

# Микромир и Вселенная 2019

Одно из выдающихся открытий человека состоит в понимании того, что мир, в котором он живёт, существовал не всегда. Изучение физических законов окружающего мира, фундаментальных составляющих материи, глобальных космологических структур радикально изменило представление человека о Вселенной и его месте в ней.

# Структура материи

Молекулы  $T = 300 \text{ K}$

**АТОМЫ**

$(N, Z) + e^-$

**Атомные ядра**

$(N_n, Z_p) e^-$

**Стабильные частицы**

$p$  протон (uud)  $e^-$

$n$  нейтрон (udd)  $\tau = 885,7 \text{ с}$   $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$

**Адроны**

**Барионы**    **Мезоны**

$qqq$

$q\bar{q}$

**Лептоны**

$e^-$      $\mu^-$      $\tau^-$

$\nu_e$      $\nu_\mu$      $\nu_\tau$

**Кварки**

**u**    **c**    **t**

**d**    **s**    **b**

**Лептоны**

$e^-$      $\mu^-$      $\tau^-$

$\nu_e$      $\nu_\mu$      $\nu_\tau$

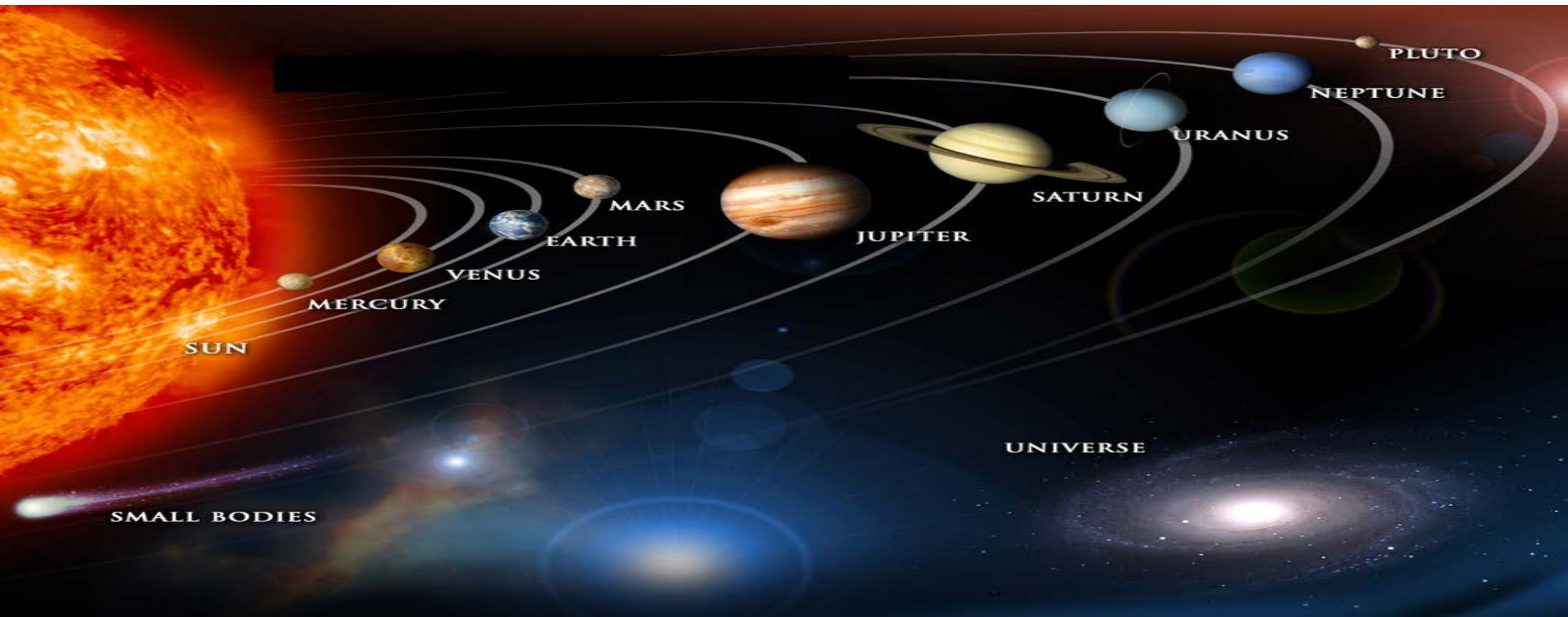
# Состав Вселенной

- крупномасштабная структура Вселенной
- скопление галактик
- галактики
- звезды
- планеты
- астероиды, кометы
- межзвездный газ
- межзвездная пыль
- межзвездные магнитные поля
- космические лучи
- реликтовое излучение
- реликтовые нейтрино
- молекулы, атомы, ядра
- электроны

# Характерные плотности вещества в различных объектах Вселенной

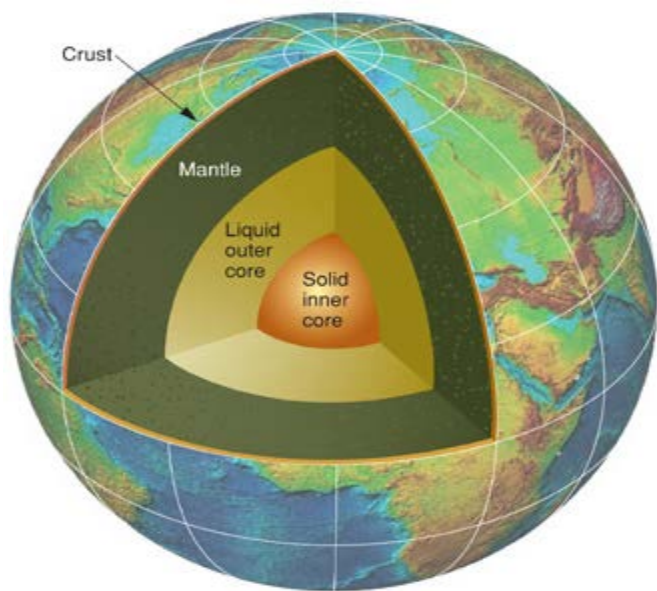
Объекты	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Нейтронные звезды	$10^{14}$
Белые карлики	$10^6$
Нормальные звезды	1,5
Красные сверхгиганты	$5 \cdot 10^{-8}$
Галактика в целом	$2 \cdot 10^{-24}$
Межзвездная среда	$3 \cdot 10^{-25}$
Скопления галактик	$\sim 7 \cdot 10^{-28}$
Вселенная	$\sim 7 \cdot 10^{-30}$

# Планеты Солнечной системы



Планета	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Период обращения	Период вращения	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Диаметр, км	Масса, кг	Кол-во спутников	Температура
Меркурий	0,387	88 сут	58,6 сут	5,44	4878	$3,3 \cdot 10^{23}$	0	350
Венера	0,72	224,7 сут	243 сут	5,5	6050	$4,9 \cdot 10^{24}$	0	480
Земля	1,00	365,24 сут	24 час	5,52	12756,3	$6 \cdot 10^{24}$	1	22
Марс	1,52	687 сут	24,5 час	3,95	6780	$6,4 \cdot 10^{23}$	2	-23
Юпитер	5,2	11,9 лет	10 час	1,33	142600	$1,9 \cdot 10^{27}$	16	-150
Сатурн	9,54	29,5 лет	10,2 час	0,68	120600	$5,7 \cdot 10^{26}$	30	-180
Уран	19,18	84 года	17 час	1,26	51200	$8,7 \cdot 10^{25}$	15	-215
Нептун	30,06	164,8 лет	17,8 час	1,67	49500	$1,03 \cdot 10^{26}$	6	-217
Плутон	39,44	247,7 лет	6,4 сут	0,17	3000	$1,79 \cdot 10^{22}$	1	-223





# Земля

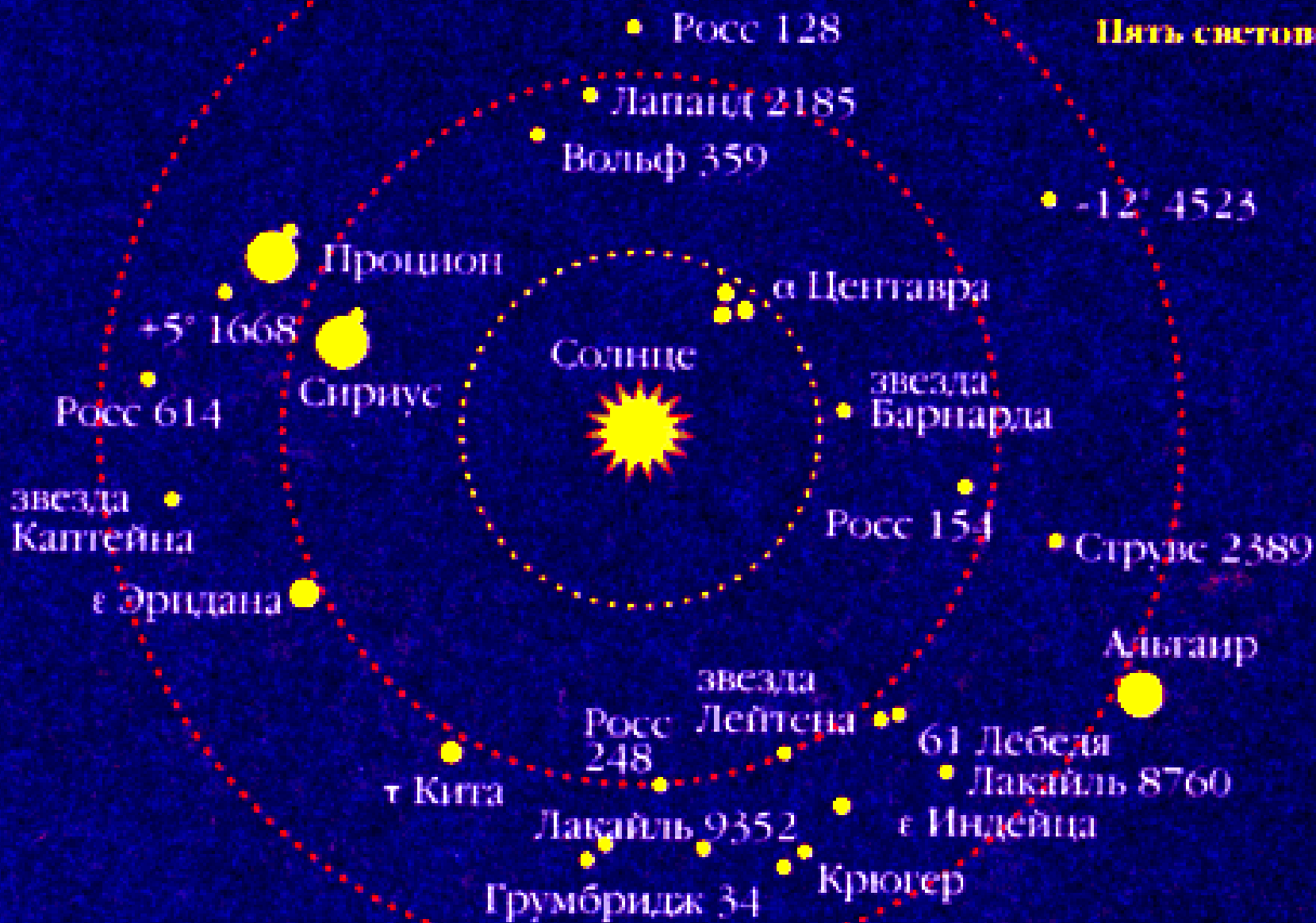
Глубина км	Слой	Плотность г/см <sup>3</sup>
0—60	Литосфера (местами варьируется от 5 до 200 км)	—
0—35	... Кора (местами варьируется от 5 до 70 км)	2,2—2,9
35—60	... Самая верхняя часть мантии	3,4—4,4
35—2890	Мантия	3,4—5,6
100—700	... Астеносфера	—
2890—5100	Внешнее ядро	9,9—12,2
5100—6378	Внутреннее ядро	12,8—13,1

Масса Земли  $\approx 5,98 \times 10^{24}$  кг. Общее число атомов, составляющих Землю  $\approx 10^{50}$ . Земля состоит в основном из железа (32,1 %), кислорода (30,1 %), кремния (15,1 %), магния (13,9 %), серы (2,9 %), никеля (1,8 %), кальция (1,5 %) и алюминия (1,4 %); на остальные элементы приходится 1,2 %. Из-за сегрегации по массе внутреннее пространство, предположительно, состоит из железа (88,8 %), небольшого количества никеля (5,8 %), серы (4,5 %).

Пятнадцать световых лет

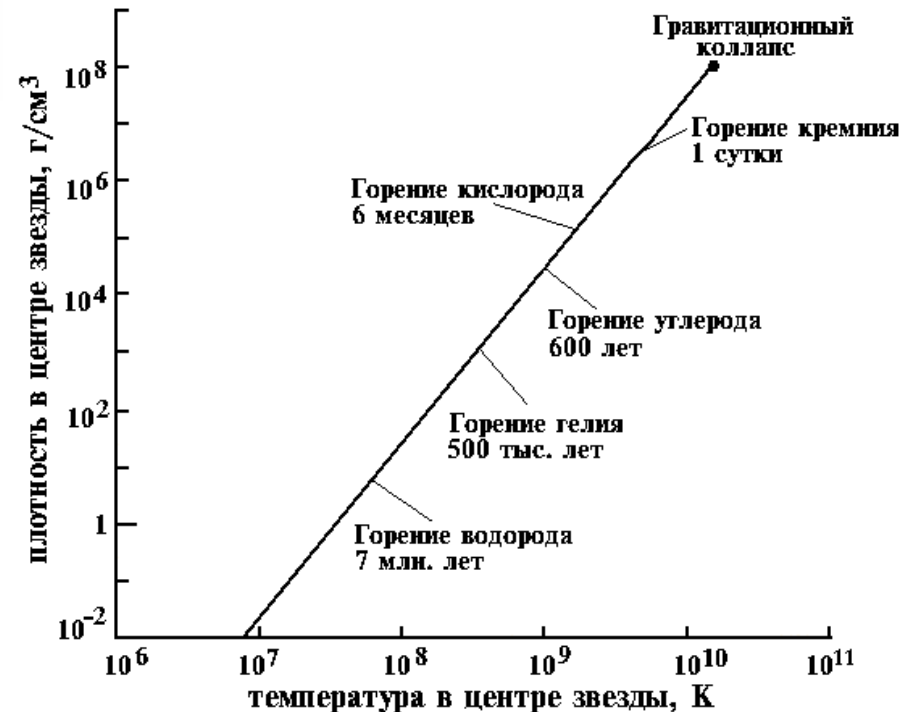
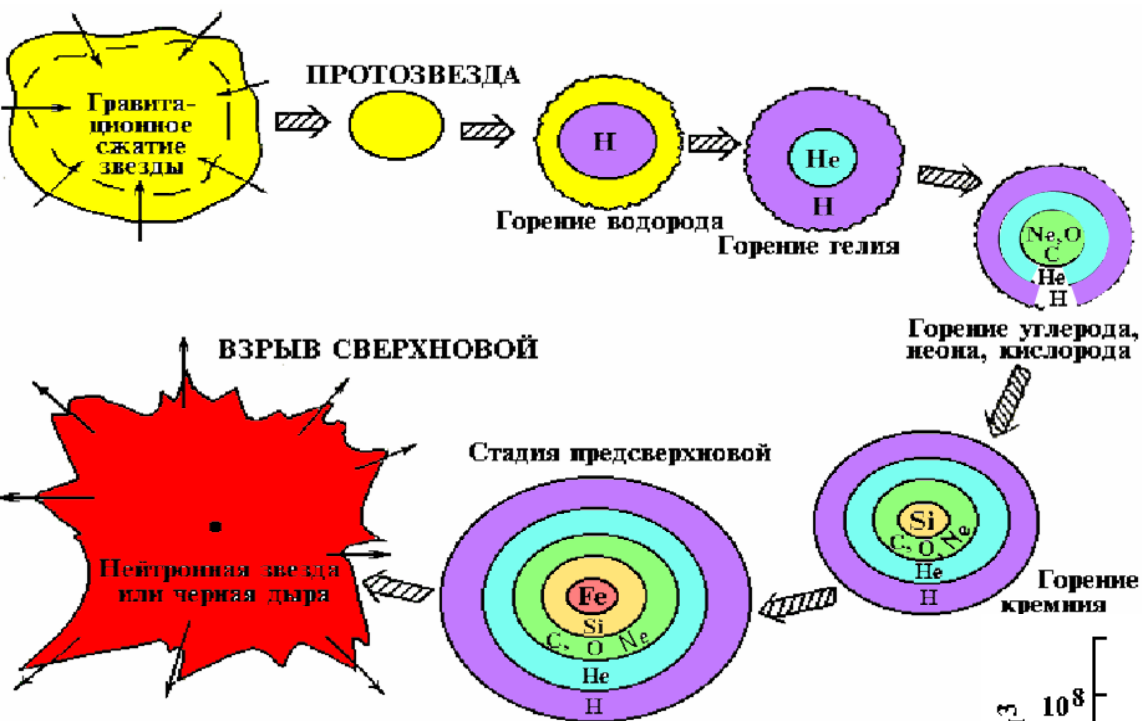
Десять световых лет

Пять световых лет





# Эволюция массивной звезды $M > 25M_{\odot}$



# Сверхновая SN 1987A



© Anglo-Australian Observatory

# Сверхновая SN 1987A

В 1987 г. в одной из ближайших галактик — Большом Магеллановом облаке, отстоящей от нашей галактики на 170000 световых лет, произошел взрыв Сверхновой SN1987A. Оболочка Сверхновой была выброшена взрывом со скоростью в несколько десятков тысяч километров в секунду. На её месте раньше наблюдался голубой гигант массой  $16M_{\odot}$  (снимок справа). Нейтринные детекторы зарегистрировали 25 нейтрино от этого взрыва. Длительность нейтринного сигнала составляла 25 секунд. Средняя энергия нейтрино  $\sim 20$  МэВ. Полная энергия, унесенная при взрыве Сверхновой SN1987A оценивается  $\sim 3 \cdot 10^{53}$  эрг.



# Сверхновая



Инфракрасный снимок остатка вспышки сверхновой в созвездие Кассиопея, которая произошла приблизительно 50 лет назад. Это самый молодой остаток от взрыва Сверхновой, известный в нашей галактике.

# Столкновение галактик



На эволюцию двойных систем оказывает влияние комбинированное действие нескольких факторов.

- Приливное трение, охватывающее интервал времени в миллионы лет.
- Потеря массы в результате гравитационного взаимодействия. Продолжительность этого процесса может варьироваться от миллионов до миллиардов лет.
- Возмущение от близкорасположенных галактик.

При совместном действии этих факторов расстояние между галактиками изменяется, орбиты отдельных галактик изменяют свою первоначальную форму. При слиянии галактик выделяется гигантская энергия.

На рисунке показано столкновение двух спиральных галактик NGC2207 и IC2163

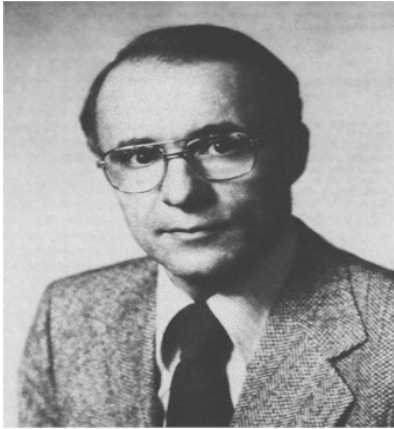
# Крупномасштабная структура Вселенной



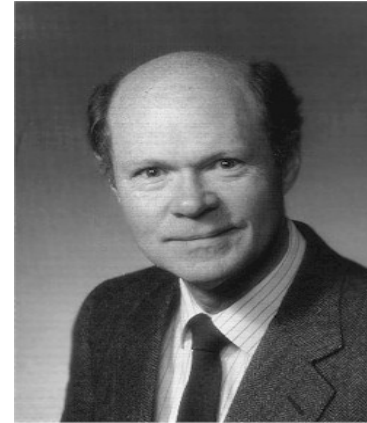
Каждой галактике соответствует одна точка ячеистой сетчатой структуры с характерных размером ячейки 100 млн. световых лет.



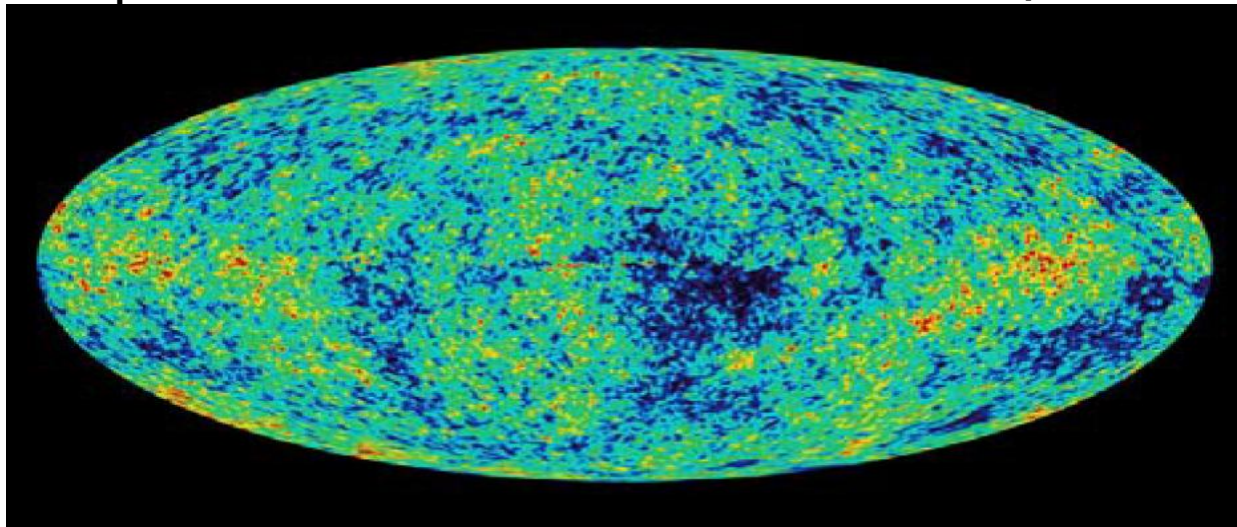
# Микроволновое фоновое (реликтовое) излучение



Арно Пензиас  
(Arno Allan Penzias)  
р. 1933



Роберт Вудро Вильсон  
(Robert Woodrow Wilson)  
р. 1936



**Нобелевская премия по физике**

**1978 г.** — А. Пензиас и Р. В. Вильсон

**За открытие космического микроволнового фонового излучения**

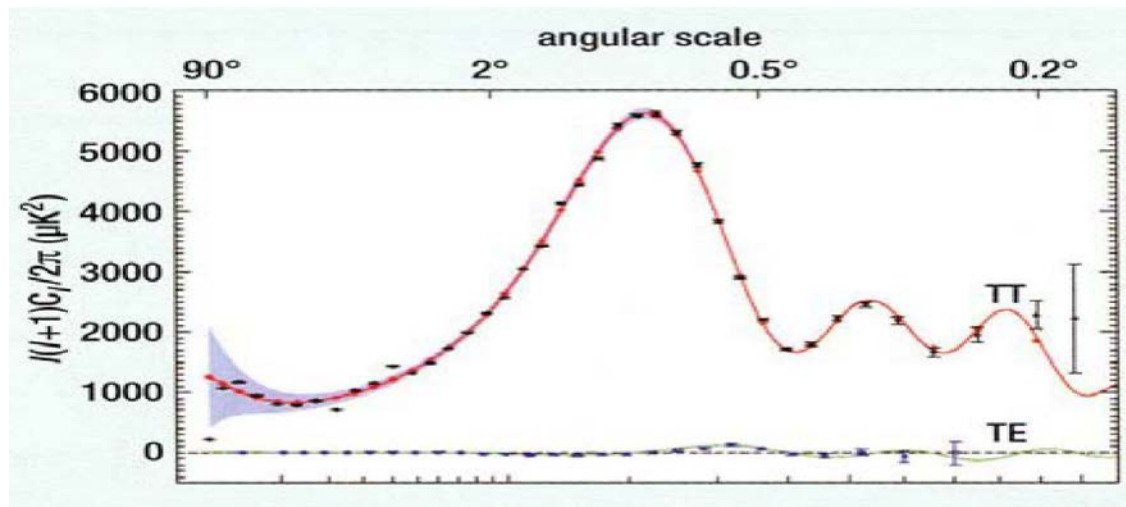
# Микроволновое фоновое (реликтовое) излучение



John C. Mather  
р. 1946



George F. Smoot  
р. 1945



**Нобелевская премия по физике**

**2006 г. — Дж. Матер и Дж. Смут**

**За открытие чернотельной формы и анизотропии космического микроволнового фонового излучения**

# Эдвин Хаббл (1889-1953)



**1924**

туманность Андромеда – другая галактика

**1929**

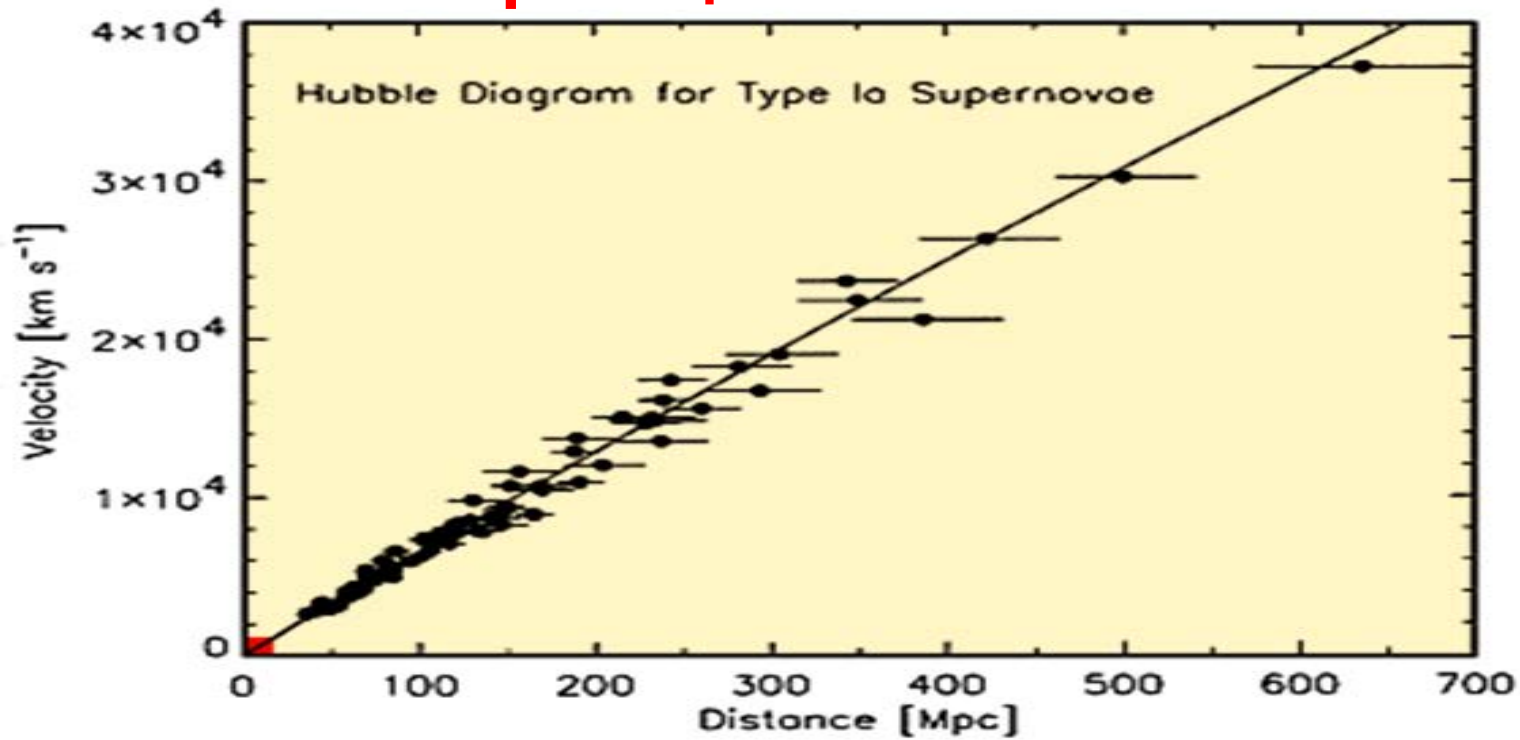
красное смещение, разбегание галактик

**1990**

запуск телескопа Хаббл



# Расширяющаяся Вселенная



В 1929 г. Э. Хаббл установил, что Вселенная расширяется, обнаружив красное смещение видимого излучения галактик за счет эффекта Доплера. Скорость разлёта  $v$  двух галактик и расстояние  $R$  между ними связаны законом Хаббла

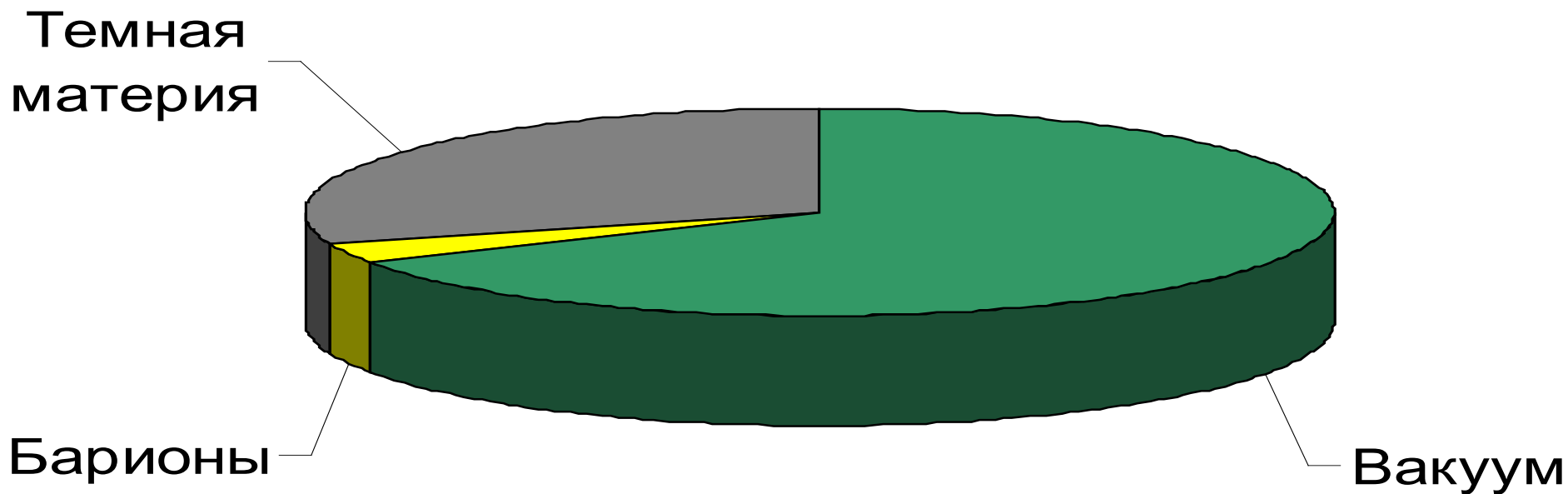
$$v = HR,$$

постоянная Хаббла  $H = 71 \pm 4 \frac{\text{км}}{\text{сек} \cdot \text{мегапарсек}}$ .

Согласно космологической модели Большого Взрыва Вселенная образовалась около 15 млрд. лет назад. «Осколки» этого Взрыва представляют собой разлетающиеся галактики. Вселенная продолжает расширяться и в настоящую эпоху.

# Характеристики Вселенной

<b>БАРИОНЫ</b>	<b>0.02-0.05</b>
<b>в том числе, ЗВЁЗДЫ:</b>	<b>0.002-0.003</b>
<b>ФОТОНЫ</b>	<b><math>4.9 \cdot 10^{-5}</math></b>
<b>НЕЙТРИНО</b>	<b><math>3.3 \cdot 10^{-5}</math></b>
<b>ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ</b>	<b>0.2-0.4</b>
<b>ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ (ВАКУУМ)</b>	<b>0.6-0.8</b>
<b>ПОЛНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА-ЭНЕРГИИ</b>	<b><math>1.02 \pm 0.02</math></b>



# Темная материя

1933 г. Ф. Цвики

Откуда следует существование темной материи

- Линзирование
- Большие скорости галактик
- Горячие газовые облака
- Эффект Доплера

Возможные источники

**I MACHOs** – Massive Astrophysical Compact Halo Objects

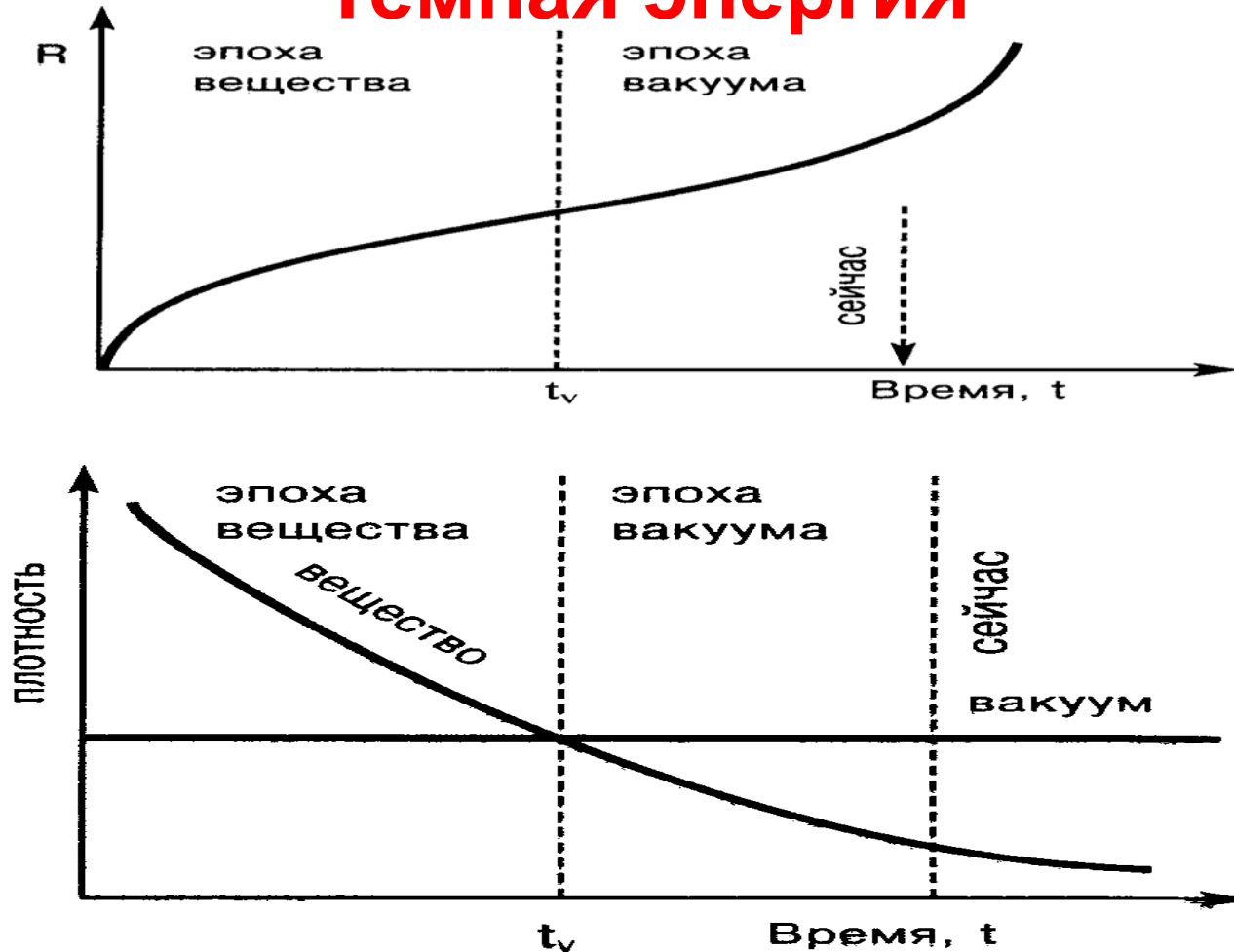
Массивные астрофизические объекты в гало галактики

- Черные дыры
- Старые нейтронные звезды
- Коричневые карлики

**II WIMPs** – Weakly Interacting Massive Particles



# Темная энергия



В начале 1998 г. было сделано открытие. Оказалось, что последние пять млрд лет расширение Вселенной не замедлялось, как следует из модели Большого Взрыва, а ускорялось. Этот вывод получен в результате анализа спектров излучения взрывающихся Сверхновых, расположенных от Земли на расстоянии 5-10 млрд световых лет. Таким образом, было доказано наличие в космосе гравитационного отталкивания, присущего физическому вакууму.

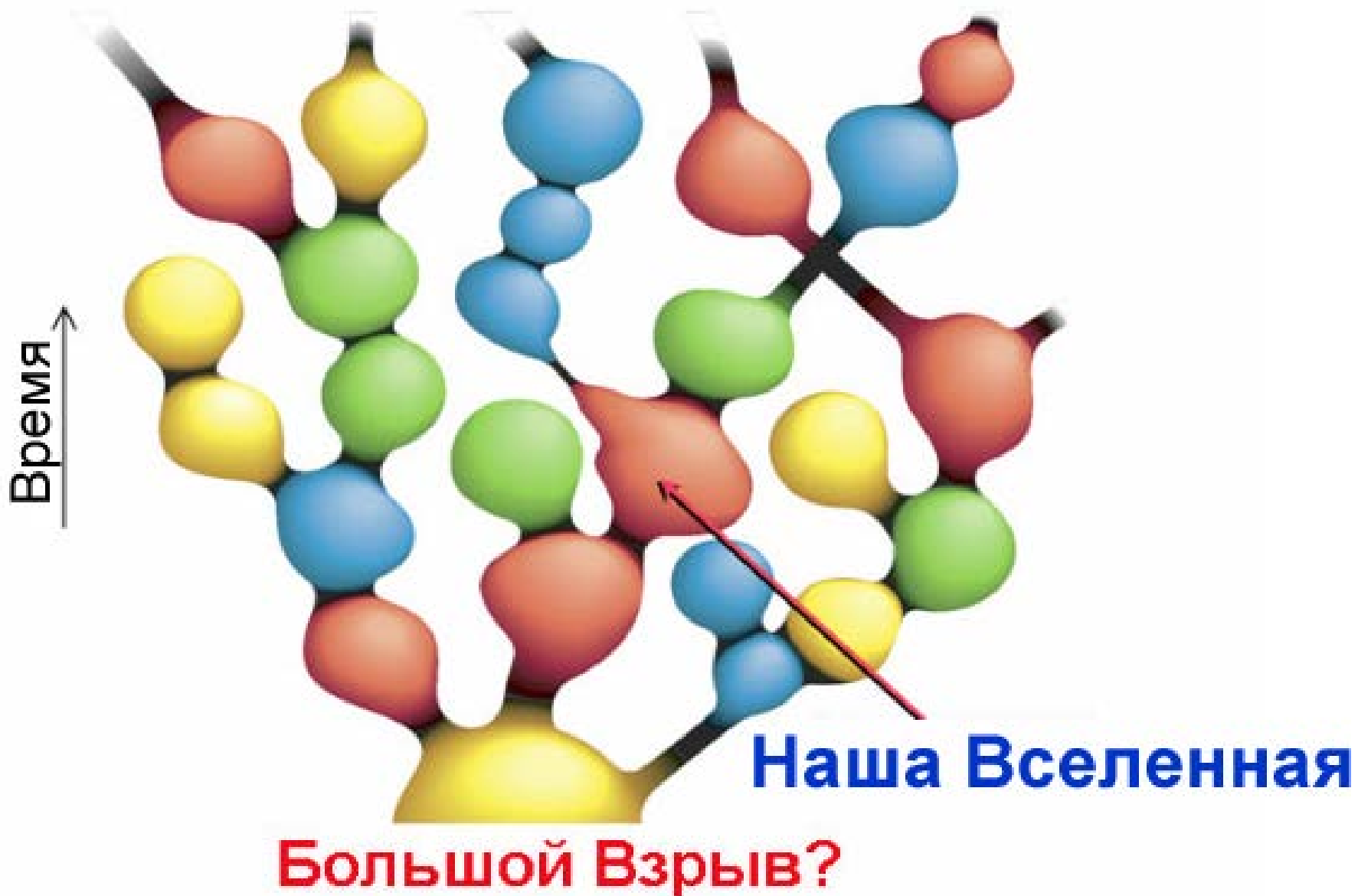
# Проблемы современной модели Вселенной

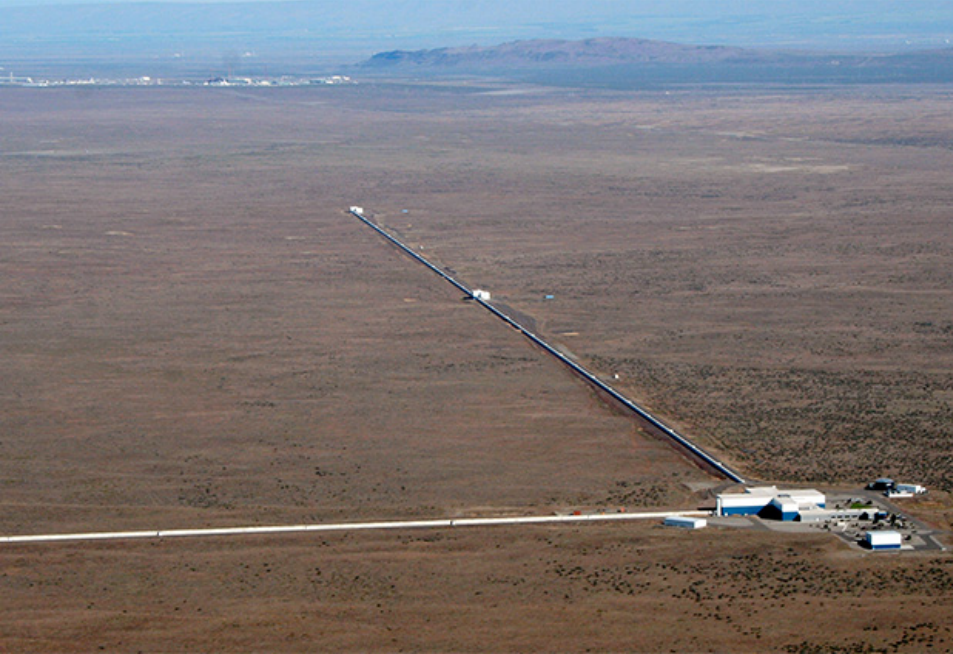


# Проблемы современной модели Вселенной

1. Природа темной материи
2. Природа темной энергии
3. Стабильность протона
4. Асимметрия вещество-антивещество
5. Почему существуют три поколения фундаментальных частиц, состоящих из пары кварков и лептонов?
6. Существуют ли четвертое, пятое, ... поколения фундаментальных частиц?
7. Почему существуют кварки и лептоны, и чем вызвано различие между ними?
8. Почему фундаментальными частицами вещества являются фермионы, в то время как фундаментальными переносчиками взаимодействия — бозоны?
9. Почему разные фундаментальные частицы имеют разные массы?
10. Почему различаются пространственная и временная степени свободы?
11. Живем ли мы в четырехмерном пространстве-времени, или оно имеет большее число измерений?
12. Существуют ли кванты пространства и времени?

# Параллельные Вселенные

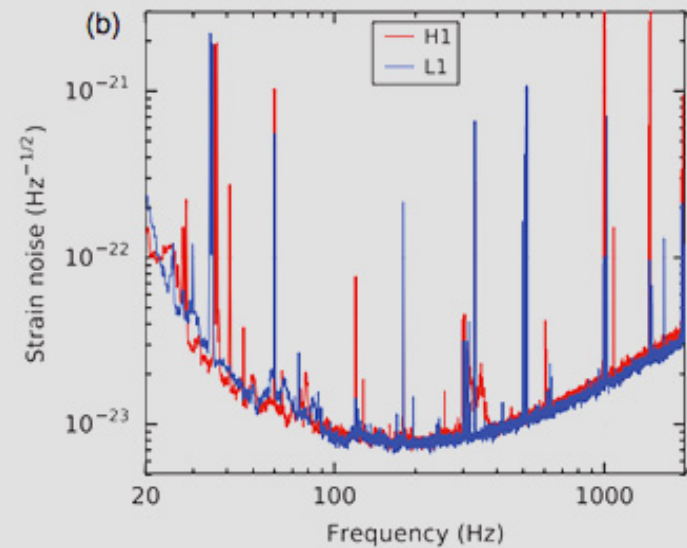
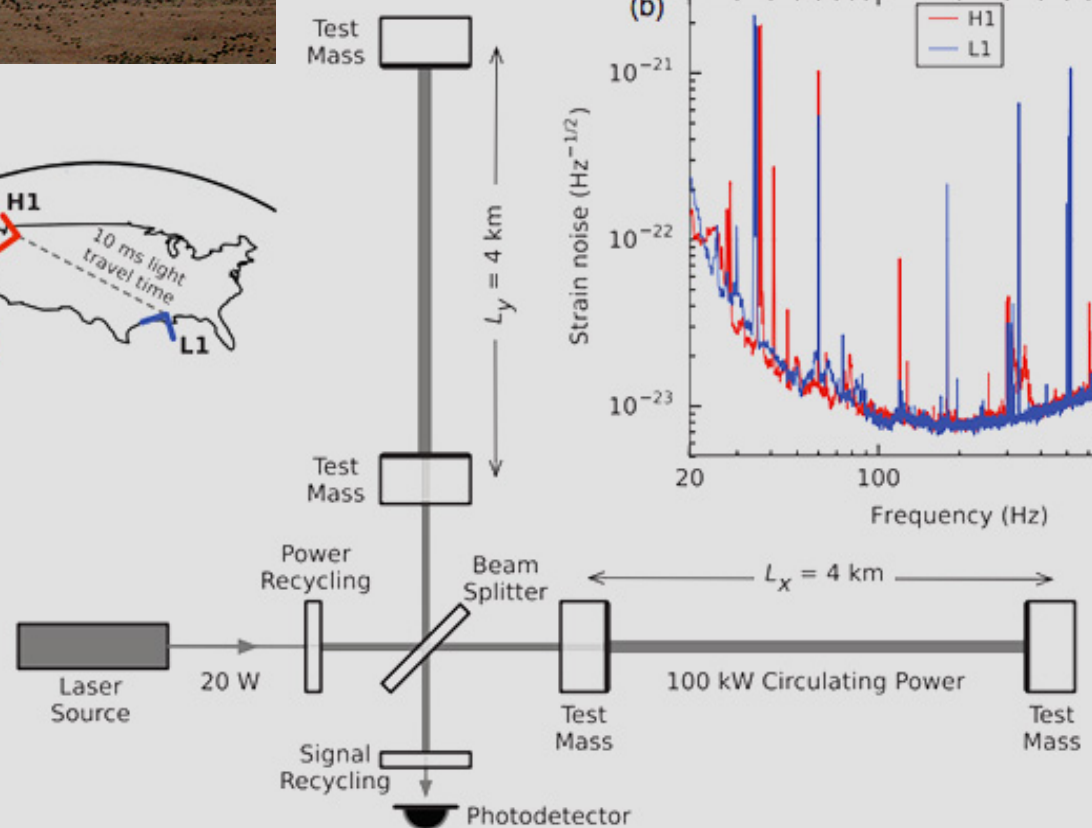




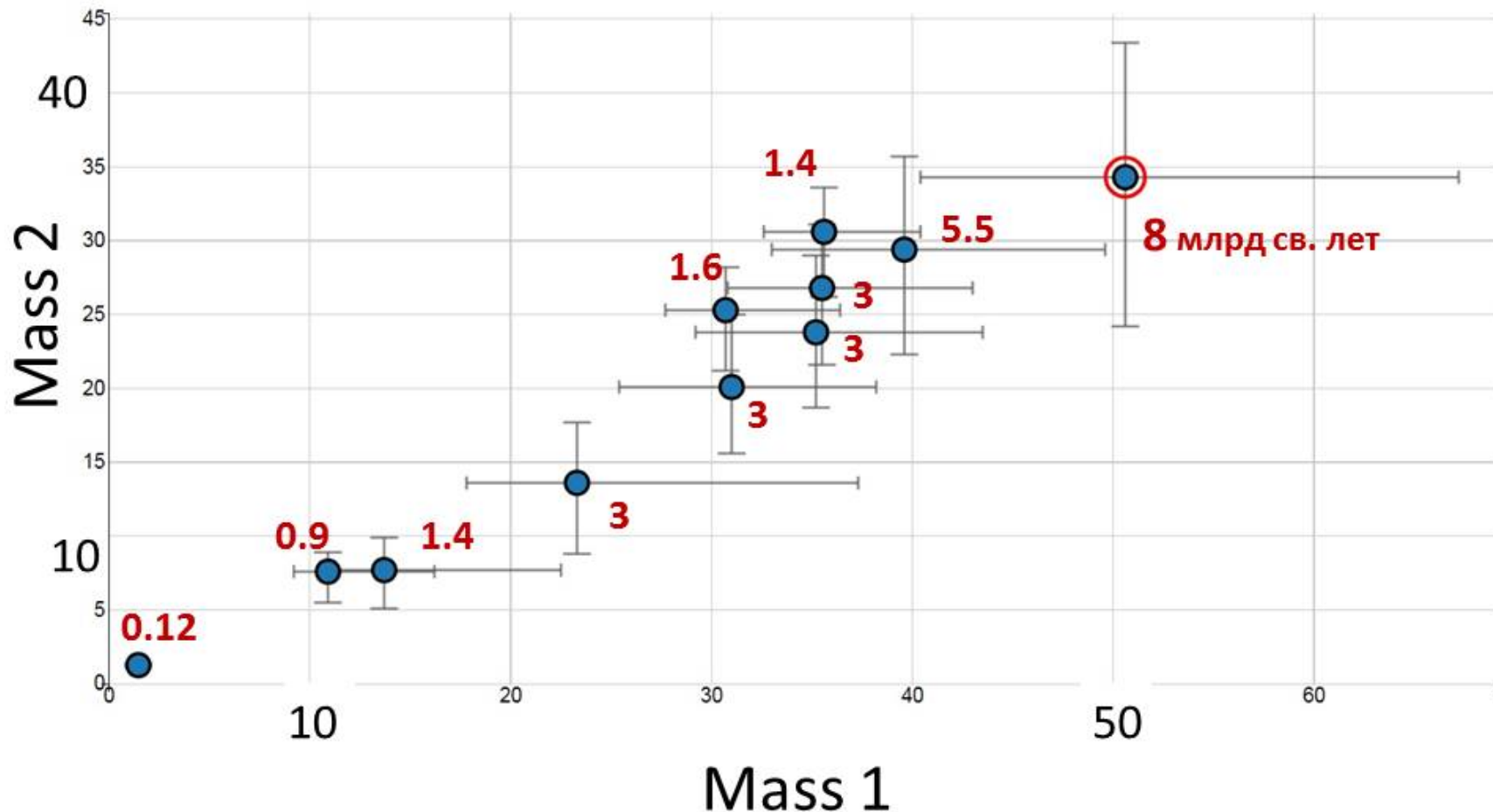
# Интерферометр LIGO



(a)



# 11 гравитационно-волновых событий



События слияния черных дыр и нейтронных звезд (нижняя самая левая точка), зарегистрированные гравитационно-волновыми детекторами LIGO и VIRGO. По горизонтали — масса большего, по вертикали — меньшего из слившихся объектов. Красными цифрами указаны примерные расстояния в миллиардах световых лет (ошибки ~40%)



# Эволюция Вселенной

Время после Большого взрыва	Характерные температуры, К	Этап/Событие
$< 10^{-43}$ с	$> 10^{32}$	<b>Квантовый хаос.</b> Суперсимметрия (объединение всех взаимодействий)
$10^{-43}$ с	$10^{32}$	<b>Планковский момент.</b> Отделение гравитационного взаимодействия
$10^{-43} - 10^{-36}$ с	$10^{32} - 10^{28}$	<b>Великое объединение</b> электро-слабого и сильного взаимодействий
$10^{-36}$ с	$10^{28}$	<b>Конец Великого объединения.</b> Разделение сильного и электро-слабого взаимодействий
$10^{-35}$ с	$10^{28}$	<b>Окончание инфляционной стадии расширения Вселенной</b>
$10^{-10}$ с	$10^{15}$	<b>Конец электрослабого объединения</b>
$10^{-6}$ с	$10^{13}$	<b>Кварк-адронный фазовый переход</b>
$10^{-10} - 10^{-4}$ с	$10^{15} - 10^{12}$	<b>Адронная эра.</b> Рождение и аннигиляция адронов и лептонов
$10^{-4} - 10$ с	$10^{12} - 10^{10}$	<b>Лептонная эра.</b> Рождение и аннигиляция лептонов
$0.1 - 1$ с	$2 \cdot 10^{10}$	<b>Отделение нейтрино.</b> Вселенная становится прозрачной для нейтрино (антинейтрино)
$10^2 - 10^3$ с	$\approx 10^9$	<b>Дозвёздный синтез гелия</b>
$10$ с – $40\,000$ лет	$10^{10} - 10^4$	<b>Радиационная эра.</b> Доминирование излучения над веществом
$40\,000$ лет	$10^4$	<b>Начало эры вещества.</b> Вещество начинает доминировать над излучением
$400\,000$ лет	$3 \cdot 10^3$	<b>Образование атомов.</b> Разделение вещества и излучения (Вселенная прозрачна для излучения)
$1$ млрд. лет	$20$	<b>Образование галактик</b>
$3$ млрд. лет	$10$	<b>Образование тяжелых ядер при взрывах звезд</b>
$10 - 15$ млрд. лет	$3$	<b>Появление планет и разумной жизни</b>
$10^{14}$ лет	$10^{-2}$	<b>Прекращение процесса рождения звезд</b>
$10^{37}$ лет	$10^{-18}$	<b>Прекращение выделения энергии в звездах</b>
$10^{40}$ лет	$10^{-20}$	<b>Испарение черных дыр и рождение элементарных частиц</b>
$10^{100}$ лет	$10^{-60} - 10^{-40}$	<b>Завершение испарения всех черных дыр</b>

# Антропный принцип

**Слабый антропный принцип.** Наше положение во Вселенной с необходимостью является привилегированным в том смысле, что оно должно быть совместимо с нашим существованием как наблюдателей.

**Сильный антропный принцип.** Вселенная и, следовательно, фундаментальные параметры, от которых она зависит, должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции допускалось существование наблюдателей.

Соотношение между физическими константами необходимые для существования жизни. Если бы эти константы отличались от наблюдаемых значений на небольшую величину, разумная жизнь не могла бы образоваться.

1. Значение масс электрона, протона и нейтрона.
2. Размерность пространства-времени.
3. Величина энергии связи дейтрона.
4. Резонанс в ядре  $^{12}\text{C}$  при энергии 7,65 МэВ.
5. Величины скорости света и постоянной Планка.
6. Величина заряда электрона

и др.



И. Босх  
(1450 — 1516)

«Странник»