры





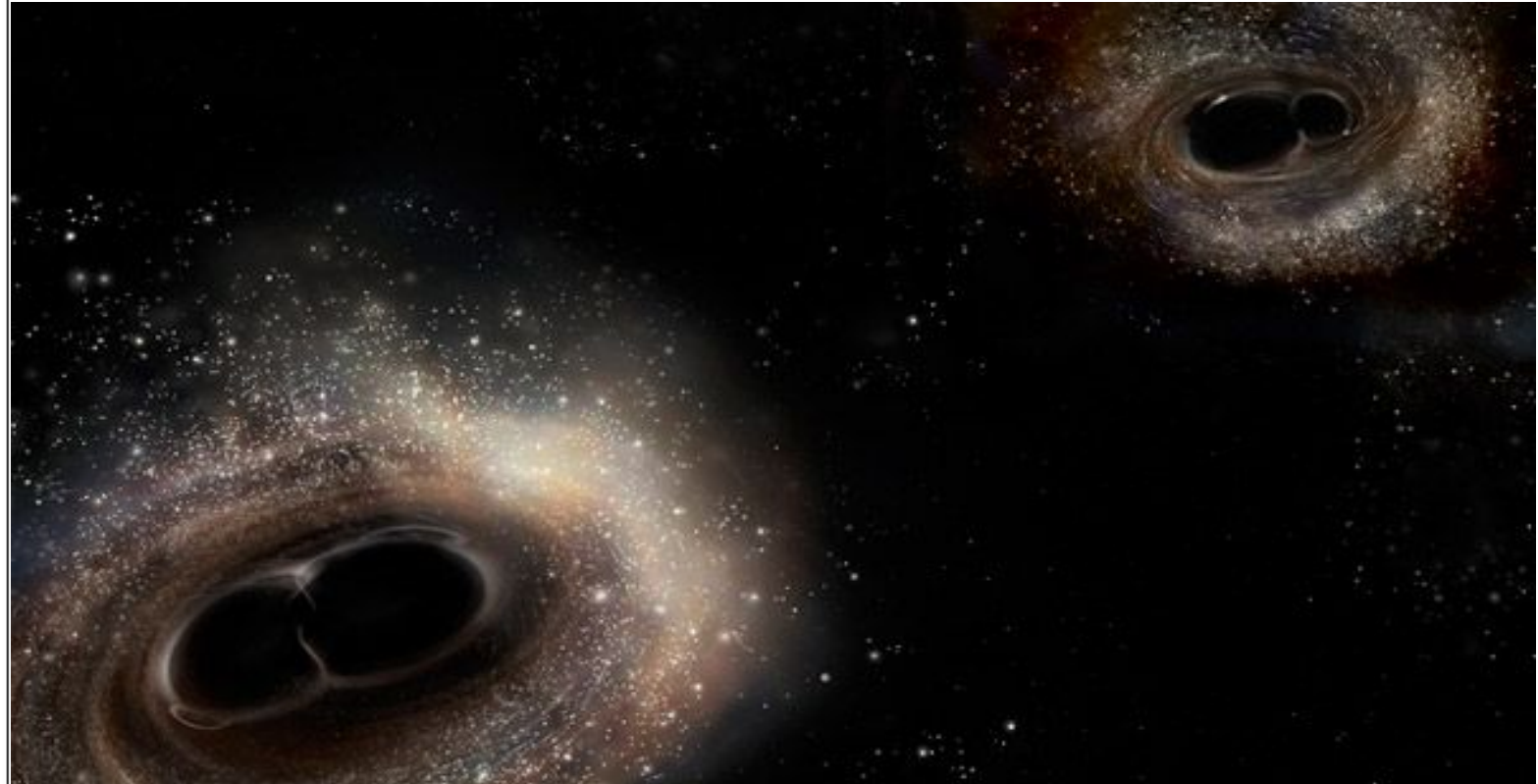
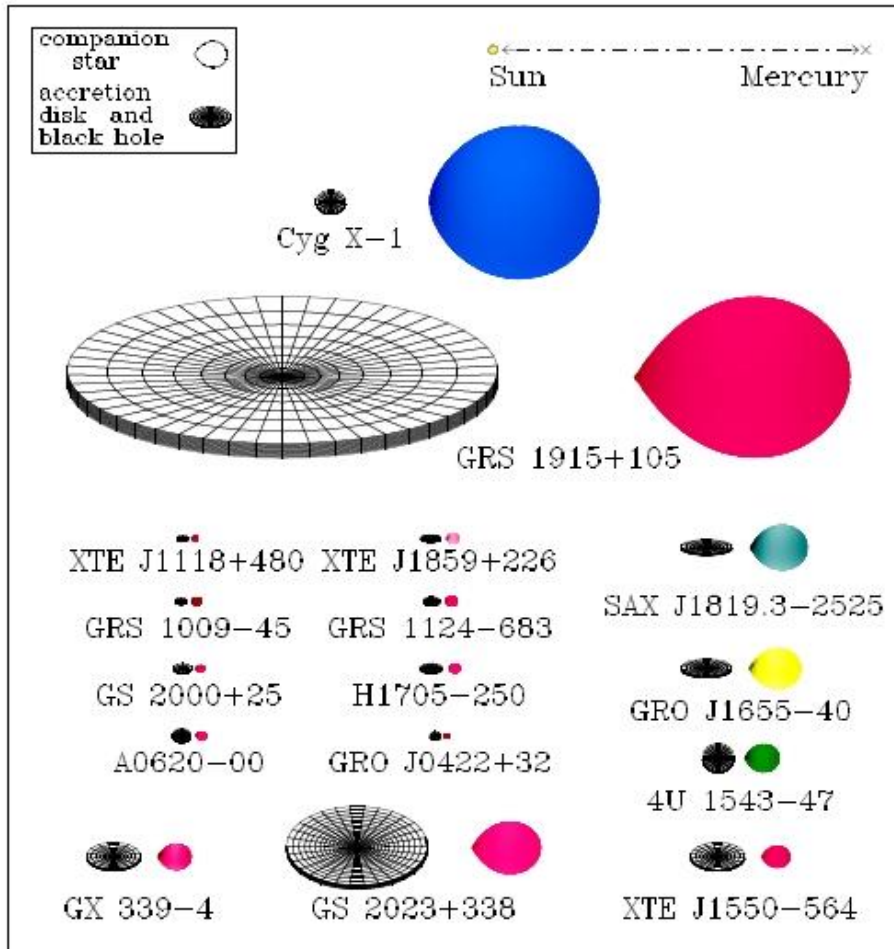


# Кандидаты в черные дыры

Почему считаем их кандидатами?

- нет пульсаций
- особенности излучения
- **ТЯЖЕЛЫЕ!**

Black Hole Binaries in the Milky Way





## Карл Шварцшильд (1873-1916)

$$ds^2 = -B(r)dt^2 + \frac{dr^2}{B(r)} + r^2(\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2) \quad (1916 \text{ г.})$$

- гравитационный радиус

$$B(r) = 1 - \frac{r_g}{r}, \quad r_g = 2MG$$

⊠ 1cm Земля

⊠ 1km Солнце





## Рой Керр (р. 1934)

В 1963 г. Керр открыл решение уравнений Эйнштейна, описывающее вращающуюся черную дыру (именно такие черные дыры наблюдаются)

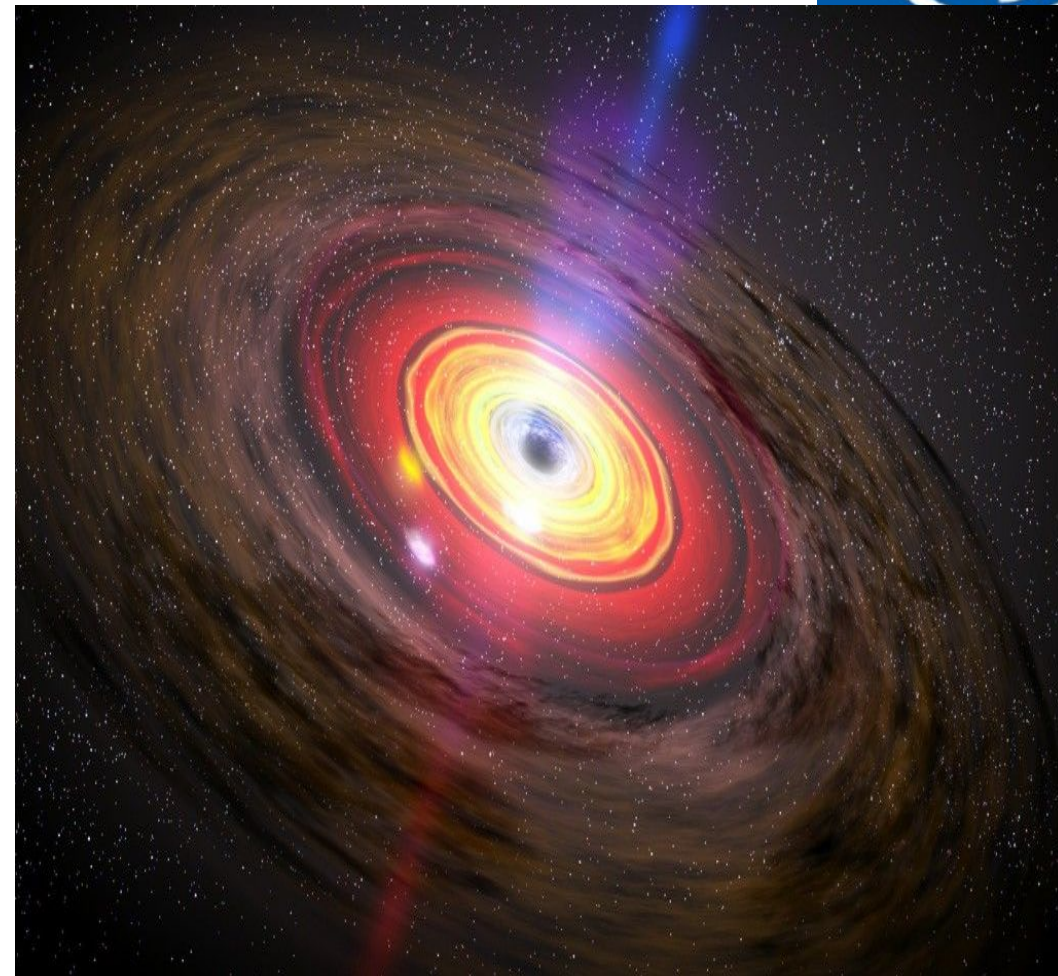






## Джон А. Уиллер (1911-2008)

Термин «черная дыра» был придуман в 1968 г. Дж. Уиллером до этого использовались другие обозначения, например, «frozen stars» или «black stars», как в первых сериях «Star Trek»





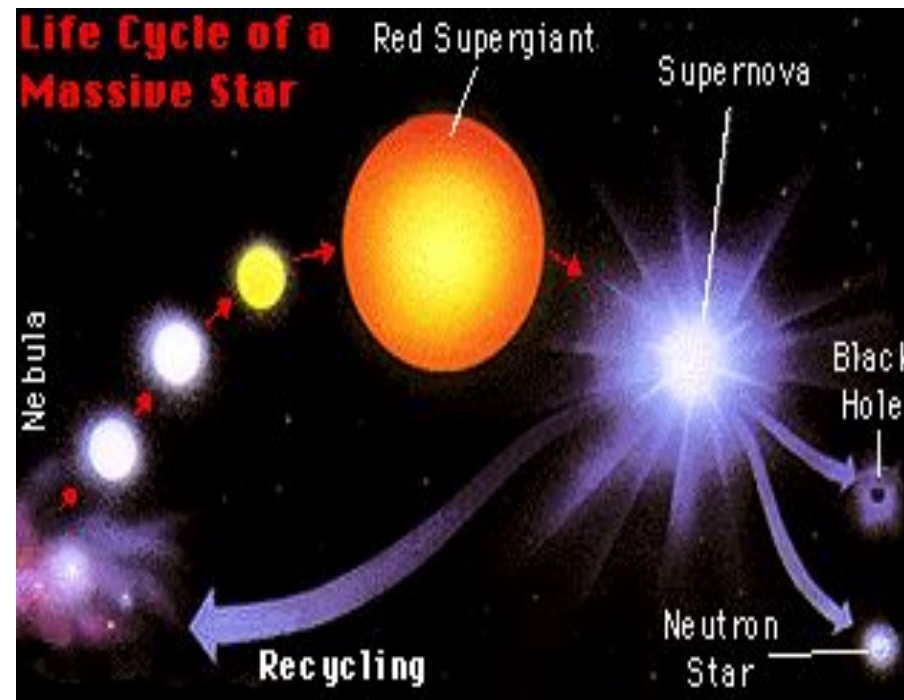
# Образование черных дыр



**Р. Оппенгеймер  
(1904 - 1967)**



**Г. Волкофф  
(1914 - 2000)**



## Г. Снайдер

**«...Когда все термоядерные источники энергии исчерпаны, достаточно массивная звезда сколлапсирует.» (1939)**

**объект с массой больше чем 3 массы Солнца может быть только черной дырой**

белые карлики – конечная стадия эволюции таких звезд как Солнце (имеют размер около тысячи км); нейтронные звезды образуются, если масса превышает чандрасекаровский предел (1,4 массы Солнца, размер около 10 км)

# Гравитационный радиус



Поле тяготения вокруг сферического невращающегося тела получило название поля Шварцшильда.

Если вторая космическая скорость окажется равна скорости света - , это соответствует гравитационному радиусу:

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

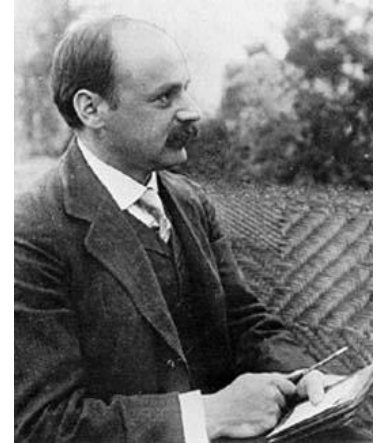
Сфера с радиусом, равным гравитационному, получила название сферы Шварцшильда. На ее поверхности сил тяготения оказалась бы бесконечной.

Сферическое тело, радиус которого равен гравитационному радиусу и меньше, не может находиться в покое, должно сжиматься к центру.

Как только радиус небесного тела становится равным его гравитационному радиусу, свет не сможет уйти с поверхности этого тела к далекому наблюдателю, то есть оно станет невидимым (черная дыра).

Наращение гравитационной силы с приближением тела к сфере Шварцшильда: к катастрофическому, неудержимому его сжатию, т.е. релятивистскому коллапсу.

Р. Оппенгеймер и Г. Волков предсказали возможность возникновения черных дыр. Название «черная дыра» в конце 60-х годов придумал его Д. Уилер.



**К.Шварцшильд**



## Сфера Шварцшильда

В области излучения у границы черной дыры (на сфере Шварцшильда) время как бы замирает для далекого наблюдателя. Этот наблюдатель, следя, например, за камнем, падающим к черной дыре, видит, как у самой сферы Шварцшильда он постепенно «тормозится» и приблизится к границе черной дыры лишь за бесконечно долгое время.

Нельзя обнаружить поверхность застывшей у гравитационного радиуса звезды и радиолокационным методом. Радиосигналы будут бесконечно долго двигаться к гравитационному радиусу и никогда не вернуться к пославшему их наблюдателю. Звезда для внешнего наблюдателя полностью «исчезает», и остается только ее гравитационное поле. Внешний наблюдатель никогда не увидит то, что произойдет со звездой после ее сжатия до размеров меньше гравитационного радиуса.

С точки зрения СТО один и тот же процесс с точки зрения разных наблюдателей имеет различную длительность, по ОТО - бесконечное время одного наблюдателя на неподвижной ракете равно конечному очень малому промежутку времени другого (на падающей ракете)



# Основные типы черных дыр: два реальных и два гипотетических

## Звездные массы

в ранней вселенной из-за неоднородностей плотности вещества могли образовываться первичные черные дыры с малой массой

## Первичные

## Сверхмассивные

в миллион и даже в миллиард раз массивнее Солнца

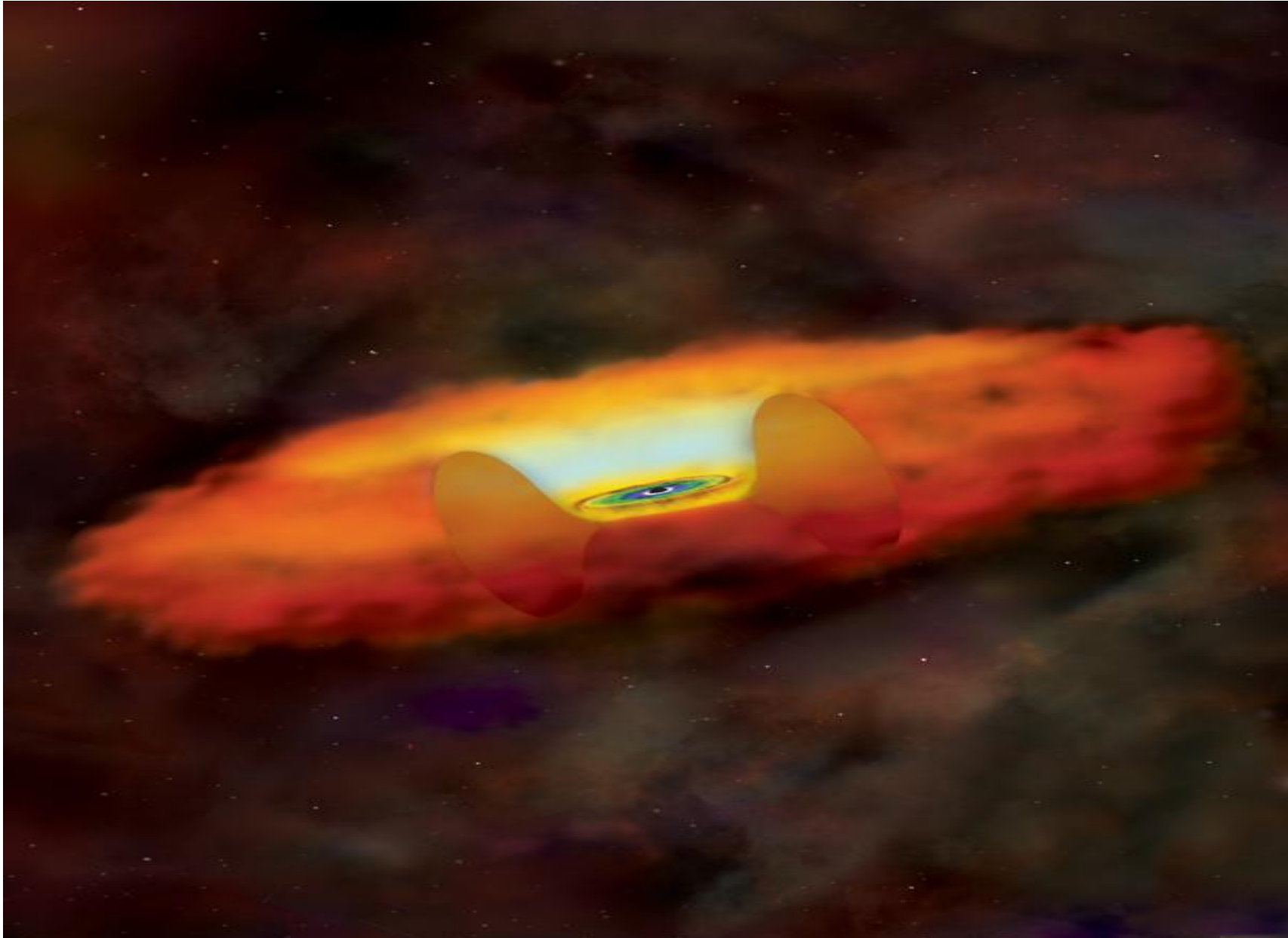
## Промежуточные

возможно, существуют черные дыры промежуточной массы





**О наличии черной дыры можно судить по поведению вещества вокруг нее**



# Фиксация черных дыр



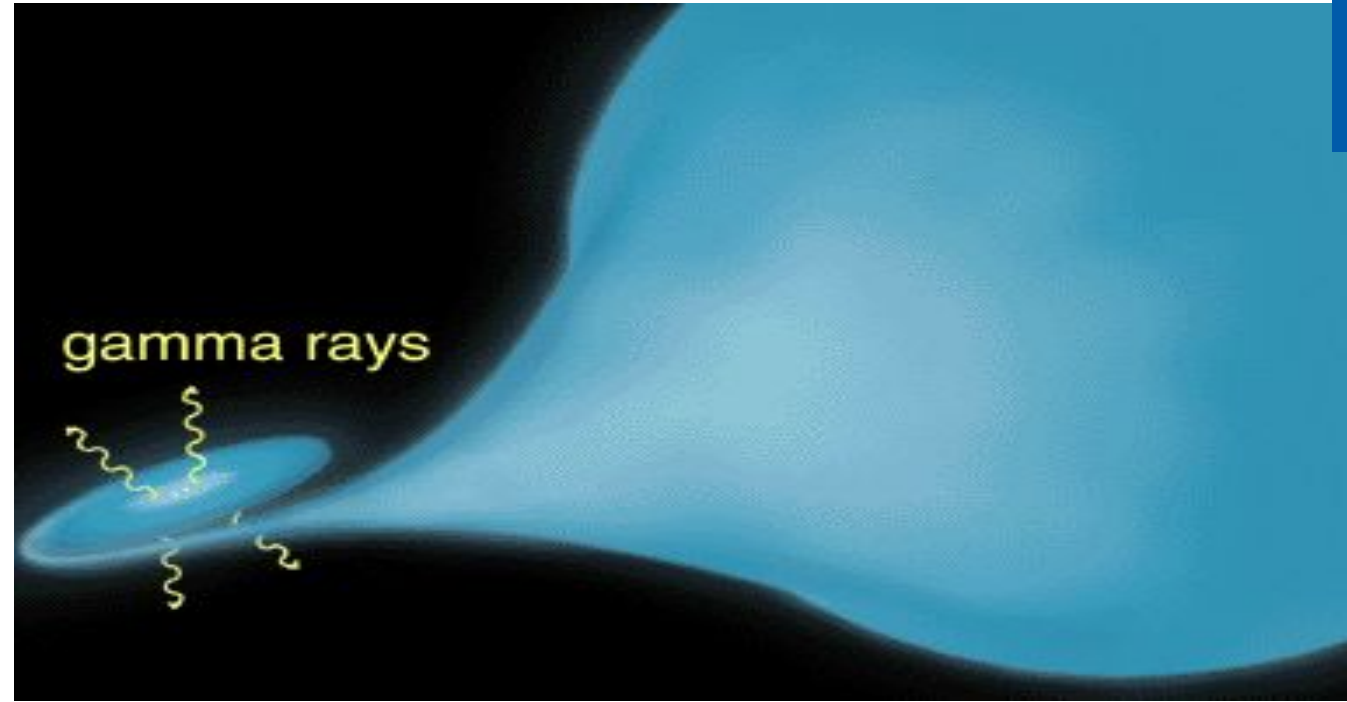
“Струя”, выходящая из центра галактики M87 и состоящая из электронов и других элементарных частиц, движущихся со скоростью близкой к скорости света, как считается, образуется за счет сверхмассивной черной дыры с массой порядка  $10^9$  массы Солнца



# Фиксация черных дыр



Черные дыры –  
мощные  
источники  
рентгеновского  
излучения



Вещество, падающее на ч.д., разогревается за счет  
внутреннего  
трения до температуры  $10^7$  и выше  
Типичная светимость -  $10^9$  -  $10^{10}$  солнечной (для ч.д.  
звездной  $10^{14}$   
массы) и до  $10^{40}$  для сверхмассивных ч.д.

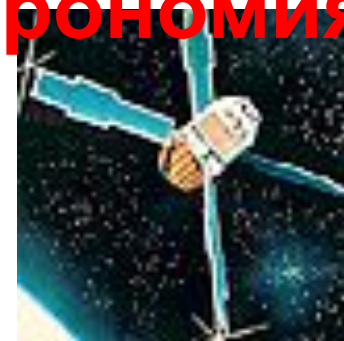
# Фиксация черных дыр



Р. Джаккони (Riccardo Giacconi)  
– один из лауреатов  
Нобелевской премии за 2002 г.  
«за  
пионерский вклад в  
астрофизику,  
который привел к открытию  
космических источников  
рентгеновского излучения»

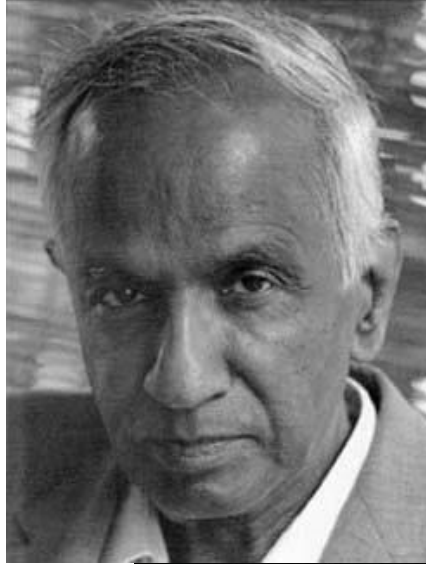
**Рентгеновская  
астрономия**

Первый рентгеновский  
телескоп  
SAS-1(Uhuru) был запущен в 1970  
г.  
и именно он нашел первое





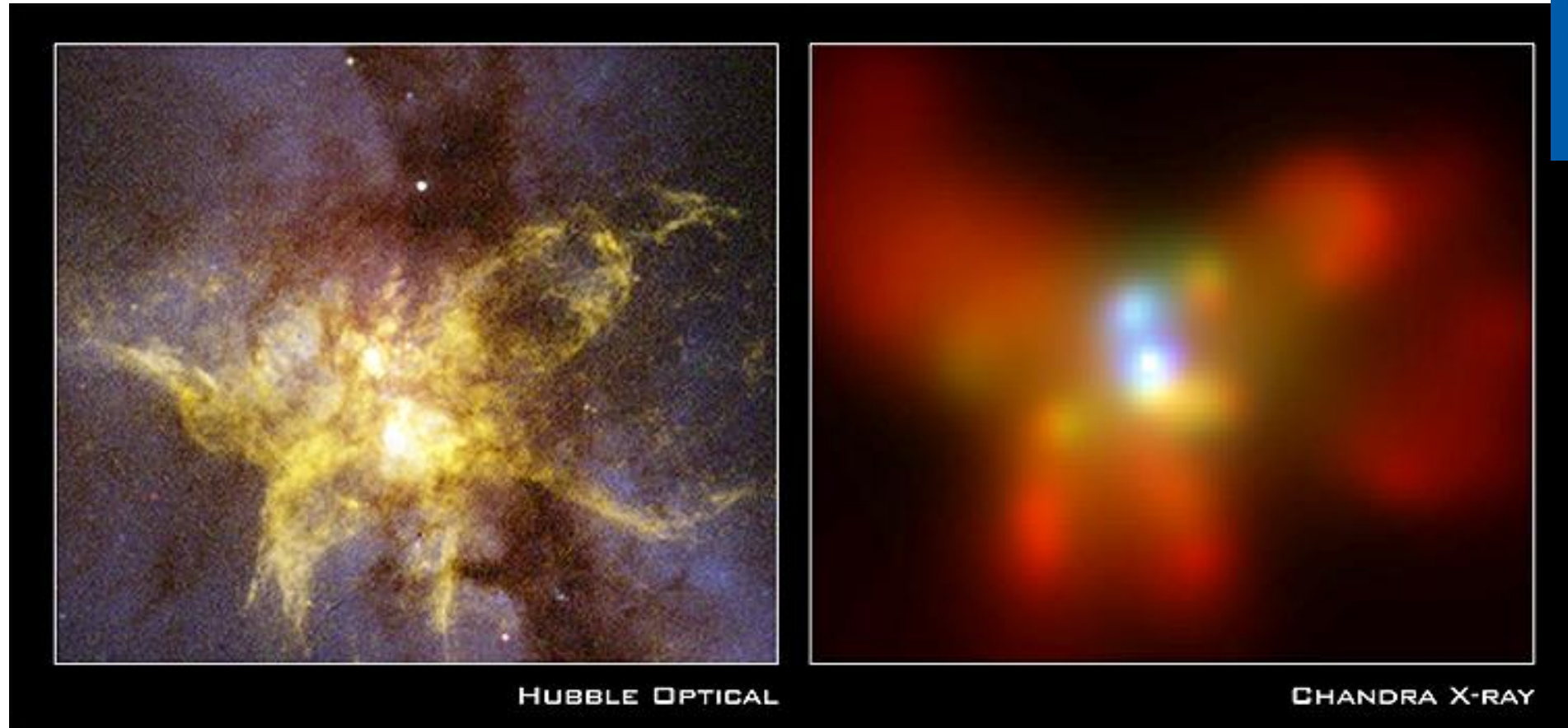
# Фиксация черных дыр



## Рентгеновский телескоп

Выведен на орбиту командой Space Shuttle  
Columbia 23 июля, 1999 г.  
(назван в честь С. Чандрасекара (1910-1995))

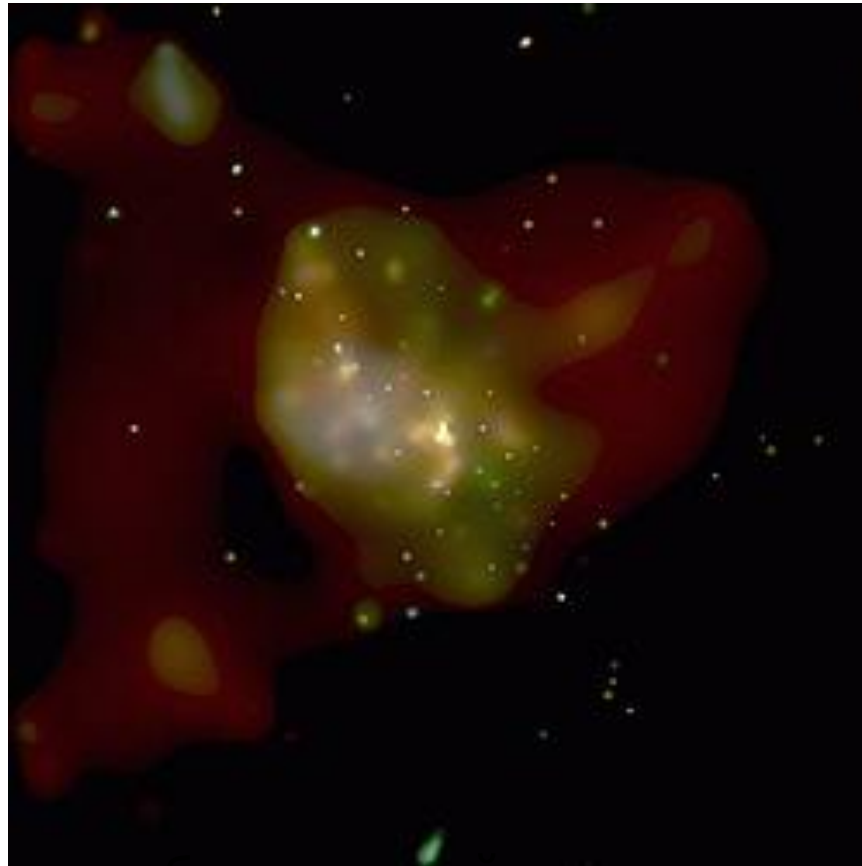
# Фиксация черных дыр



Сверхмассивная черная дыра в центре галактики NGC 6240



# Фиксация черных дыр



Центральная область нашей галактики.  
Яркая точка отвечает сверхмассивной черной дыре  
в центре Млечного пути (с массой около  $2 \cdot 10^6$  масс  
Солнца).



# Движение в поле тяготения черной дыры

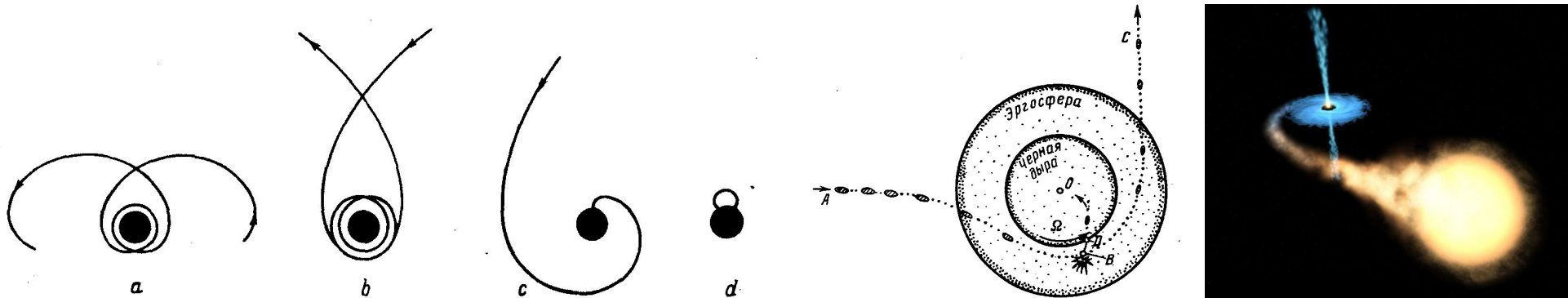


Если прилетающее тело движется на большом расстоянии от черной дыры (на расстоянии десятков гравитационных радиусов и больше), то справедливы законы механики Ньютона и оно движется почти точно по параболе или гиперболе.

Если тело вдали от черной дыры имеет скорость много меньше световой и его орбита подходит близко к окружности с радиусом, равным двум гравитационным радиусам, то оно обернется вокруг черной дыры несколько раз и улетит.

Если вращающееся тело подойдет вплотную к указанной окружности двух гравитационных радиусов, то его орбита будет на эту окружность навиваться; тело окажется гравитационно захваченным черной дырой и никогда снова не улетит в космос (рисунок 3). Если тело подойдет еще ближе к черной дыре, оно упадет в черную дыру и также окажется гравитационно захваченным.

**Процесс Пенроуза:** когда черная дыра вращается или является заряженной, часть энергии, возникшей при превращении падающей в черную дыру массы в энергию, образует аккреционный диск, часть - вырывается наружу.





# Эволюция черных дыр

## **Излучение С.Хокинга:**

Внутри черной дыры наблюдается и спонтанное рождение частиц из вакуума в гравитационном поле. Благодаря туннелированию у частиц появляется возможность преодолевать потенциальные барьеры.

Это ведет к уменьшению массы черной дыры, она постепенно превращается в фотоны, нейтрино, гравитоны. Процесс этот чрезвычайно медленный - черная дыра с массой в 10 масс Солнца испарится за  $10^{69}$  лет, а сверхмассивная черная дыра, масса которой 10 миллиардов масс Солнца - за  $10^{96}$  лет.

Такие процессы происходят и вблизи (но всё же снаружи) горизонта событий чёрной дыры. При этом возможно, что одна из частиц падает внутрь чёрной дыры, а другая улетает и доступна для наблюдения.

Из закона сохранения энергии следует, что такая «упавшая» за горизонт событий частица из рождённой виртуальной пары должна обладать отрицательной энергией, так как «улетевшая» частицы, доступная для удалённого наблюдателя, обладает положительной энергией.



С.Хокинг



# черные дыры и квантовая теория



$$T_H = \frac{\hbar \kappa}{2\pi c} \text{ - температура Хокинга}$$

$\kappa$  - поверхностная гравитация  
горизонта  
 $\kappa \propto M^{-1}$

$$T_H \propto 10^{-6} \frac{M_\odot}{M} K$$

Steven Hawking (1942 -2018)

черные дыры испаряются за счет квантовых эффектов, излучая частицы с планковским спектром, отвечающим температуре  $T_H$

# Термодинамика черных дыр



$$\delta M = T_H \delta S^{BH} + \Omega_H \delta J + \Phi_H \delta Q$$

$M$  - масса черной дыры

$$T_H = \frac{\hbar c}{2\pi c} \quad \text{- температура Хокинга}$$

$$S^{BH} = \frac{c^3}{4G\hbar} A \quad \text{- энтропия Бекенштейна-Хокинга}$$

$A$  - площадь поверхности горизонта

$J$  - угловой момент

$Q$  - электрический заряд

$$t = \frac{5120\pi G^2 M^3}{\hbar c^4}$$

Время жизни черной дыры

*1000 т испаряется за 84 секунды*

# Предельный объем памяти



Термодинамика дает верхний предел объема памяти в системе с энергией  $E$

$$I = \frac{E}{k_b T \ln 2} + \log_2 \left( \sum_i e^{-E_i/k_B T} \right)$$

Для системы частиц с общей энергией  $E$  в объеме  $V$  число мод

$$I = \frac{4}{3 \ln 2} \left( \frac{\pi^2 r V}{30 \hbar^3 c^3} \right)^{1/4} E^{3/4}$$

$r$  – число частиц и их состояний

На 1 кг фотонов (энергией  $10^{16}$  Дж) в объеме 1 литр  $I = 2.13 \cdot 10^{31}$  бит.

Поскольку объем и энергия ограничены, соответственно ограничено фазовое пространство системы. Из-за неопределенности кванта, фазовое пространство не может быть разделено на произвольно маленькие части (если частицы слишком малы, они не могут закодировать информацию).

Bekenstein, J. D. Energy cost of information transfer. *Phys. Rev. Lett.* **46**, 623–626 (1981).

Bekenstein, J. D. Universal upper bound on the entropy-to-energy ration for bounded systems. *Phys.Rev. D* **23**, 287–298 (1981).



# Какова информационная емкость Вселенной?

Масса Вселенной

$$\begin{aligned}M_{Bc} &= \frac{4gr_{\oplus}e^2c}{10Gm_e^2} = \frac{2gr_{\oplus}c}{5} \frac{e^2}{Gm_e^2} = \\&= \frac{2 \cdot 9,8065 \cdot 4,4368 \cdot 10^{-3} \cdot 2,997925 \cdot 10^8 \cdot (5,2727 \cdot 10^{17})^2}{5 \cdot 6,67157 \cdot 10^{-11}} = \\&= 2,174 \cdot 10^{52} (\text{кг}) = 1,093 \cdot 10^{22} M_{\odot}. \\2,174 \cdot 10^{52} \cdot 2,13 \cdot 10^{31} &= 4,631 \cdot 10^{83} \text{ бит}\end{aligned}$$



# Ограничения

Для солнечной системы предел Бекенштейна: ( $M = 2 \cdot 10^{30}$  кг,  $R = 7,375 \cdot 10^9$  м)  
 $3,8 \cdot 10^{83}$  бит. Bekenstein, J. Phys Rev D 23 287 (1981).

Если радиус меньше  $2GM/c^2$  формируется черная дыра, тогда информационная плотность

$$\rho \leq \frac{3kc^4}{16\pi G^2} \frac{1}{M}$$

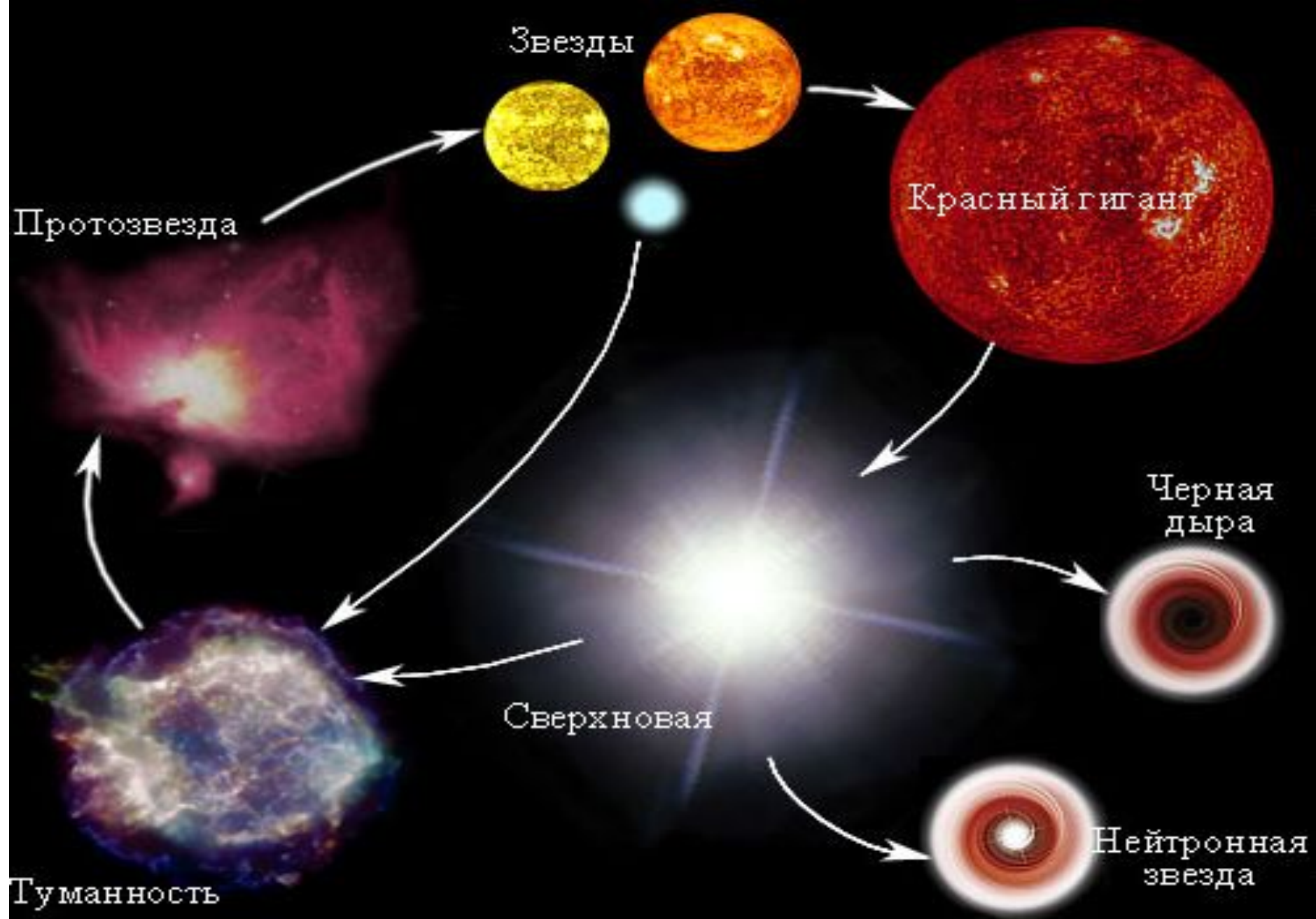
Рождение электрон-позитронных пар при

$$\nu = \frac{2m_e c^2}{h}$$

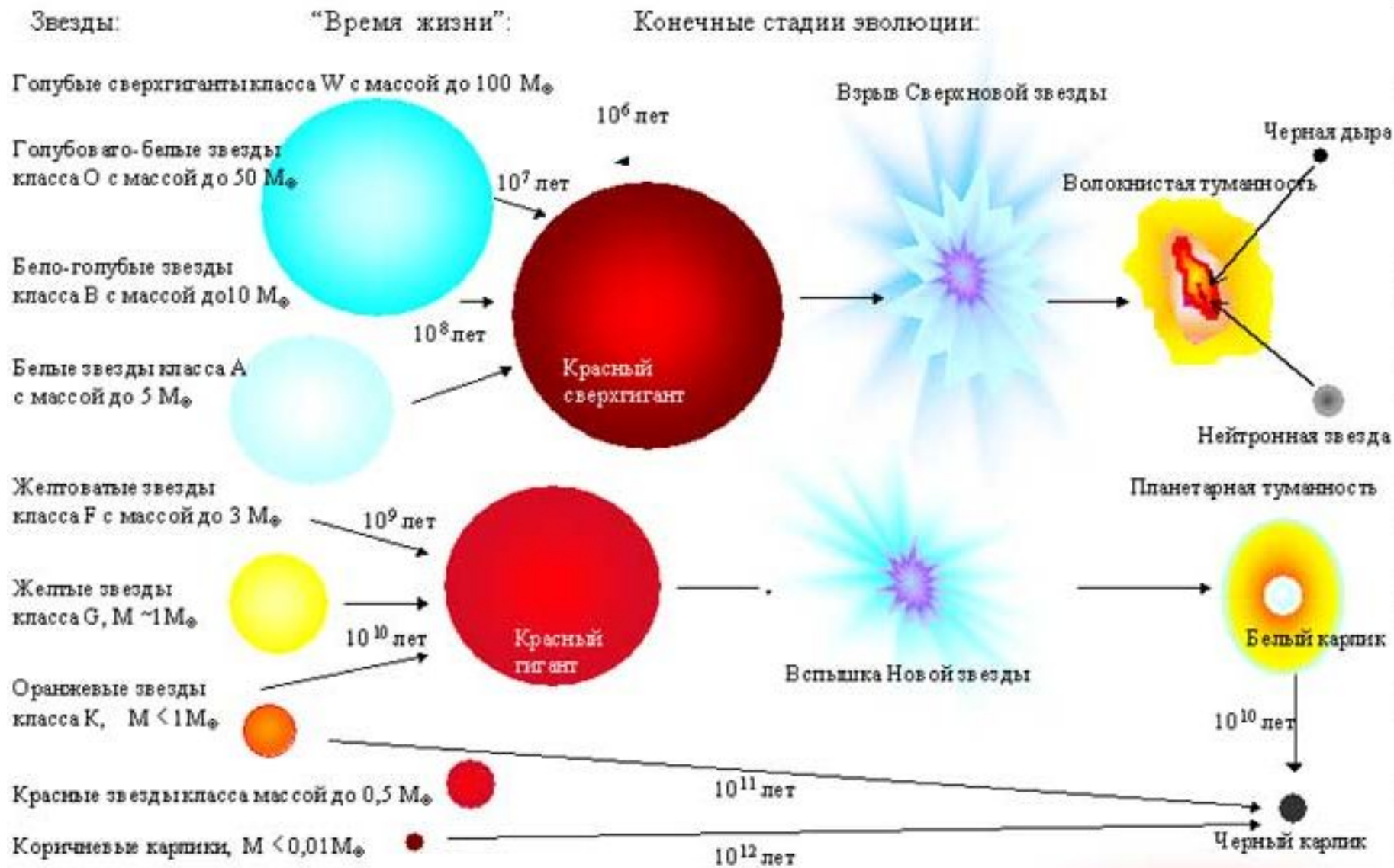
Радиус Шварцшильда

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$





**Модель эволюции звезд**



Эволюция двойных звезд носит сложный характер, определяемый массой звезд и расстоянием между ними.

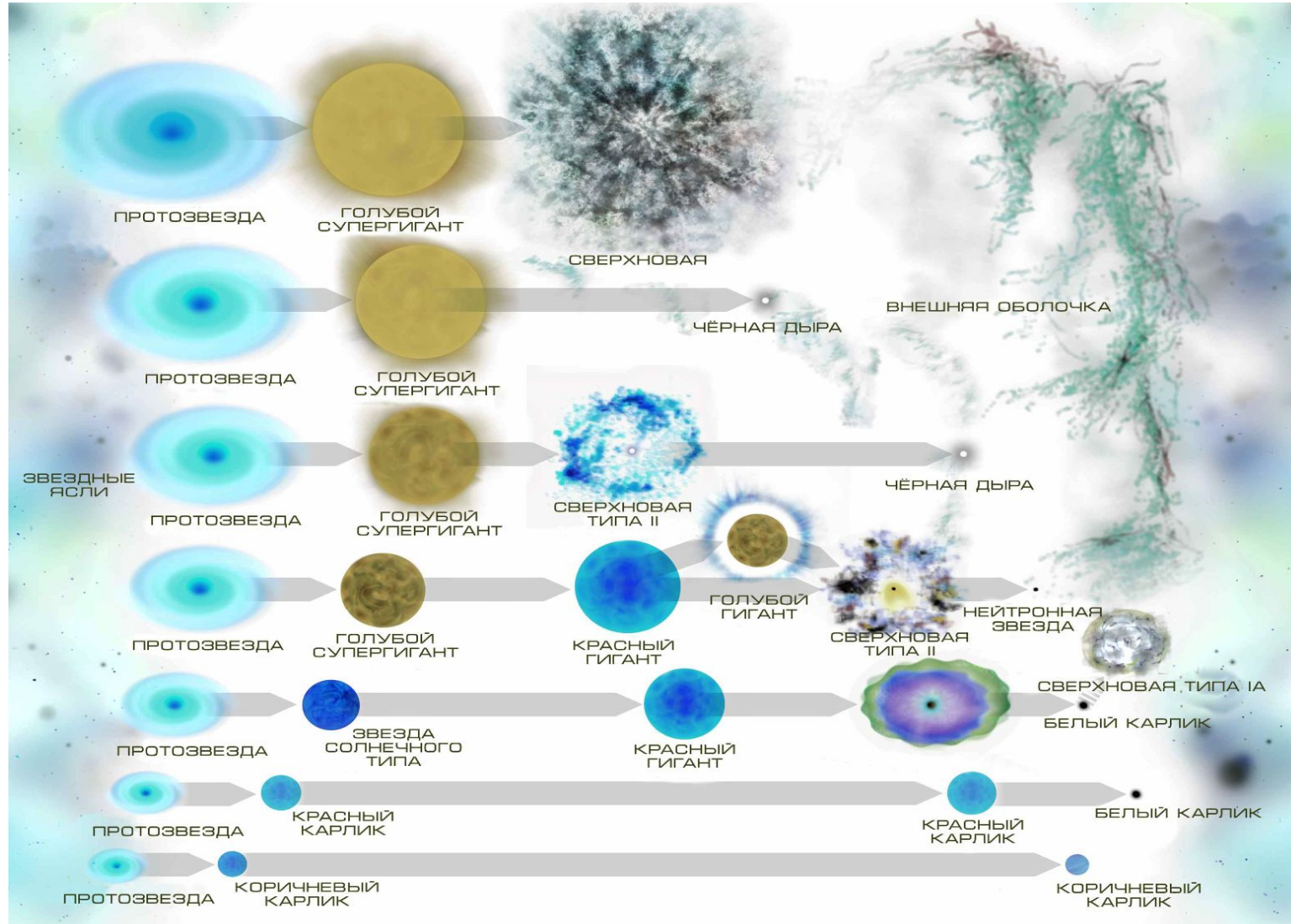
Один из возможных случаев: звезда с большей массой "ворует", притягивает, в вещество соседки, при этом ее масса и температура увеличивается, возрастает интенсивность протекания ядерных реакций и звезда быстрее проходит свой путь развития





# Обязательный минимум содержания

## Звезды



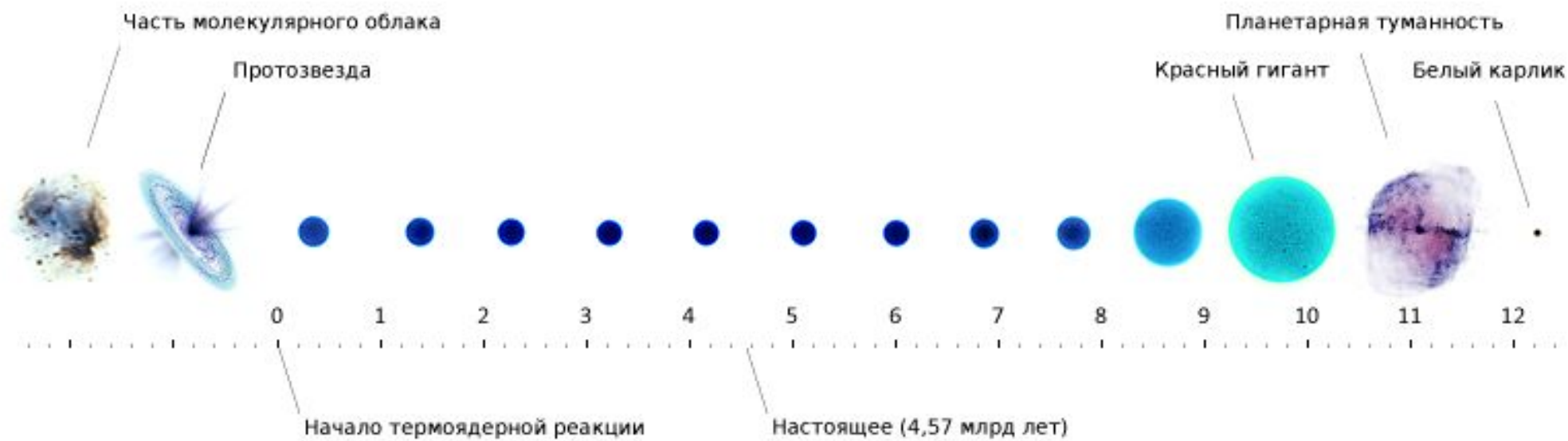


# Обязательный минимум содержания



Остатки сверхновой NGC 6995 - это горячий светящийся газ, образовавшийся после взрыва звезды 20-30 тысяч лет назад. Подобные взрывы 10-14 млрд. лет назад активно обогащали пространство тяжелыми элементами из которых впоследствии образовывались планеты и звезды следующего поколения.

# Обязательный минимум содержания



## Жизненный цикл Солнца

Масштаб и цвета условны. Временная шкала в миллиардах лет (приблизительно)





# В чем проблема?

$\Lambda_{QG} \boxtimes m_{Planck} = 10^{19} Gev$  - масштаб квантовой гравитации

$\Lambda_{SUSY} > 1000 Gev$  - суперсимметрия ?

$\Lambda_{EW} \boxtimes m_Z = 100 Gev$  - электрослабые взаимодействия?

$\Lambda_{DE} = \left( \frac{3H^2}{8\pi G} \right)^{1/4} \boxtimes 10^{-35} m_{Planck} \boxtimes 10^{-18} m_Z$   
- космологический масштаб (шкала темной)



# Проблемы...



- *Проблема флуктуаций плотности*

Возмущения, повлекшие гравитационные уплотнения, приведшие к формированию галактик, должны иметь изначальное происхождение; откуда они взялись?

- *Проблема космологической постоянной*

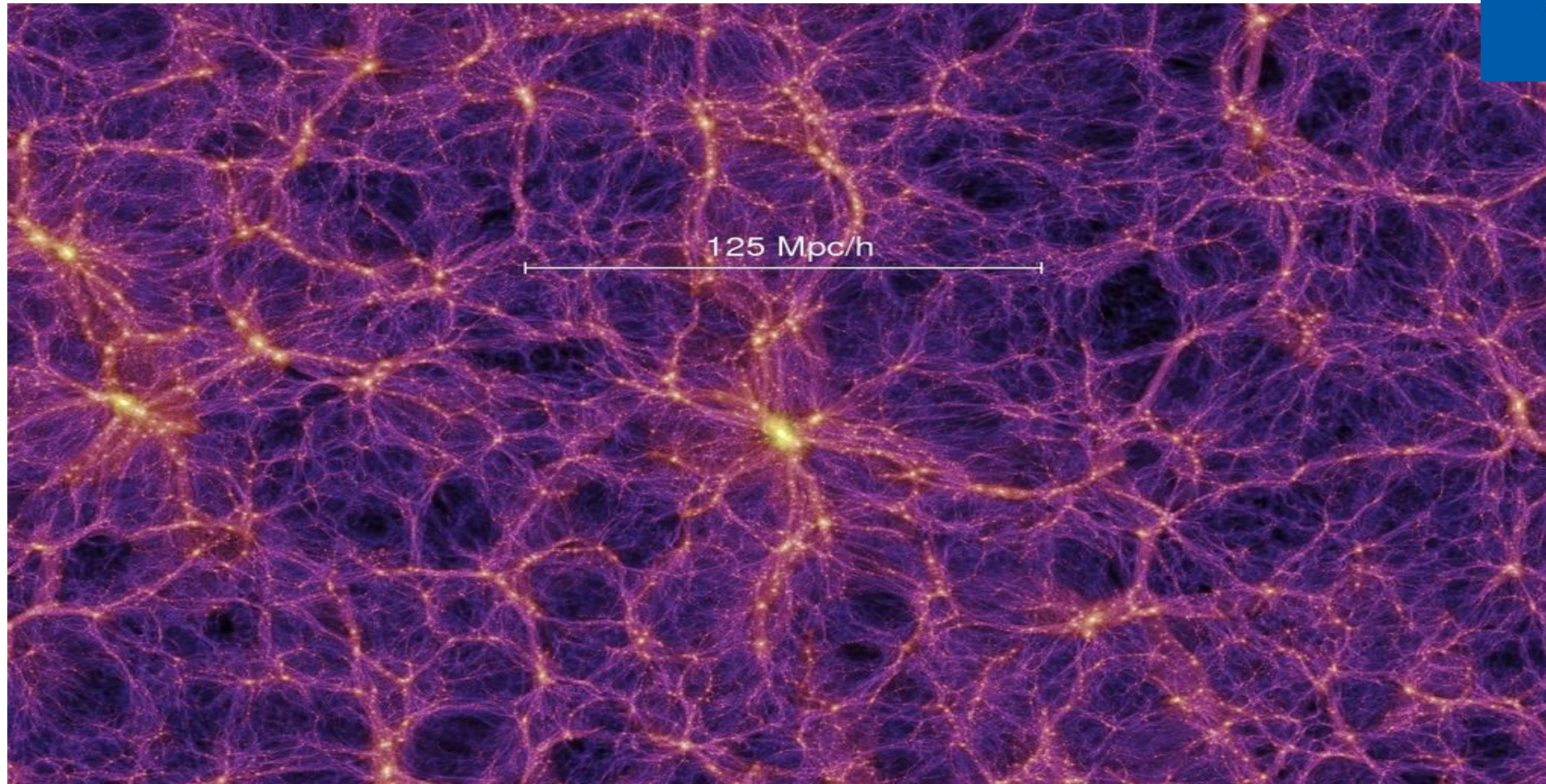
Почему космологическая постоянная на 120 порядков величины меньше, чем ожидается из теории квантовой гравитации?

- *Проблема темной материи*

Из какого вещества состоит в основном Вселенная?  
Расчеты нуклеосинтеза показывают, что темная материя Вселенной не состоит из обычной материи -



# Распределение плотности вещества на больших масштабах (компьютерная модель)





# Пространственно-временная пена

Вселенная рождается из квантовых флуктуаций высокоэнергетического физического вакуума.

Пузырьки физического вакуума то и дело возникают и лопаются, достигнув так называемого планковского размера в  $10^{-33}$  см.

Топологические свойства разных пузырьков могут сильно различаться.

Внутри них могут быть различные свойства пространства-времени.

Например, пространственная размерность может отличаться от трех, а временная — от единицы. Аналогичная несхожесть может проявляться



# Один из пузырьков – наш...





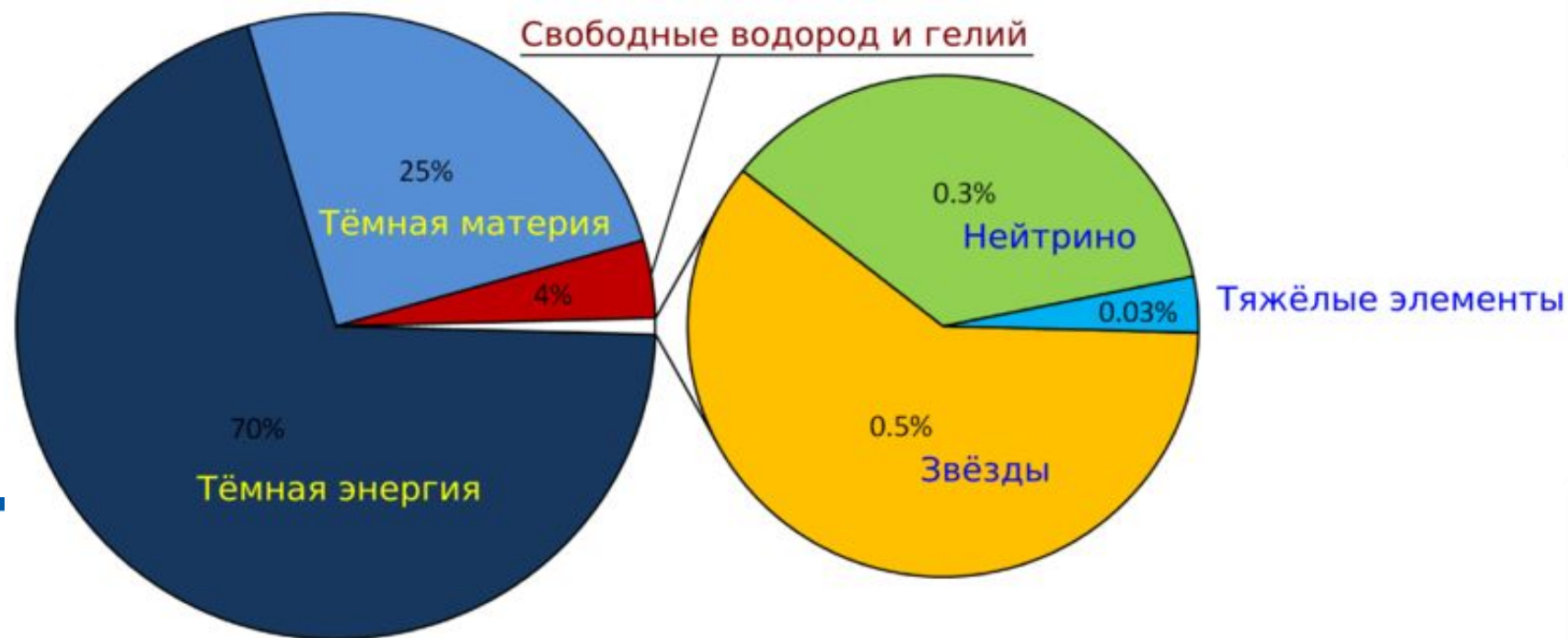
# Современное представление о соотношении вещества и энергии Вселенной



# Модель Лямбда-CDM



- $\Lambda$ CDM — стандартная космологическая модель, в которой пространственно-плоская Вселенная заполнена, помимо обычной барионной материи, тёмной энергией (описываемой космологической постоянной  $\Lambda$  в уравнениях Эйнштейна) и холодной тёмной материей (Cold Dark Matter). Согласно этой модели возраст Вселенной равен  $13,75 \pm 0,11$  млрд лет.



# И что же это такое?

**Тёмная материя** - гипотетическая форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним.

Это свойство данной формы вещества делает невозможным её прямое наблюдение.

Однако возможно обнаружить присутствие тёмной материи по создаваемым ею гравитационным эффектам.

Обнаружение тёмной материи поможет решить проблему скрытой массы, которая, в частности, заключается в аномально быстрой скорости



# Тёмная энергия — феномен, проявляющийся в обнаруженном нарушении закона Хаббла: Вселенная расширяется с ускорением.



Самое простое объяснение заключается в том, что тёмная энергия — это просто «стоимость существования пространства»: то есть, любой объём пространства имеет некую фундаментальную, неотъемлемо присущую ему энергию.

Её ещё иногда называют энергией вакуума, поскольку она является энергетической плотностью чистого вакуума. Это и есть космологическая константа, иногда называемая «лямбда-член» (по имени греческой буквы  $\Lambda$ , используемой для её обозначения в уравнениях общей теории относительности).

Введение космологической константы в стандартную космологическую модель, основанную на метрике Фридмана — Лемэтра — Робертсона — Уокера, привело к появлению современной модели космологии, известной как лямбда-CDM







Альтернативный подход исходит из предположения, что тёмная энергия — это своего рода частицеподобные возбуждения некоего динамического скалярного поля, **КВИНТЭССЕНЦИИ.**

Отличие от космологической константы в том, что плотность квинтэссенции может варьироваться в пространстве и времени. Чтобы квинтэссенция не могла «собираться» и формировать крупномасштабные структуры по примеру обычной материи (звёзды и т. п.), она должна быть очень легкой, то есть иметь большую КОМПТОНОВСКУЮ ДЛИНУ ВОЛНЫ.

Никаких свидетельств существования квинтэссенции пока не обнаружено, но исключить такое существование нельзя.

Гипотеза квинтэссенции предсказывает чуть более





Существование скалярных полей предсказывается стандартной моделью и теорией струн, но при этом возникает проблема, аналогичная варианту с космологической константой: теория ренормализации предсказывает, что скалярные поля должны приобретать значительную массу.

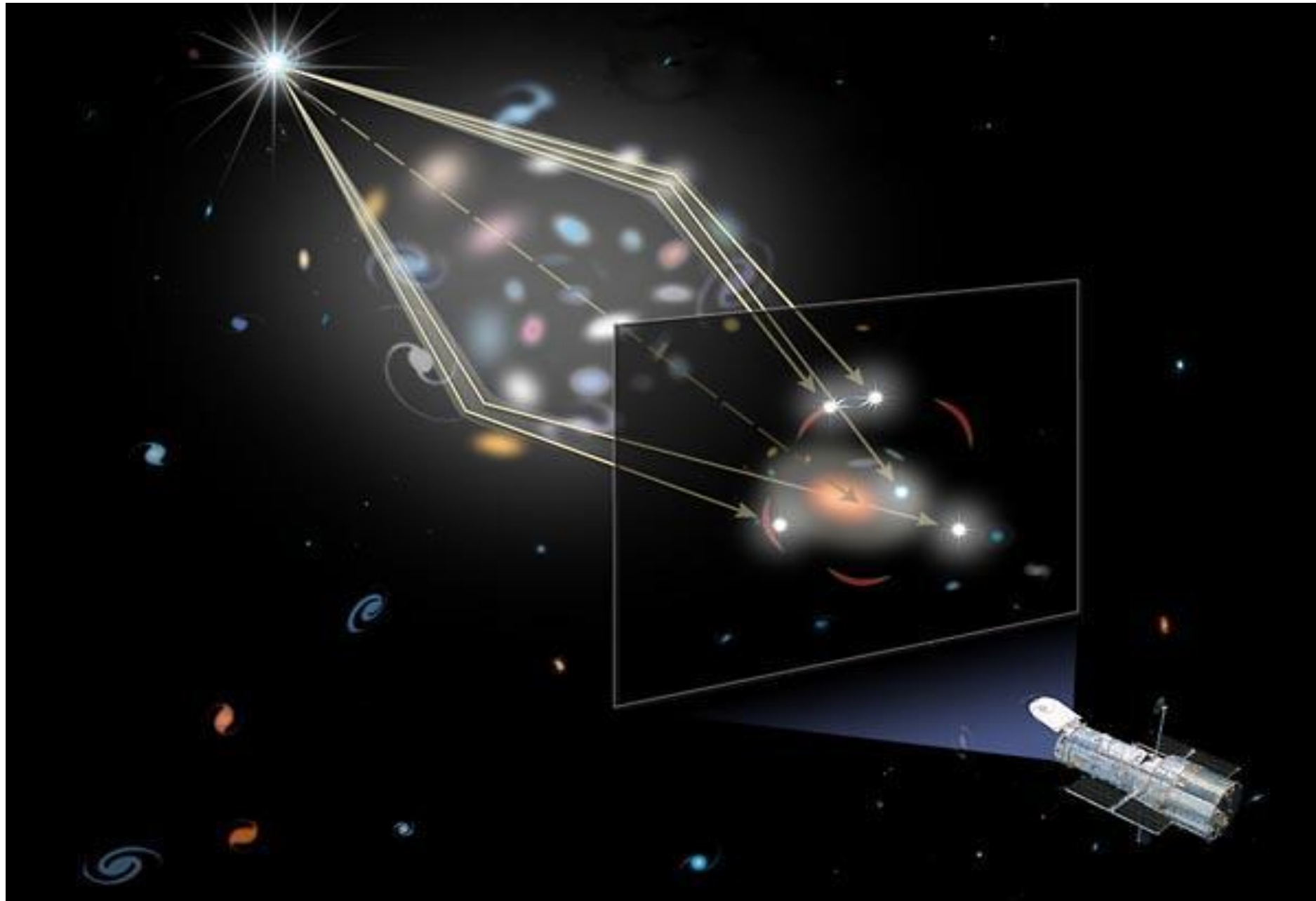
В некоторых моделях поле квинтэссенции имеет плотность, которая подстраивается к плотности излучения (не достигая её) до того момента развития Большого Взрыва, когда складывается равновесие вещества и излучения.

После этого момента квинтэссенция начинает вести себя как искомая «тёмная энергия» и в конце концов господствует во Вселенной.

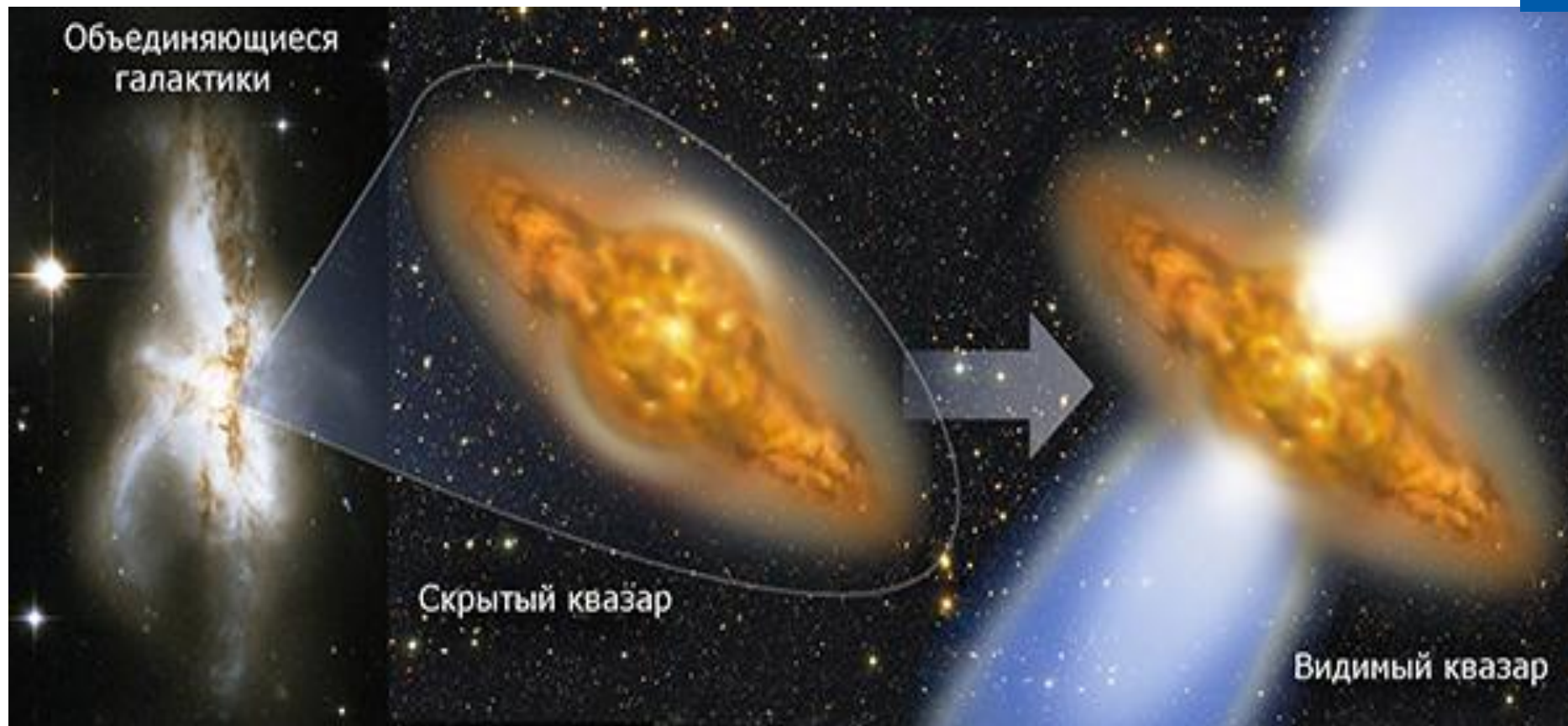
Такое развитие естественным образом устанавливает



# Как увидеть темную материю



# Может быть, так все происходит?





# Экзотика (И. Д. Новиков, К. Торн)



## Двумерная модель «кротовой норы»

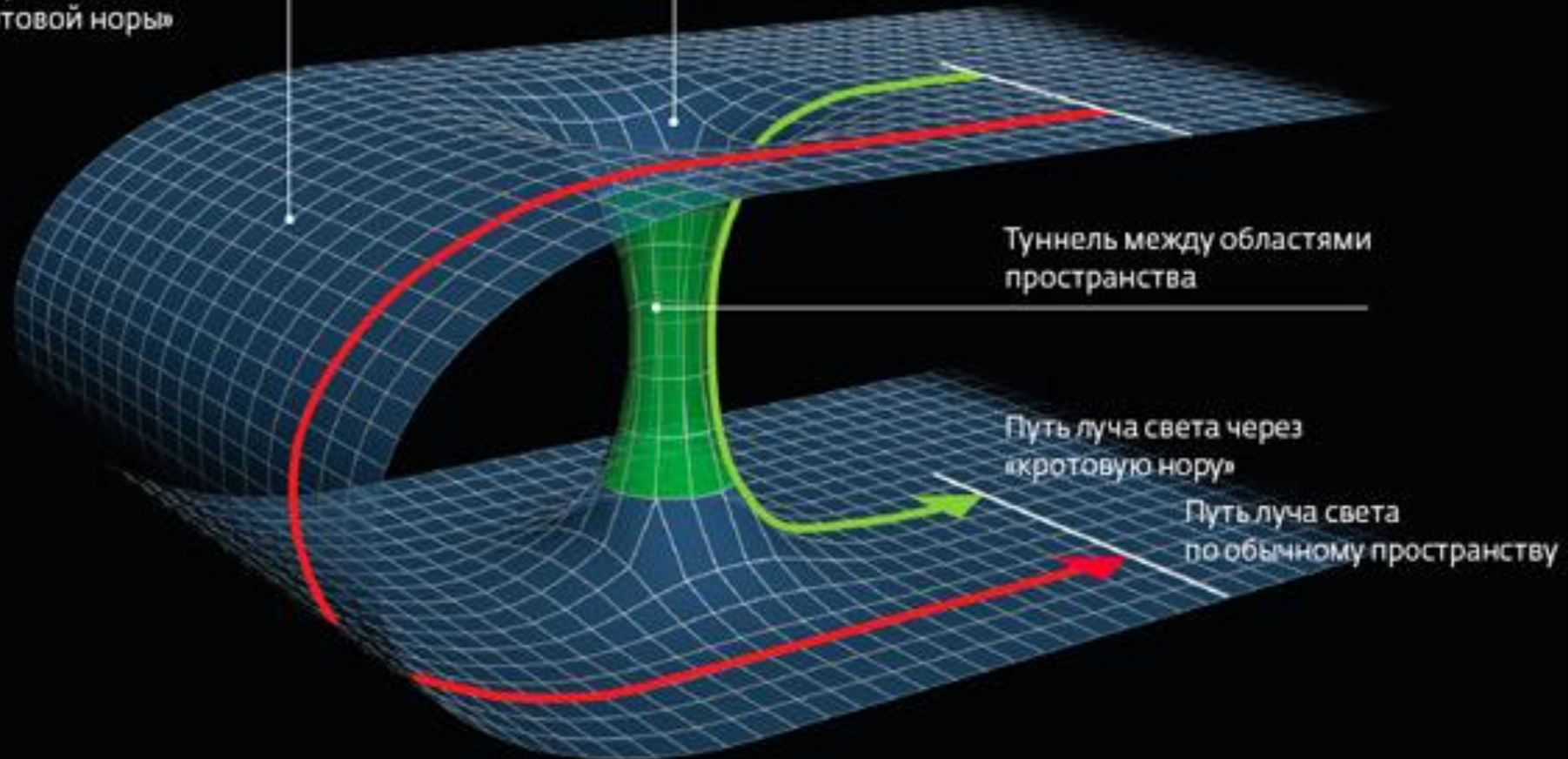
Обычное пространство  
снаружи  
«кротовой норы»

Вход в «кротовую нору»

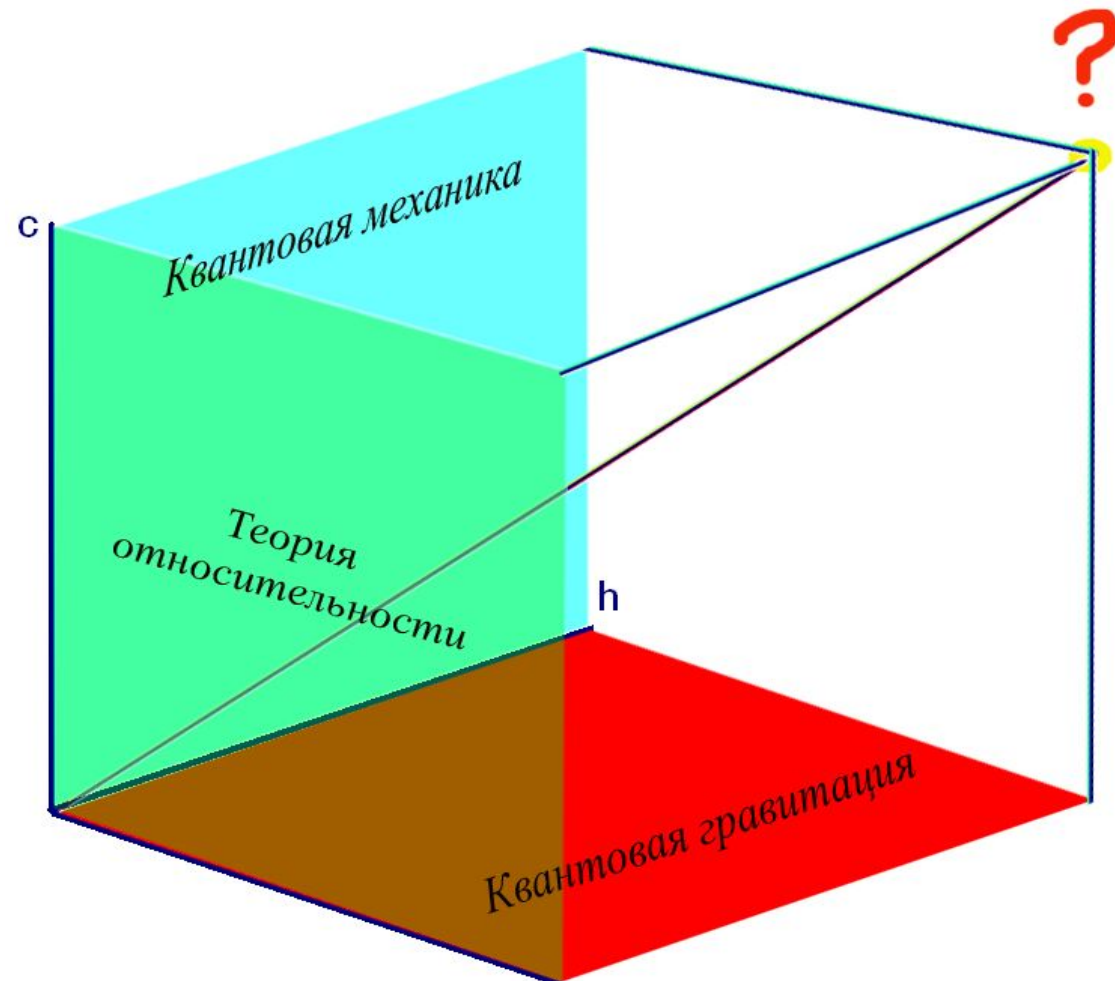
Туннель между областями  
пространства

Путь луча света через  
«кротовую нору»

Путь луча света  
по обычному пространству



# Квантование гравитации





## Физика в союзе с математикой

- объединение специальной теории относительности и квантовой механики = **квантовая теория поля**
- Объединение общей теории относительности и квантовой механики = **теория струн**

# Квантовая теория поля и квантовая хромодинамика



- Спиноры Дирака
- Теория калибровки,
- метод ренорм - групп
- Теория симметрии

## «ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ»

Теорий сильного, слабого и электромагнитного  
взаимодействий



# Квантовая теория поля и квантовая хромодинамика



# Квантовая теория поля и физика конденсированного состояния



Коллективные явления

Сверхтекучесть, BCS Сверхпроводимость,

Эффект Кондо,

Теория сильно коррелированных систем

Переходы Мотта (металл -изолятор, металл -диэлектрик)

Метод функций Грина, Диаграмная техника Феймана,

Континуальное интегрирование,

Метод производящего функционала

# Квантовая теория поля и астрофизика Физика макросистем



Квантовая теория гравитационного взаимодействия

Квантовая теория черных дыр

Реликтовое излучение

Теория суперсимметрии      Ковариантное квантование

Теория суперструн

Понимание природы гравитационного

взаимодействия.

# Квантовая теория поля, общая теория относительности и термодинамика



## Парадокс Хокинга

Согласно теории относительности, информация о том, что попадает внутрь чёрной дыры, теряется навсегда.

Однако если дыра испаряется, то что происходит с содержащейся внутри информацией?

Хокинг предположил, что чёрные дыры испаряются полностью, уничтожая информацию, но это противоречит принципам квантовой механики. Уничтожение информации вступает в противоречие с законом сохранения энергии,





# ТЕОРИЯ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА БЕСКОНЕЧНО БОЛЬШИЕ И БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ

- Предельная плотность (-?)  $\rho \sim 10^{100}$  г/см<sup>3</sup>
- Время взрыва  $10^{-31}$  с
- Эпоха Планка  $10^{-27}$  с
- Длина Планка  $10^{-33}$  см

$$\Delta x \geq l_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см,}$$

# БЕСКОНЕЧНО БОЛЬШИЕ И БЕСКОНЕЧНО МАЛЫЕ



$$\Delta x \geq l_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см},$$

- Нарушение аксиомы Архимеда
- Необходимо ультраметрическое пространство
- Квантовая механика переписывается в p-адических пространствах

**“Теоретическая физика всё в большей степени  
становится математической физикой.”**

**В.С. Владимиров**



# Зачем и кому это все нужно?

- Вопросы жизни и смерти  
рождения и уничтожения

## «Время жизни»

- Что такое материя и откуда она взялась?
  - **Флуктуирующая энергия может превращаться в материю!!!**

$$E=mc^2$$

# Где же заканчивается физика и где начинается математика?



**В настоящее время, по крайней мере в теоретической физике, ответить на этот вопрос вряд ли кто сможет.**

**Теоретическая физика вся насквозь пронизана математикой и без нее немыслима.**





**Квантовая теория поля  
«взращивает» проблемы мироздания.  
Решает их математика**

**Понимание природы  
записывается языком  
математики**



# Зачем и кому это нужно?

## «Картина Мира»

- **ФГОС:** Образовательная задача - сформировать естественнонаучное мировоззрение всеми доступными нам средствами

Но мы заставляем детей смотреть на мир глазами наших пра(- прадедов)<sup>n</sup> |<sub>n->N</sub>, называя это  
*«современным естественно-научным мировоззрением»*



## Методология «предметного» подхода

- Физика : тематически - хронологический
- Математика: примитивно- алгоритмический  
(таблица умножения + знакомство с двумя – тремя функциями)  
Способ решения задачи - заучивается  
«Исследование решения?» -- а что это такое?

**Результат школьного «образования» - безнадежное отставание по всем направлениям науки**



# Методология «предметного» подхода

- Физика : симметричный и энергетический подходы (законы сохранения и принцип наименьшего действия)
  - Математика: теоретико – множественный множества, элементы множеств и отношения между ними; Операции и их исследование
- Астрономия** – метапредмет, объединяющий все достижения современного естествознания и математики





Возможно, скоро будут найдены принципиально  
новые подходы к описанию того, что мы  
ВИДИМ...

Возможно, что статья с этими новыми идеями  
уже поступила в редакцию какого-нибудь  
научного издания.

Подобно тому, как в 1917 году в редакцию  
журнала “Annalen der Physik” поступила статья  
молодого служащего патентного бюро...



**Спасибо  
за ваше  
внимание!**



**Циовкин Юрий Юрьевич, проф. д.ф.м.н.**  
Руководитель МЦ г. Санкт-Петербурга  
**Федотова Ирина Ивановна**  
+7 812 339-06-98  
spb@rosuchebnik.ru

