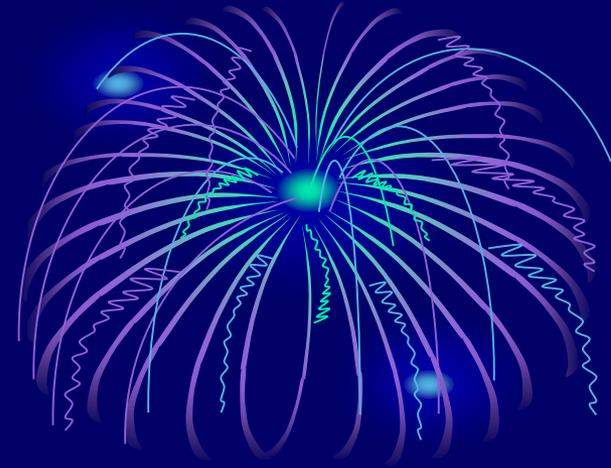


Современная астрономия и астрономическая картина мира

Сергей Попов
ГАИШ МГУ



Факт 1



Астрономия – наблюдательная наука

В астрономии невозможны прямые эксперименты с изучаемыми объектами.

Это уникальное свойство для естественных наук.

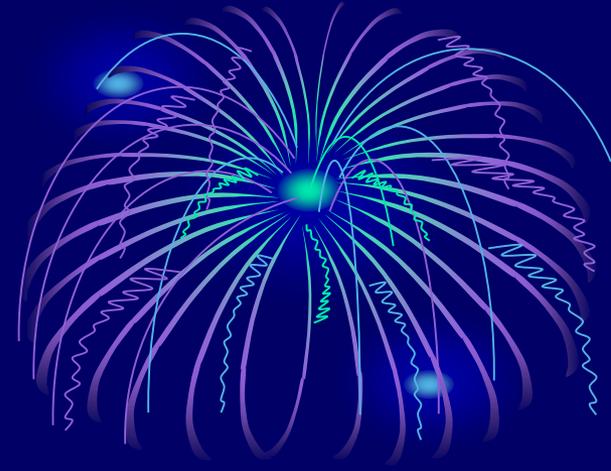


Факт 2

В телескоп не смотрят глазом

Начиная с 19 века в астрономии стала фиксировать изображение на фотопластинке, Чтобы потом детально обработать. Сейчас приемники электронные.

Вне видимого диапазона глаз вообще бесполезен.

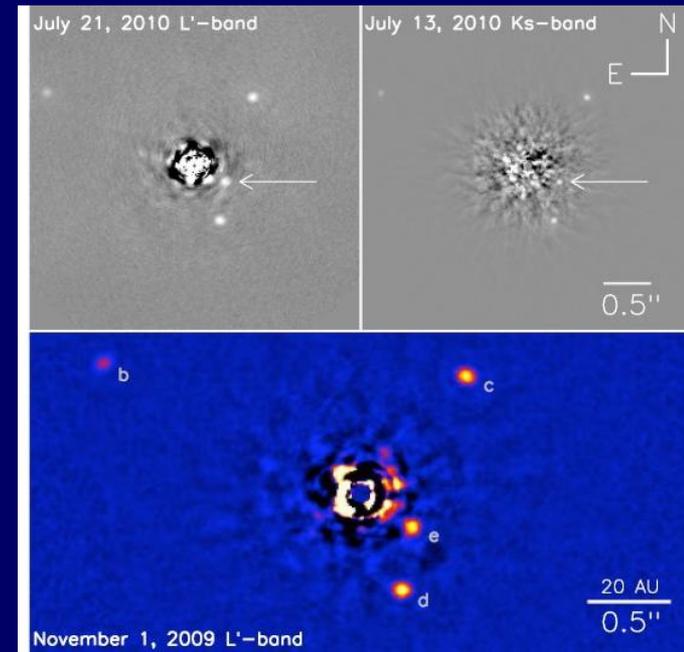
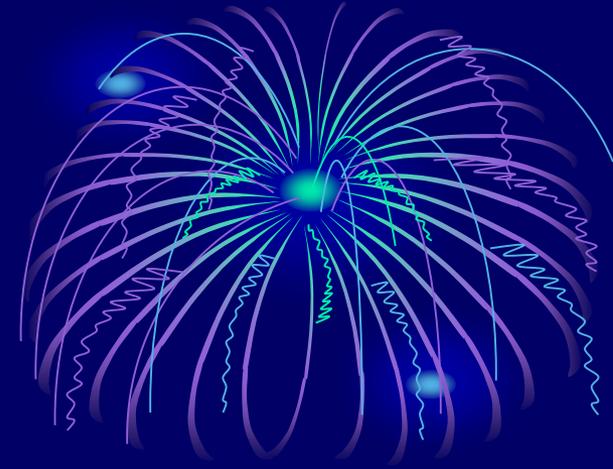


Факт 3

Важнейшей составляющей работы астрономов является обработка данных.

Среднестатистический астроном занят обработкой данных.

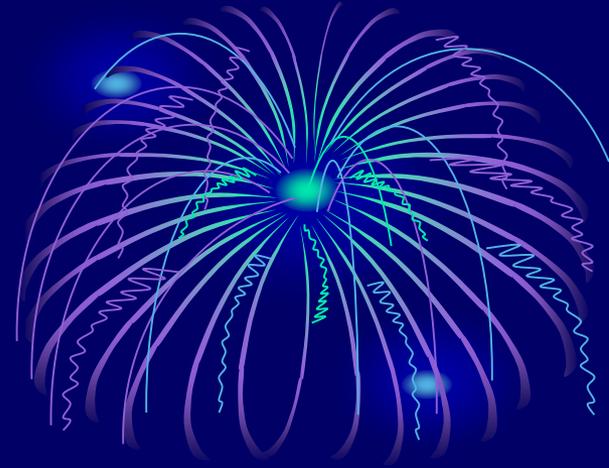
Изображения, которые вы видите, обычно являются итогом длительной и сложной обработки.



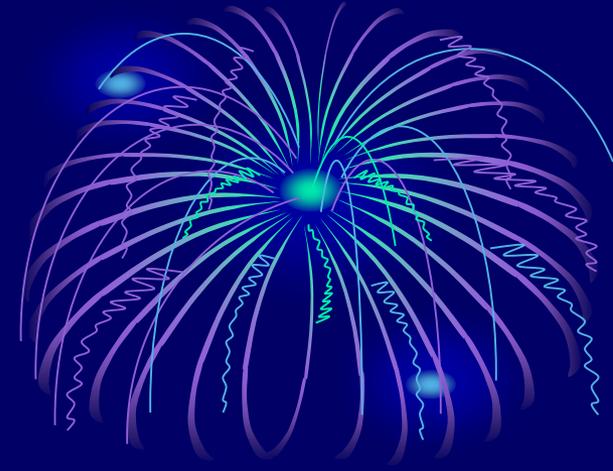
Факт 4

Астрономия стала всеволновой

**Наблюдения ведутся от радио до гамма-лучей.
А также есть нейтринная астрономия,
изучение космических лучей, а на подходе
гравитационно-волновая астрономия.**



Факт 5



Наблюдатели не всегда сидят у телескопа

Разумеется, космические эксперименты управляются дистанционно.

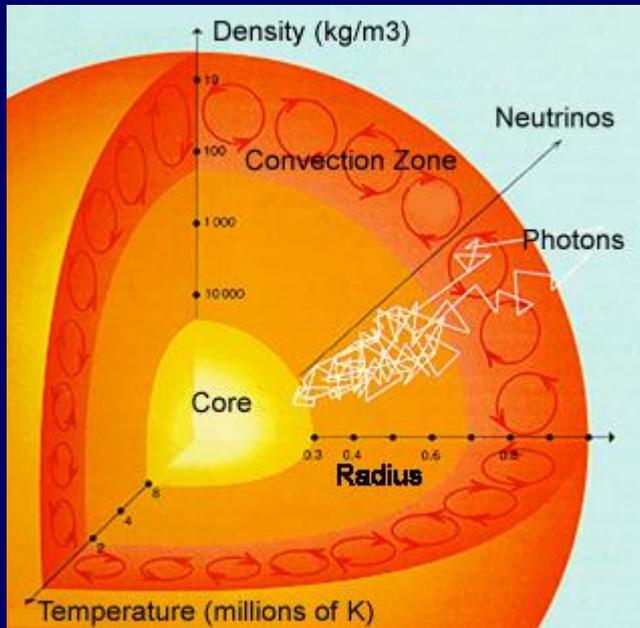
Но и наземные все чаще управляются издалека.

Кроме того, часто инструментом управляет команда инженеров, а астроном лишь описывается в заявке что и как наблюдать.

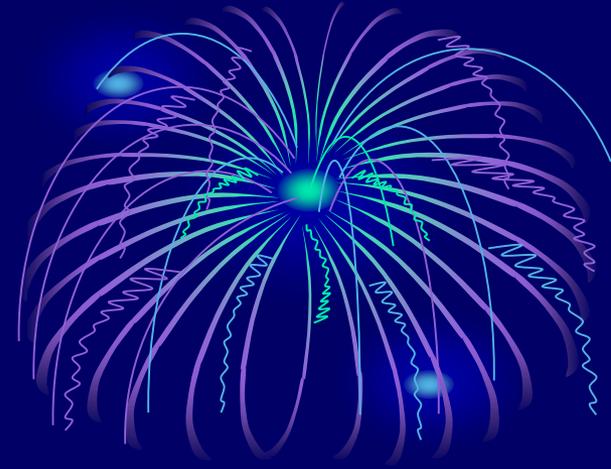


Факт 6

Астрономия – часть физики



Нам интересно
не «как выглядит»,
а «как устроено»

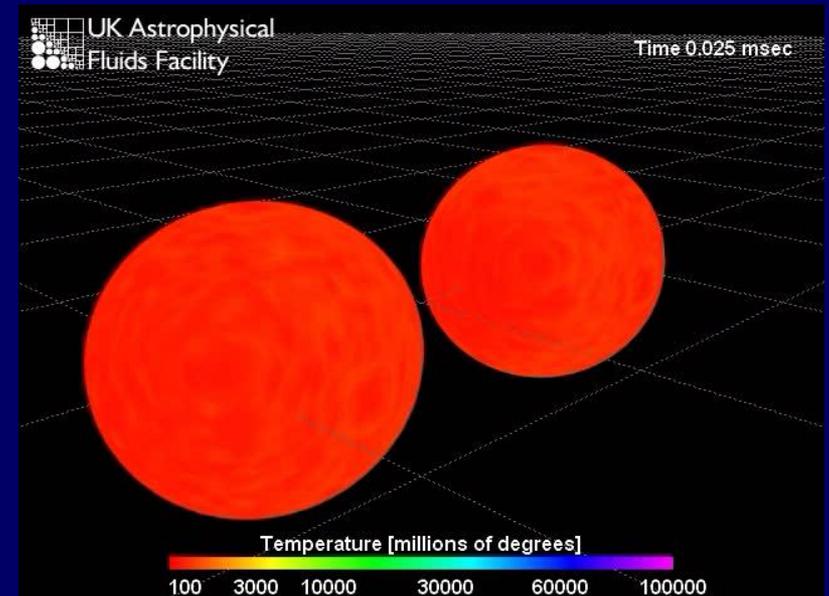
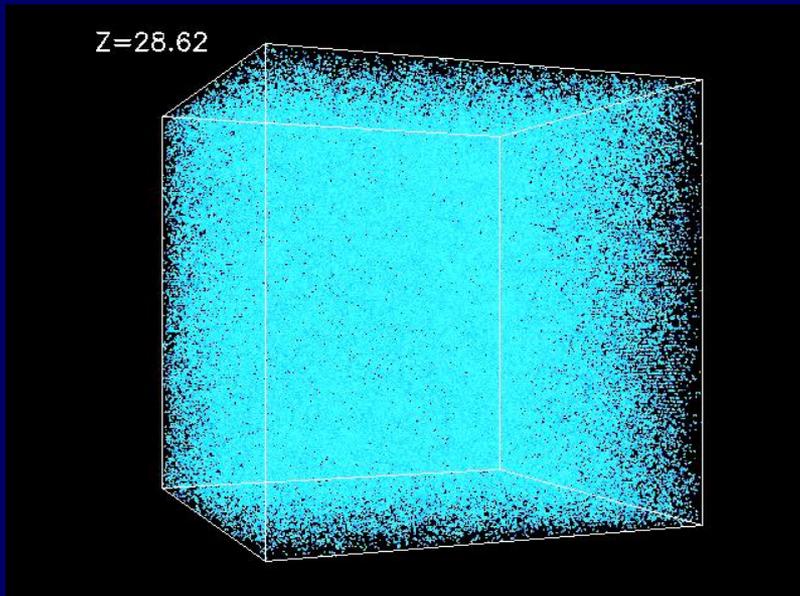
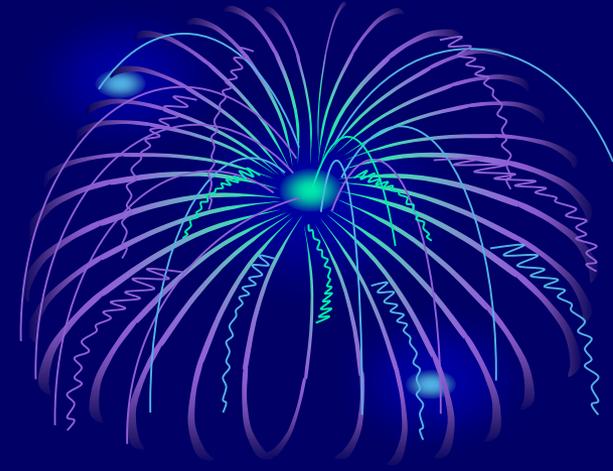


Большинство астрономов в мире
получили первую степень по физике

Факт 7

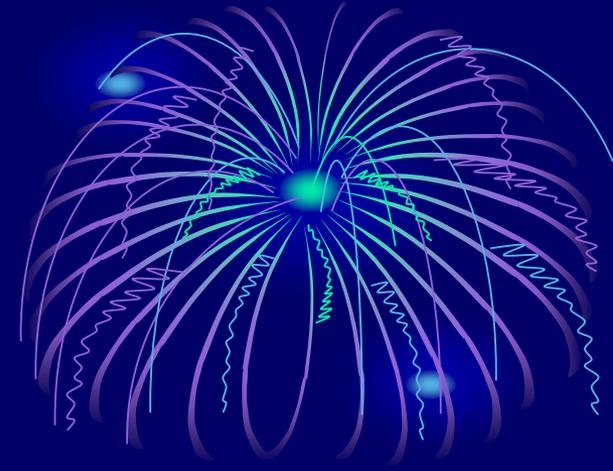
Астрономы считают на суперкомпьютерах

Многие астрономические задачи требуют колоссальных вычислительных ресурсов



Факт 8

**Основные результаты получают на
больших дорогих инструментах
коллективного конкурсного использования**



Giant Segmented Mirror Telescope
Миллиард долларов без аппаратуры

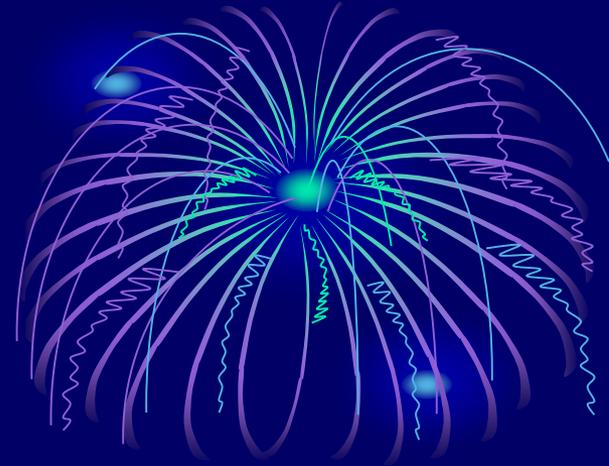


Wide Field Camera 3
132 млн. \$

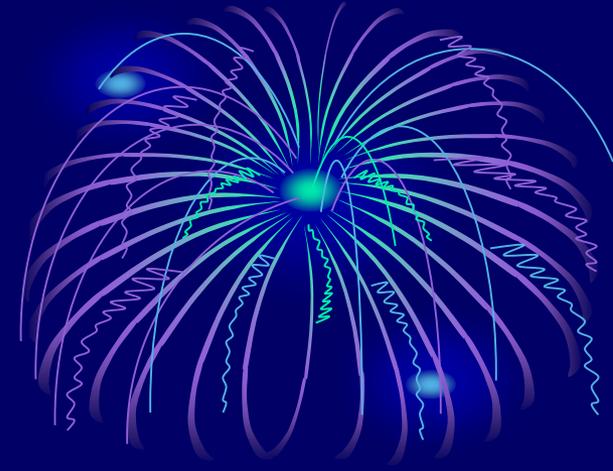
Факт 9

Многие данные открыты

- Крупные дорогие инструменты должны эффективно использоваться
- Элемент соревновательности повышает эффективность
- Необходима перепроверка важных результатов независимыми исследователями



Факт 10



Публикуется более 2000 оригинальных статей в месяц.

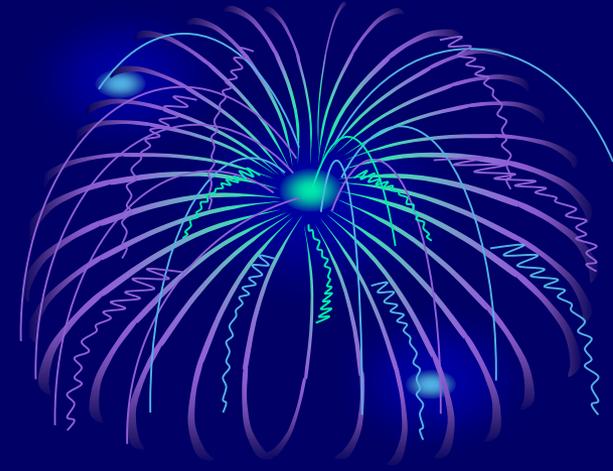
Астрономия переживает стадию бурного развития, во многом связанную с развитием и эффективным использованием наблюдательной техники.

Мы живем в очень интересное время ...



Вот только когда же все это читать?

Астрономия - ...

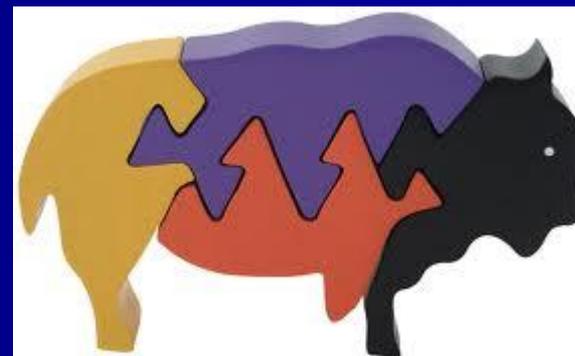
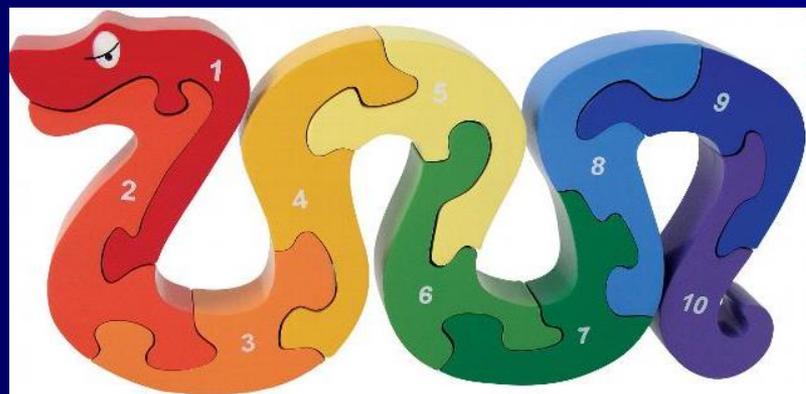
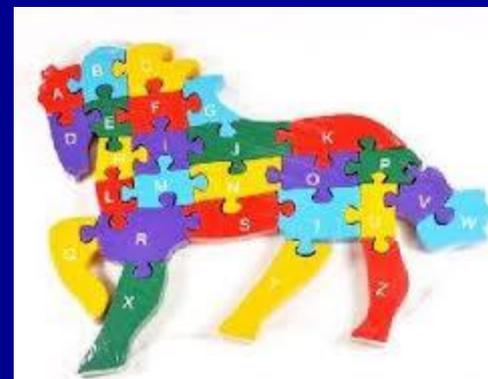
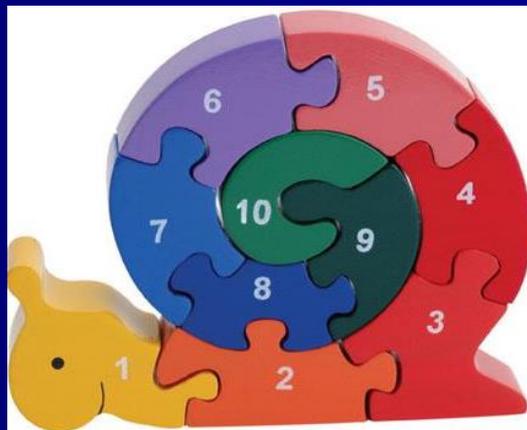


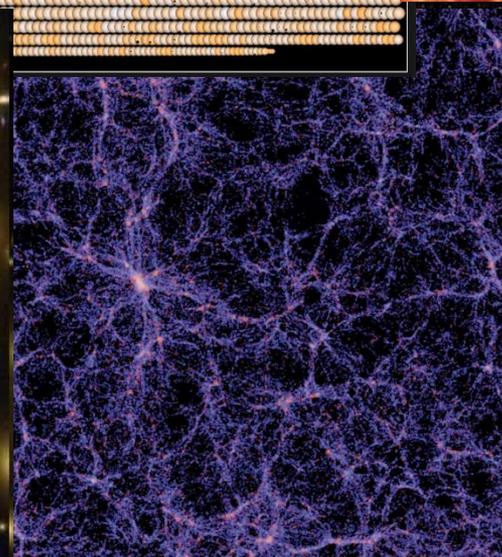
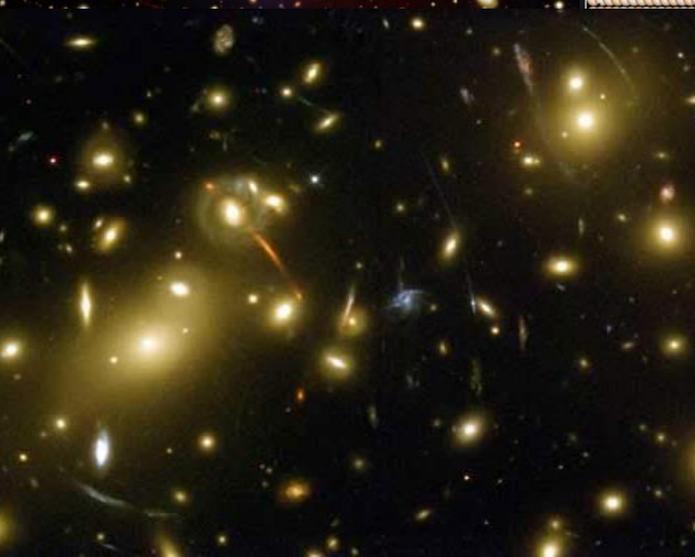
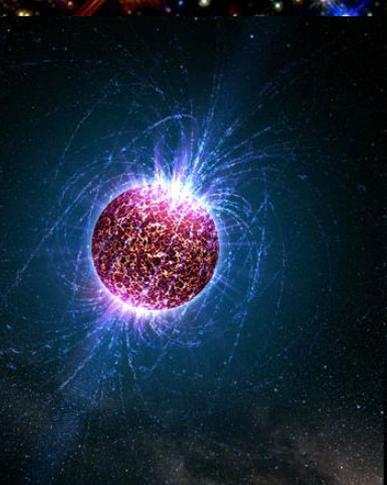
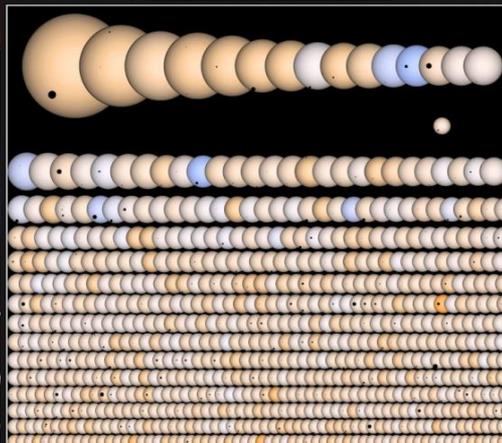
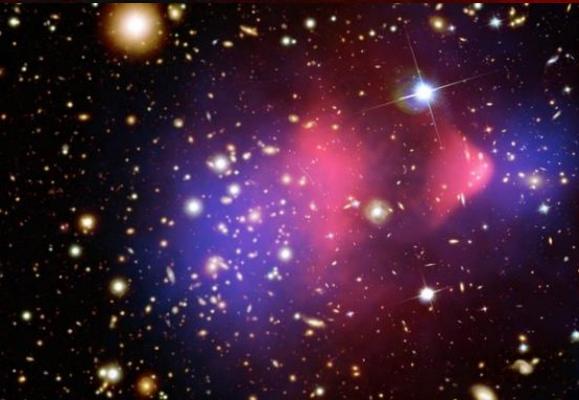
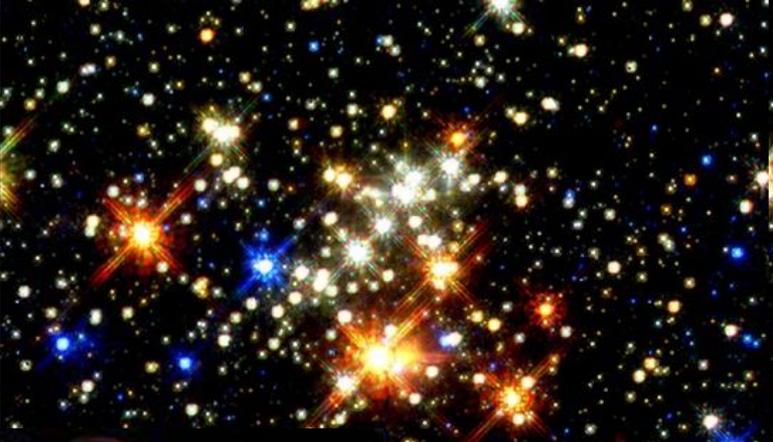
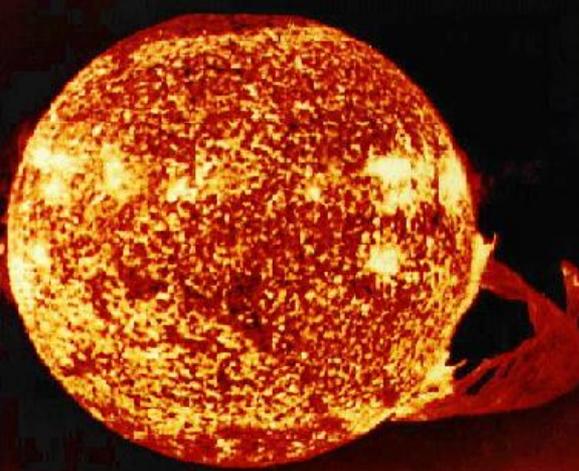
- Современная бурно развивающаяся наука
- Являющаяся в некотором смысле частью физики
- Проводит наблюдения по всем диапазонах спектра
- ... а также используя потоки частиц и гравитационные волны
- Строит одни из самых дорогих научных установок
- Активно применяет суперкомпьютеры для расчетов
- ... и обработки данных
- Пытается эффективно использовать данные, открывая их всем
- Производит огромный поток результатов

10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

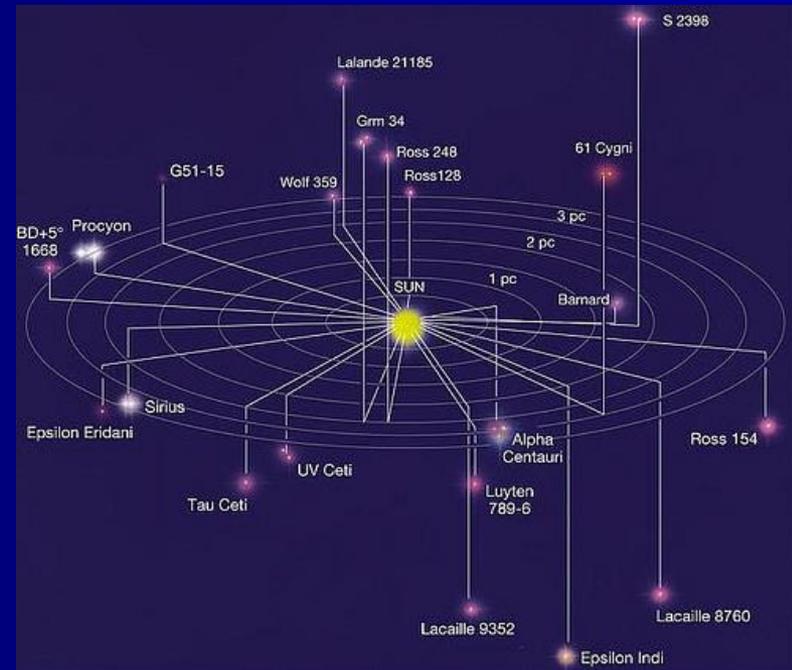
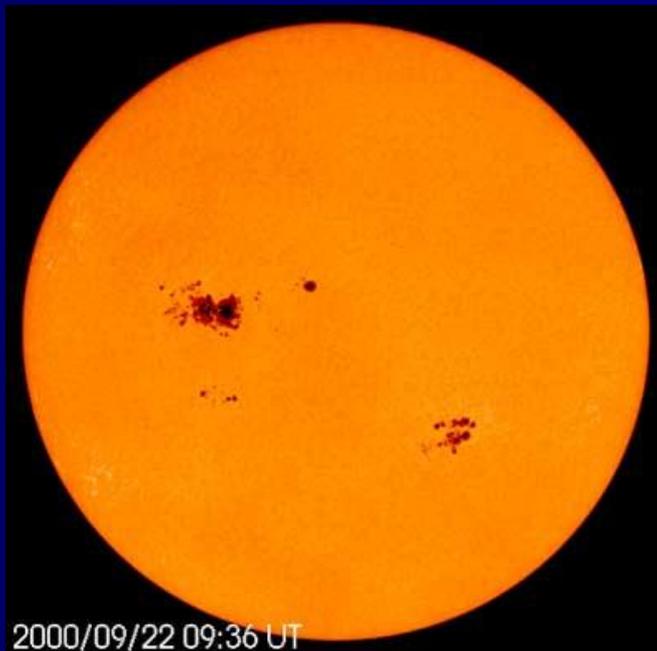
Хватит ли 10 элементов?





Факт 1: Солнце и звезды

Солнце – рядовая звезда (одна из примерно 400 миллиардов) на окраине нашей Галактики – системы из звезд и их остатков, межзвездного газа, пыли и темного вещества. Расстояния между звездами в Галактике обычно составляет несколько световых лет.

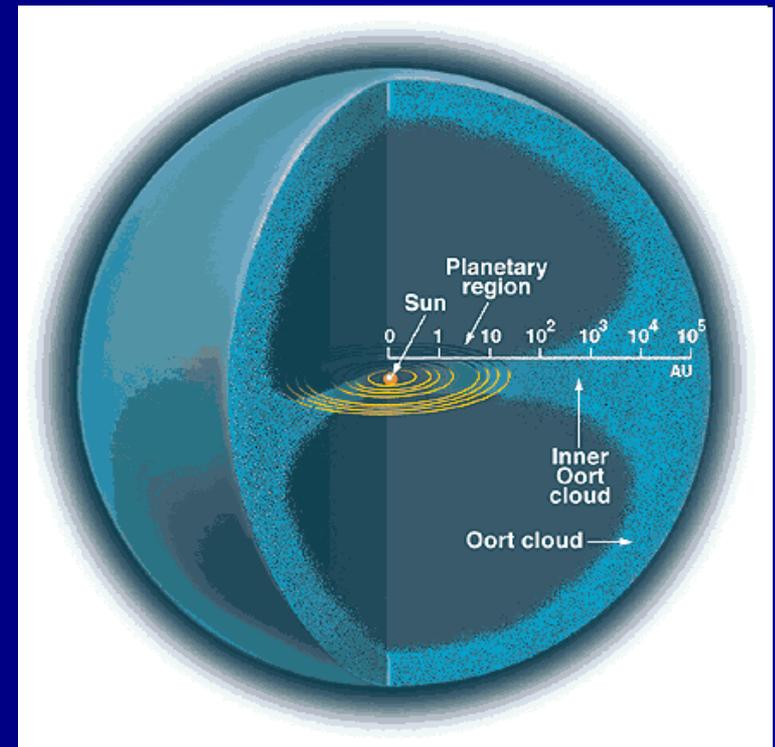
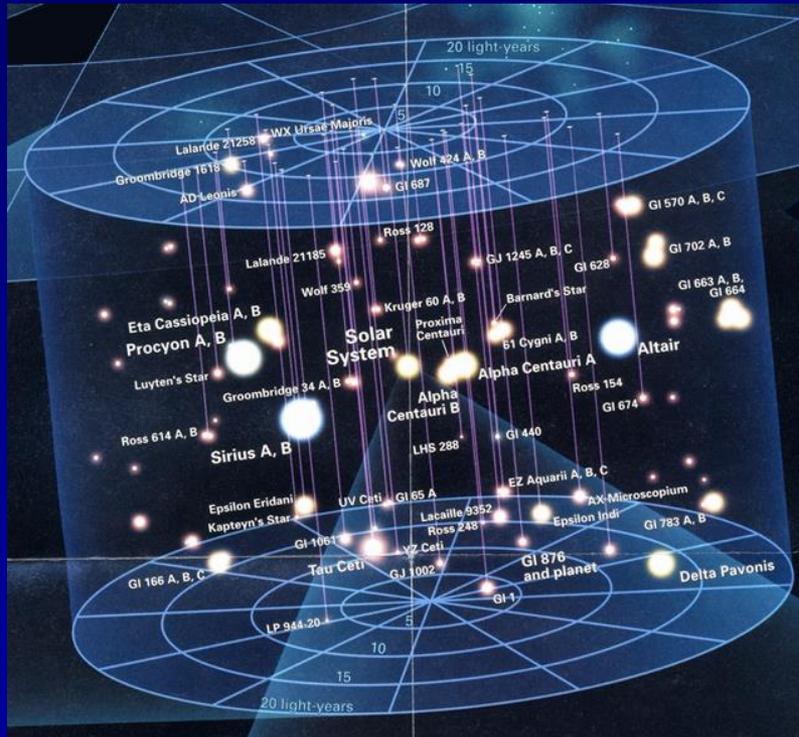


10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем (сфера Хилла).
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 2: Солнечная система

Солнечная система простирается за орбиту Плутона и заканчивается там, где гравитационное влияние Солнца сравнивается с влиянием близких звезд.



10 фактов о вселенной

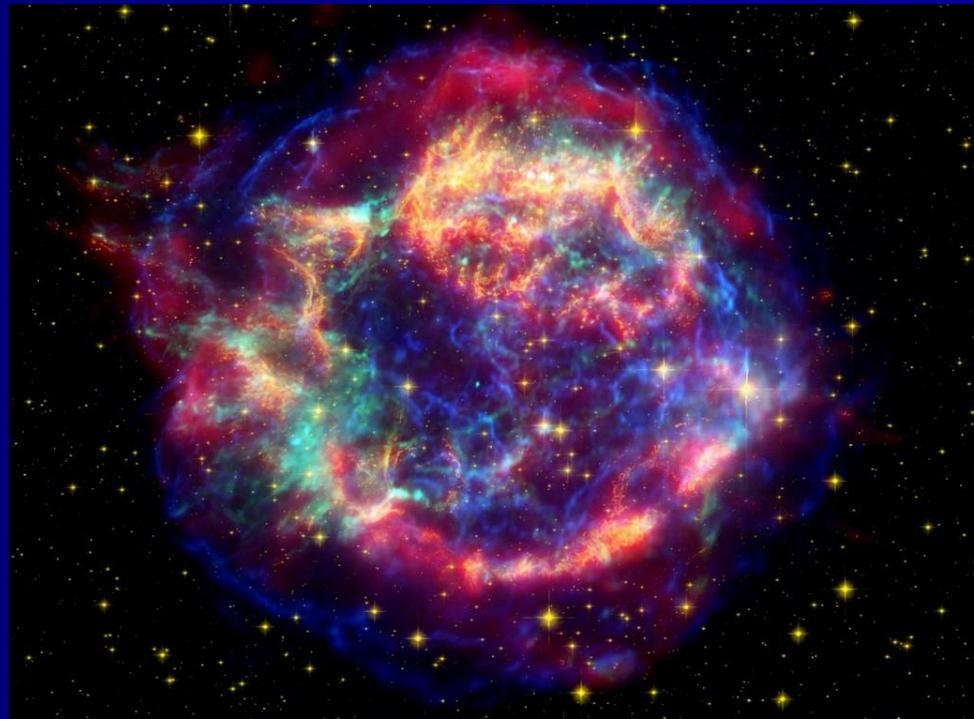
1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты. Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной. Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 3: химическая эволюция и звезды

Звезды образуются и в наши дни из межзвездного газа и пыли. В течение своей жизни и по ее окончании звезды сбрасывают часть своего вещества, обогащенного синтезированными элементами, в межзвездное пространство. Так в наши дни изменяется химический состав вселенной.



Вокруг света. Апрель 2008



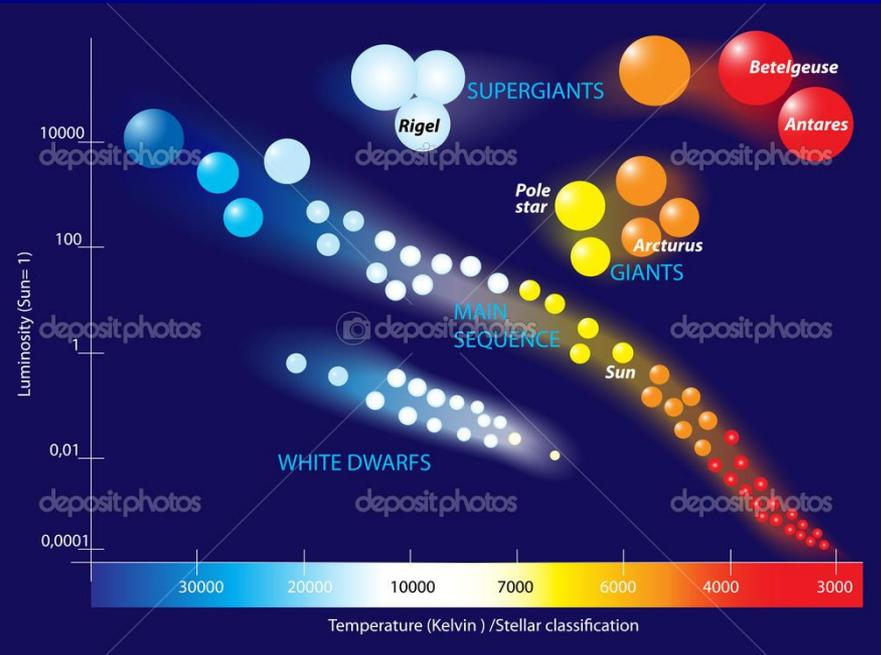
Звездная эволюция

Звезды рождаются и умирают.

Массивные звезды живут мало:
миллионы лет.

Самые легкие – живут долго:
десятки миллиардов лет.

Для звезды масса –
самый главный параметр.



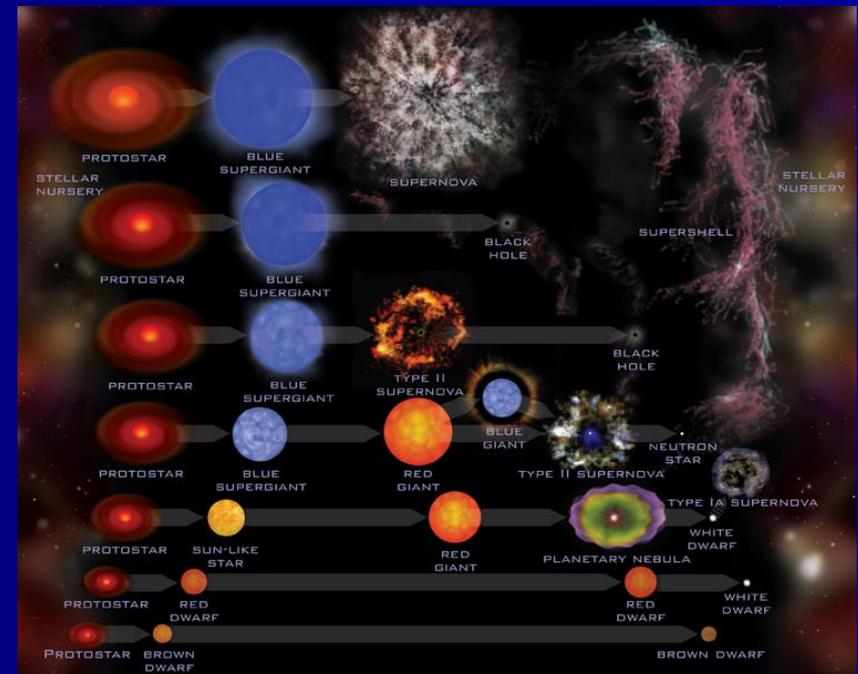
10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 4:

ЭВОЛЮЦИЯ СОЛНЦА И ЗВЕЗД

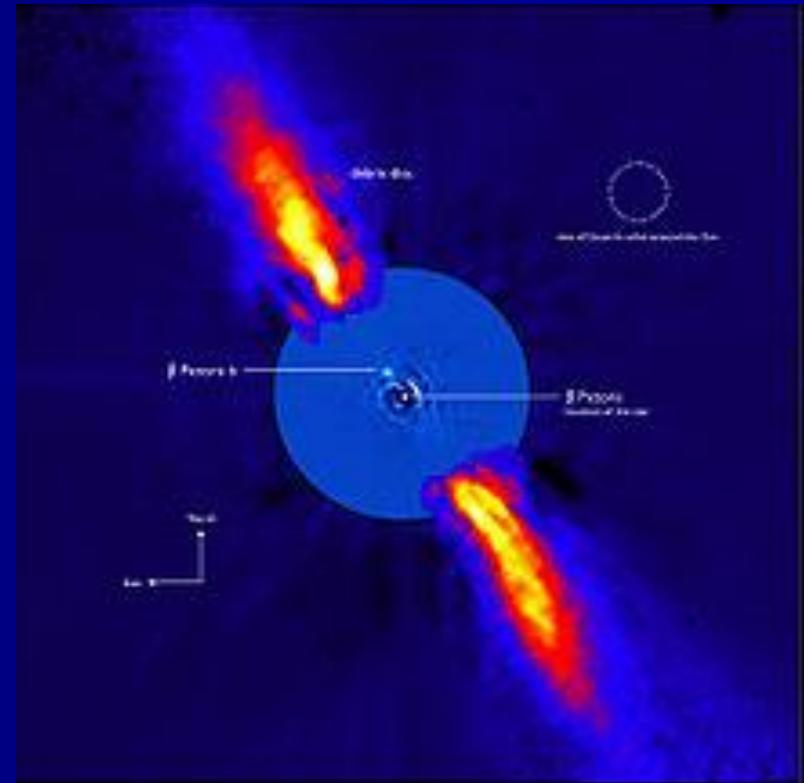
Солнце эволюционирует. Его возраст менее 5 миллиардов лет. Примерно через 5 миллиардов лет закончится водород в его ядре. Солнце превратится в красного гиганта, а затем - в белый карлик. Массивные звезды в конце жизни взрываются, оставляя нейтронную звезду или черную дыру.



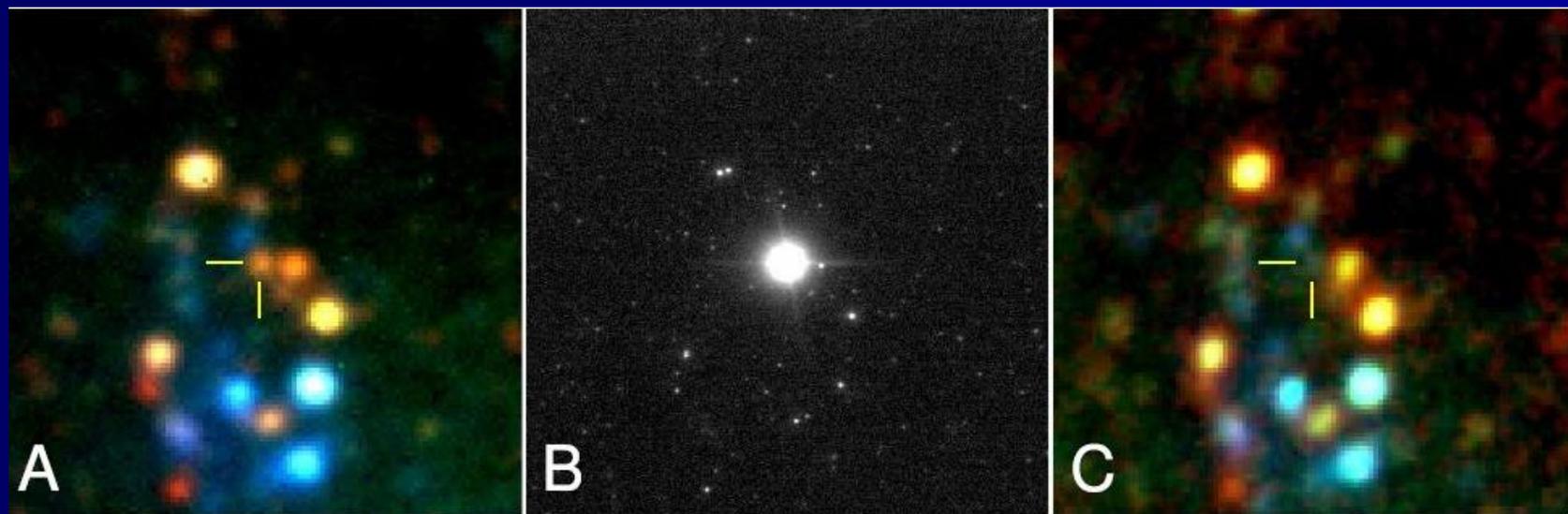
Образование звёзд



Мы видим звёзды разных возрастов. В том числе и молодые и только-только образующиеся на наших глазах.



Исчезновение красного сверхгиганта



сверхновая 2008bk

Тип II-P

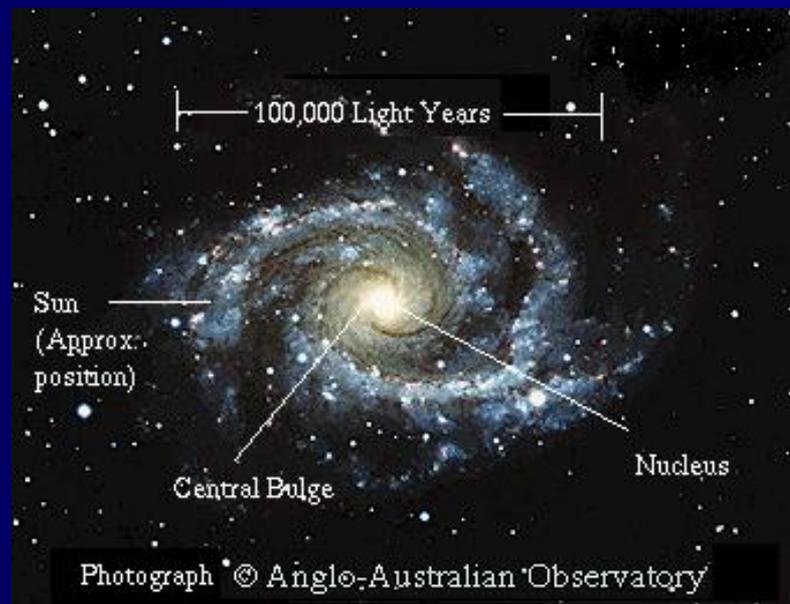
NGC 7793

10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты. Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной. Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 5: наша Галактика

Наша Галактика – одна из многих подобных систем.
В видимой части вселенной около 100 миллиардов крупных галактик.
Они окружены небольшими спутниками.
Размер галактики около 100 000 световых лет.
До ближайшей крупной галактики около 2.5 миллионов световых лет.





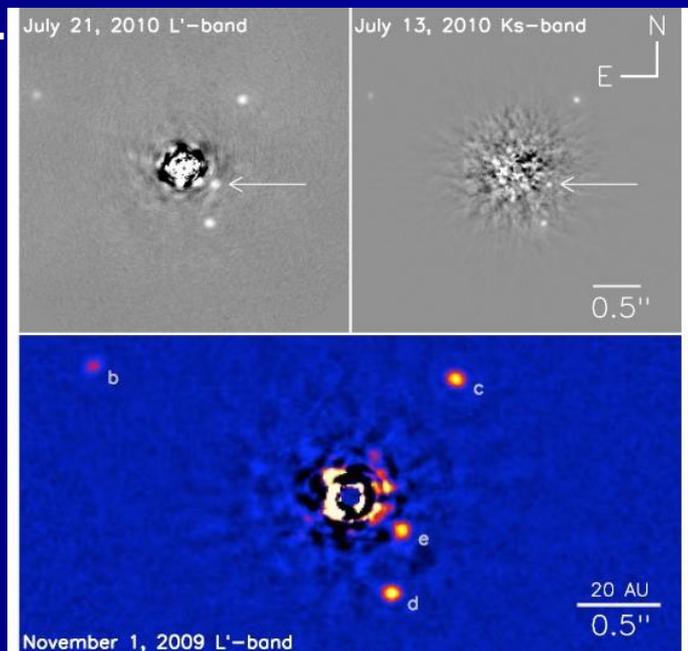
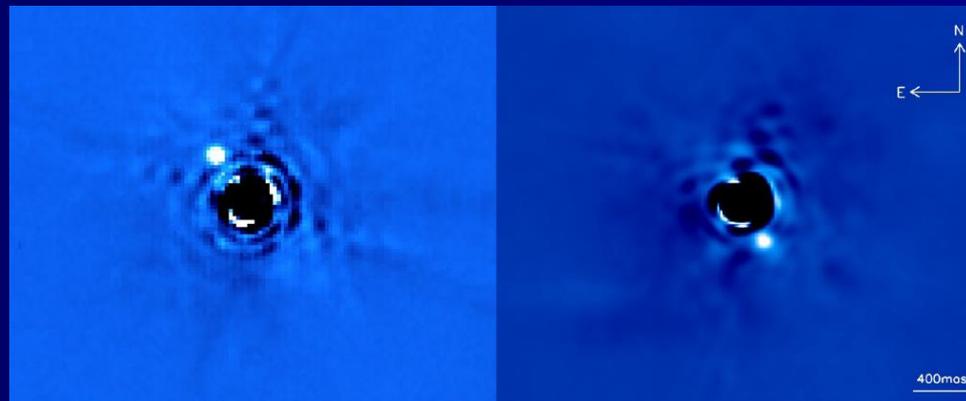
10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной. Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 6: экзопланеты

Планеты существуют не только вокруг Солнца, но и вокруг других звезд, их называют экзопланеты. Планетные системы не похожи друг на друга. Сейчас мы знаем более 2000 экзопланет + >20000 кандидатов. По всей видимости, многие звезды (>1/2) имеет планеты, но лишь малая часть может быть пригодна для жизни.

Первые экзопланеты были открыты в 90-е. Сюрпризом стало то, что многие системы не похожи на нашу. «Горячие юпитеры». Есть и планеты, которых нет у нас.



10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

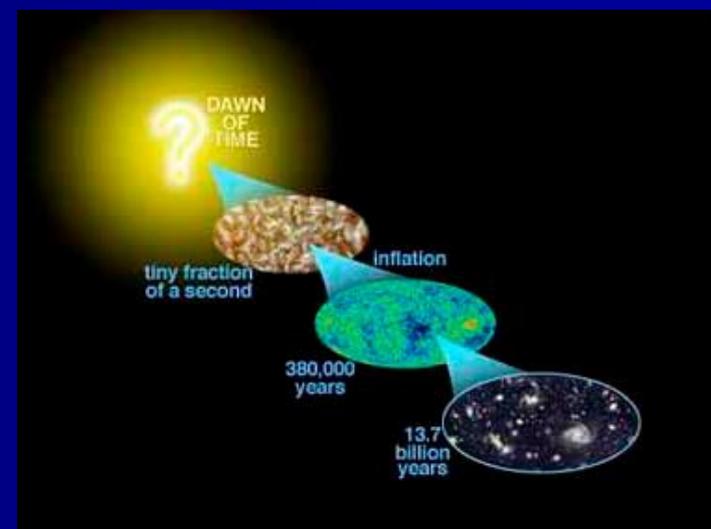
Факт 7: возраст вселенной

Мир, как мы его знаем, имеет конечный возраст – чуть менее 14 миллиардов лет.

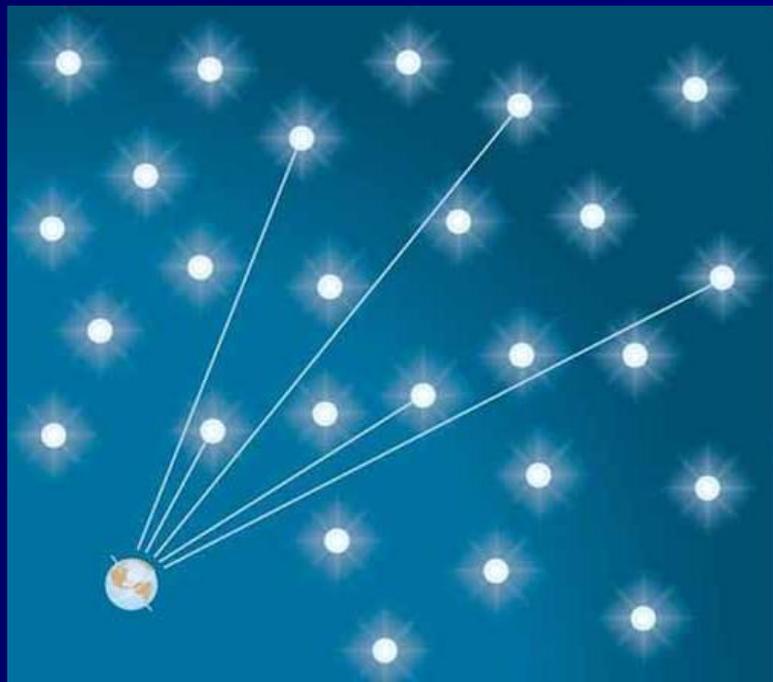
Вначале материя была в очень плотном и горячем состоянии. Частиц обычного вещества (протоны, нейтроны, электроны) не существовало.

Вселенная расширяется, эволюционирует.

В ходе расширения из плотного горячего состояния вселенная остывала и становилась менее плотной, появились обычные частицы. Затем возникли звезды, галактики.



Парадокс Ольберса



Значит, звёзды где-то «заканчиваются».

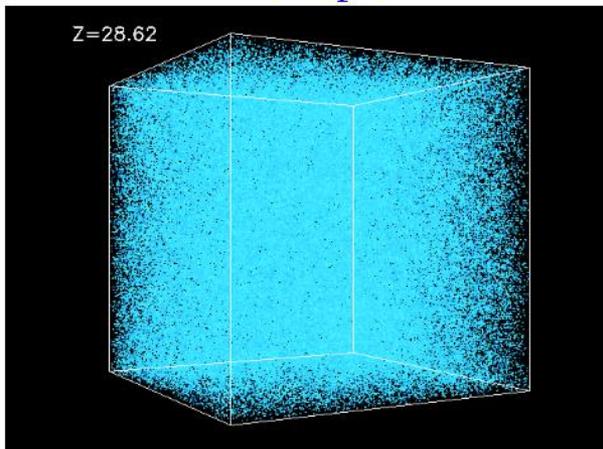
Мы смотрим в прошлое

Эволюция вселенной

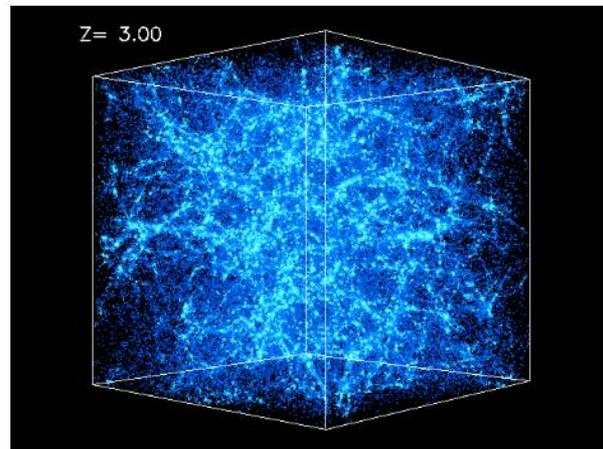
← 43 Мpc →

Λ CDM

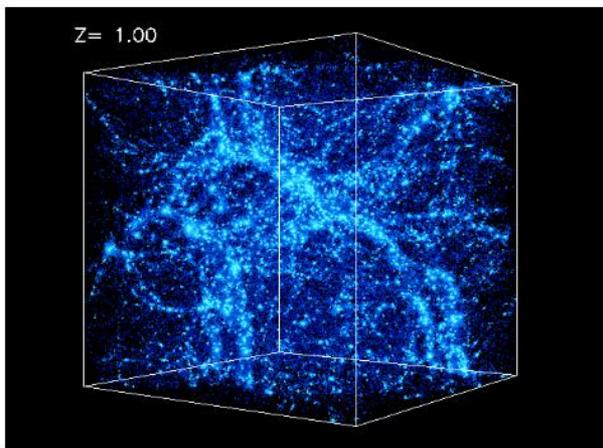
$Z=28.62$



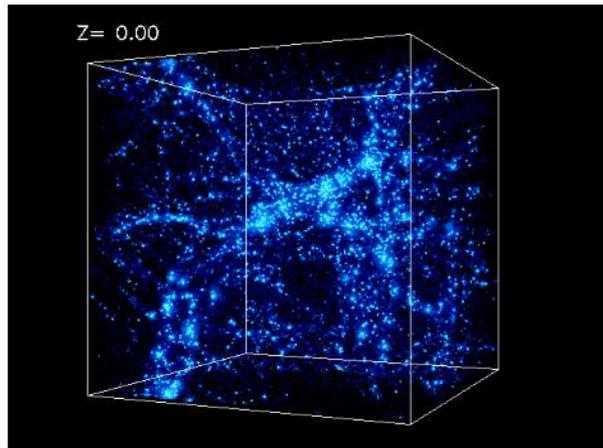
$Z=3.00$



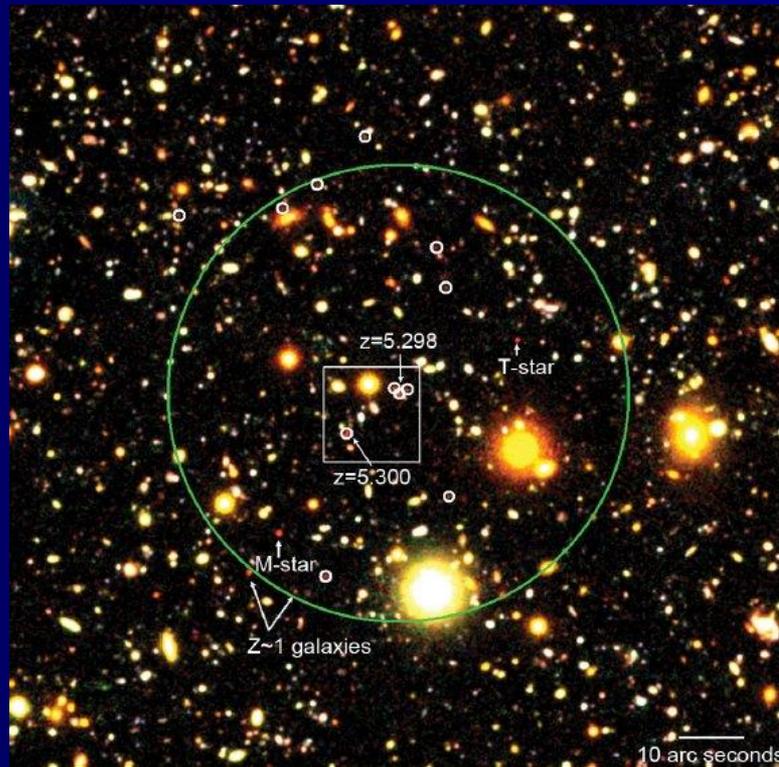
$Z=1.00$



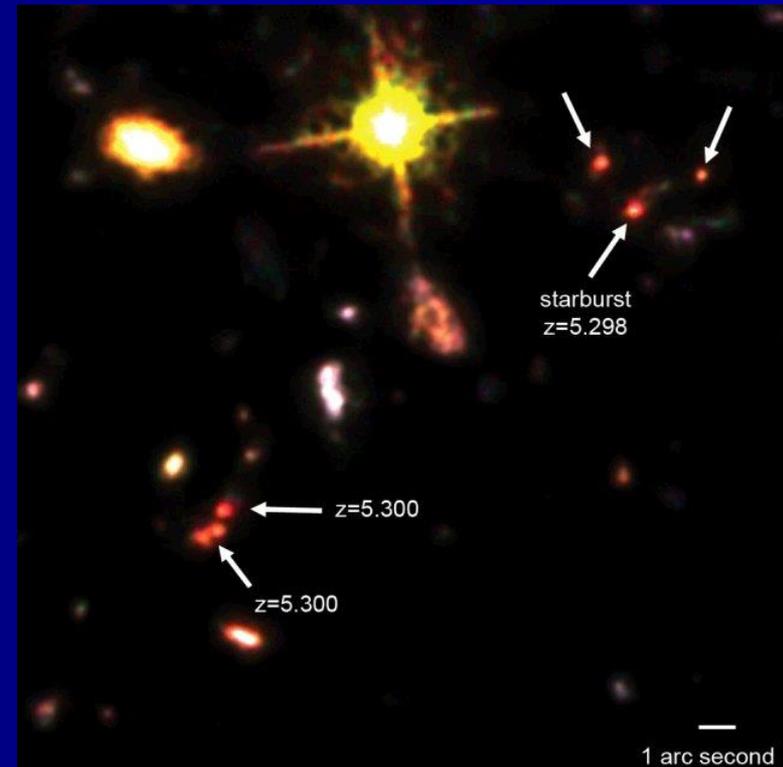
$Z=0.00$



Далекое протоскопление галактик



Z=5.3

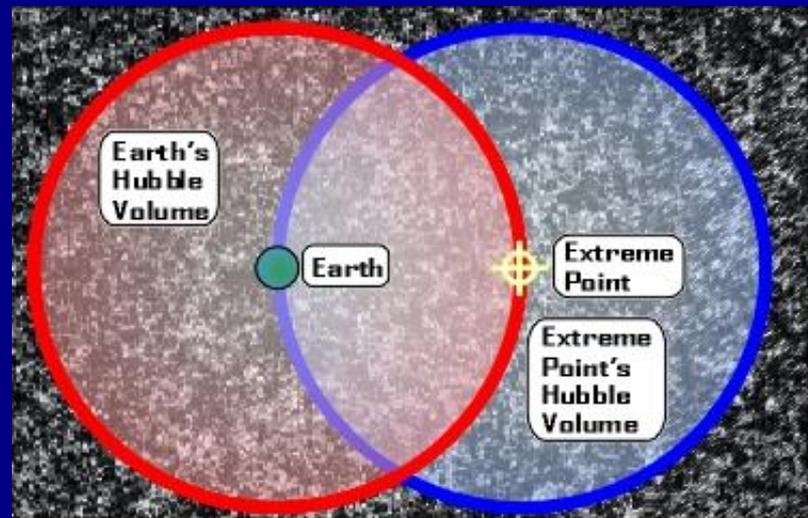
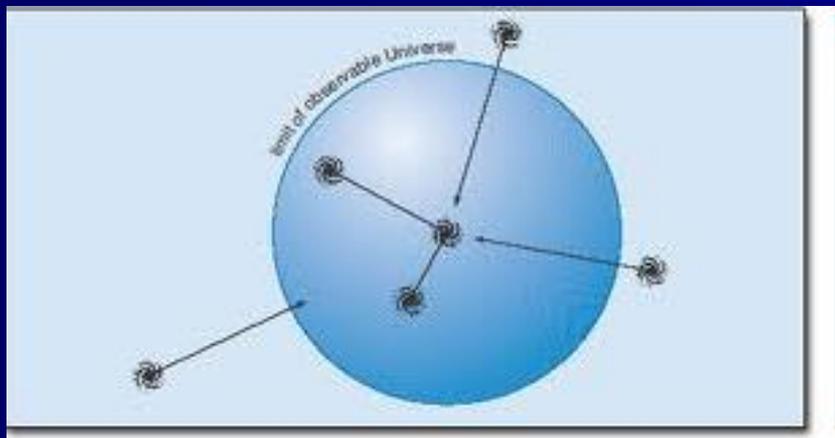


10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 8: «размер вселенной» и «взгляд в прошлое»

Из-за конечности скорости света и конечного возраста наблюдаемой вселенной нам доступна для наблюдений лишь конечная область пространства, но на этой границе физический мир не заканчивается. На больших расстояниях из-за конечности скорости света мы видим объекты такими, какими они были в далеком прошлом.



10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

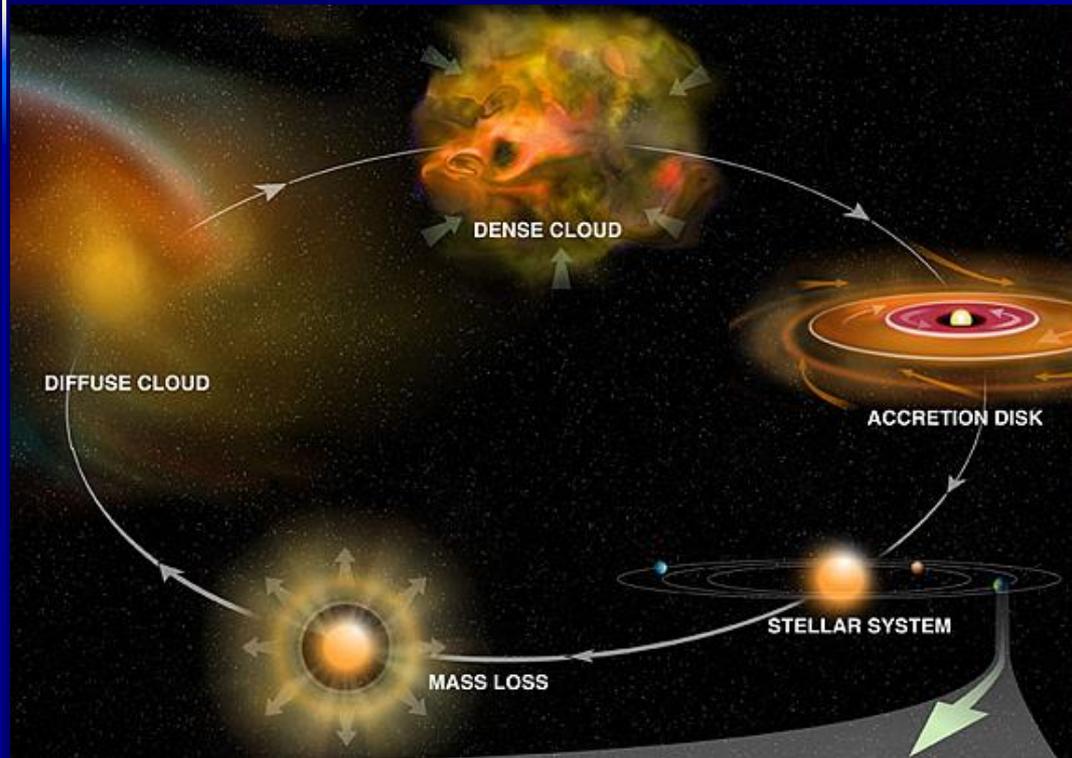
Факт 9: возникновение элементов во Вселенной

Большинство химических элементов, с которыми мы сталкиваемся в жизни (и из которых состоим), возникли в звездах в течение их жизни в результате термоядерных реакций, или на последних стадиях жизни массивных звезд – во взрывах сверхновых.

До образования звезд обычное вещество в основном существовало в виде водорода (самый распространенный элемент) и гелия.

H																			He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra																		
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Крошки на пиру ГИГАНТОВ



Химическая эволюция приводит к тому, что тяжелых элементов становится все больше.

Поэтому у новых поколений звёзд другой состав.

Из «остатков» вещества при образовании звёзд могут образовываться планеты, а на планетах ...

Мы все из звёздного вещества

10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Факт 10: состав вселенной

Обычное вещество вносит вклад в полную плотность вселенной лишь порядка несколько процентов.

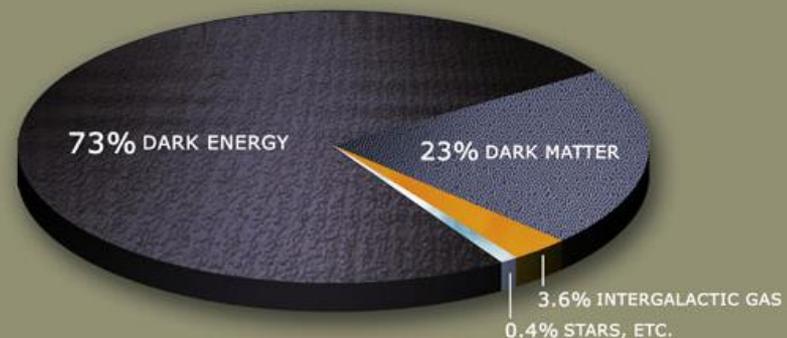
Около четверти плотности вселенной связано с темным веществом. Оно состоит из частиц, слабо взаимодействующих друг с другом и с обычным веществом.

Мы пока наблюдаем лишь гравитационное действие темного вещества.

Около 70 процентов плотности вселенной связано с темной энергией.

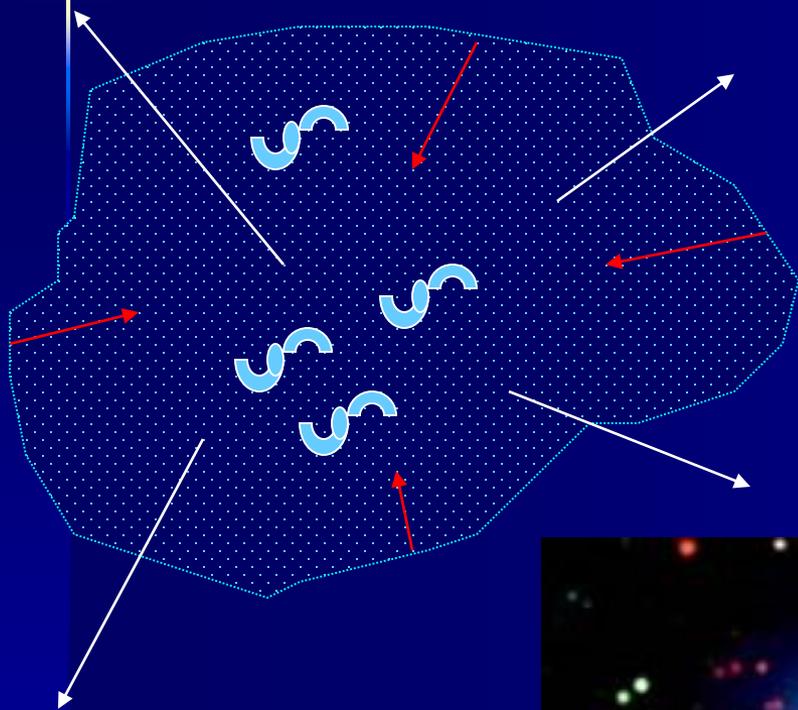
Из-за нее расширение вселенной идет все быстрее.

Природа темной энергии неясна.

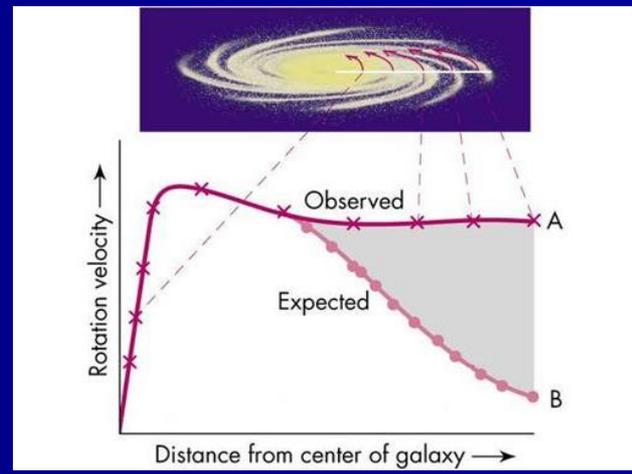


Темное вещество

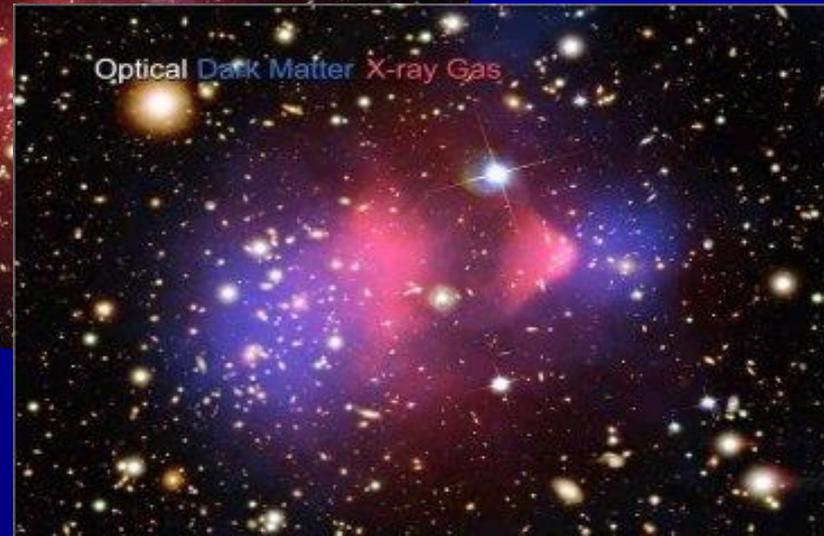
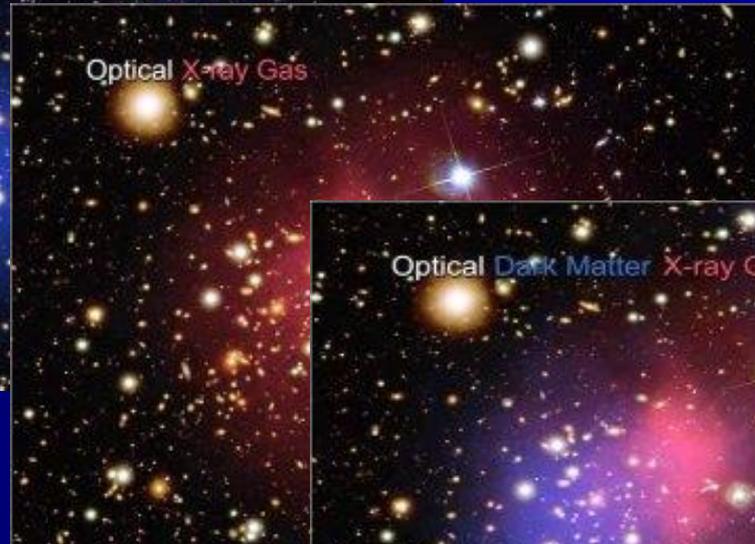
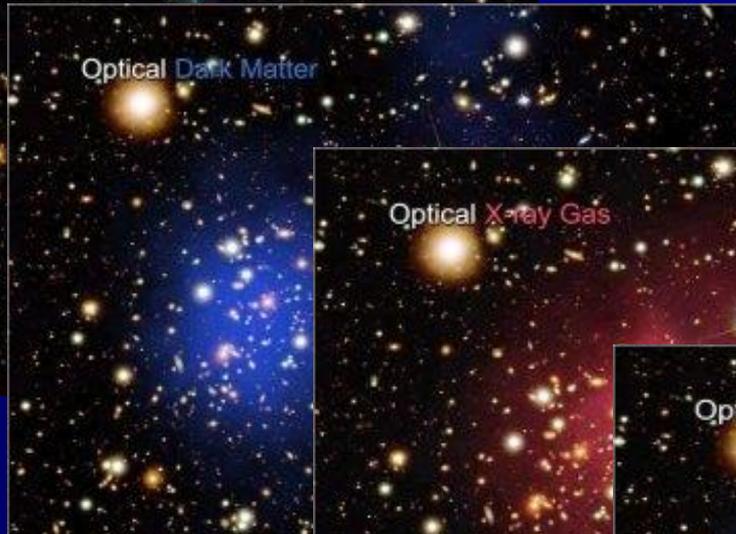
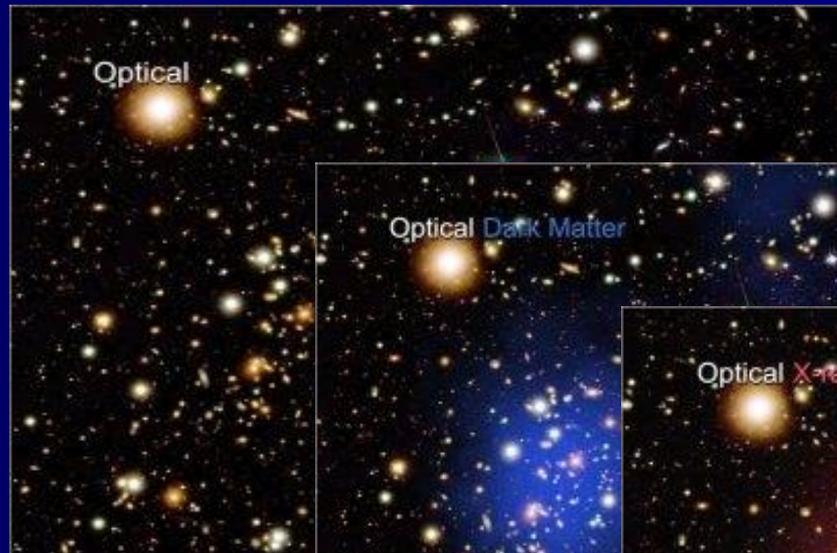
Сама идея появилась в 30-гг. благодаря работам Фрица Цвикки.



Подсчет массы видимого вещества в скоплениях галактик показывал, что его недостаточно для того, чтобы галактики и газ не разлетелись.



Темное вещество

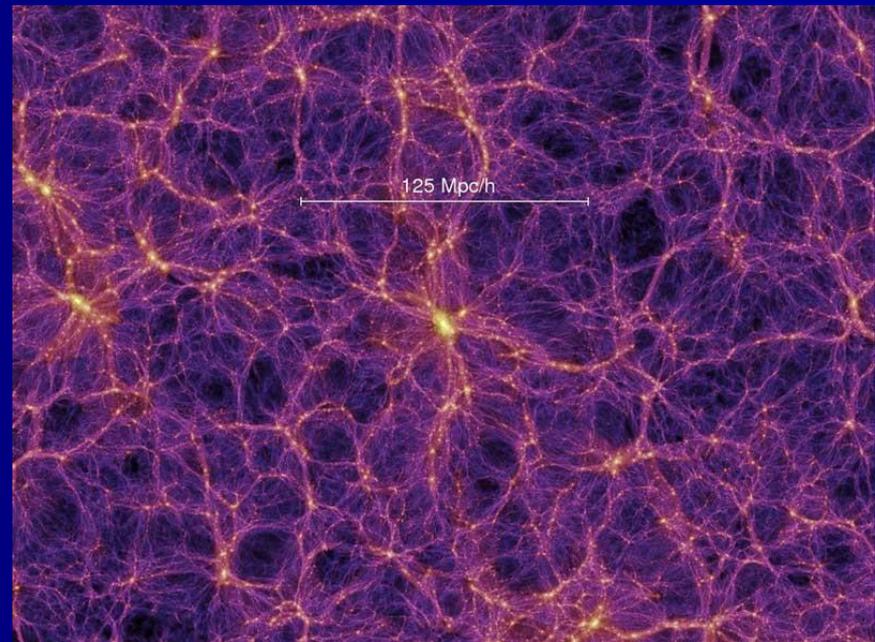


Сталкивающиеся скопления галактик
1E 0657-56 (Bullet cluster)

Скелет вселенной

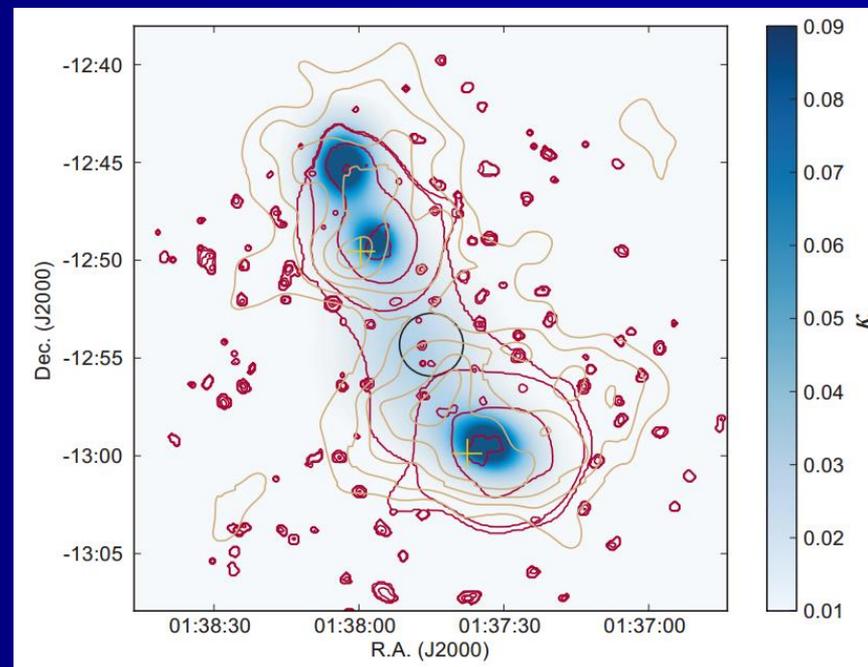
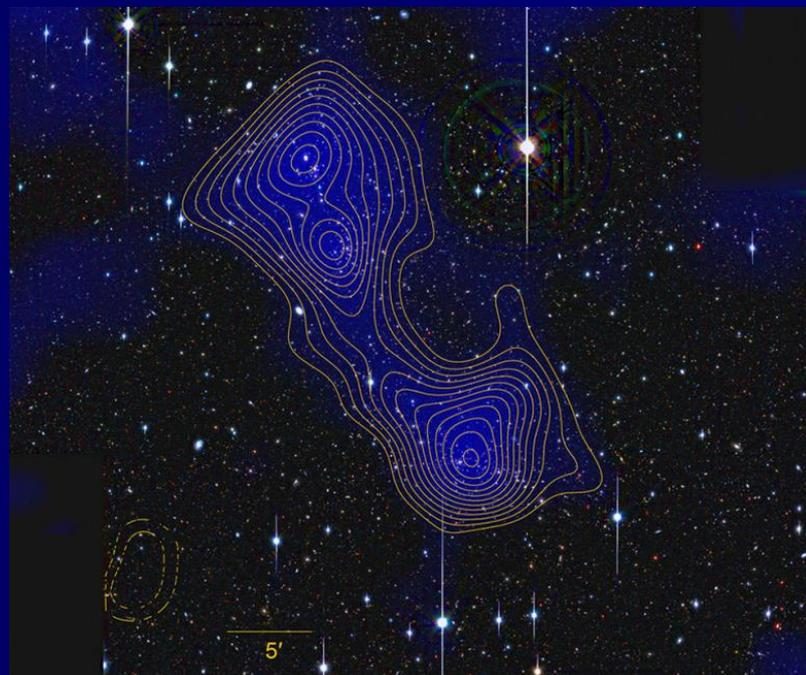
Крупномасштабная структура формируется в основном темным веществом. Но видим мы галактики, их скопления, горячий газ – т.е., обычное вещество.

Как увидеть сам скелет вселенной?



Волокно темного вещества

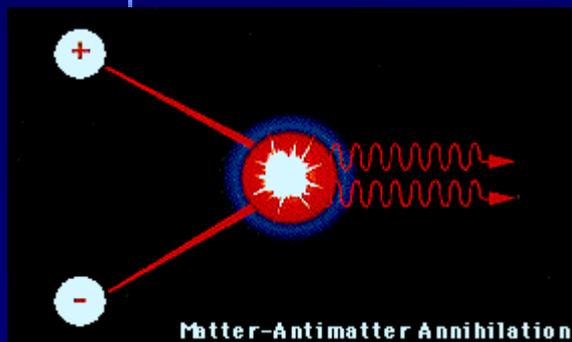
Скопления A222/223. $z \sim 0.2$ Между скоплениями 18 Мпк.
Распределение массы восстанавливается по линзированию.
Массы газа не хватит для объяснения массы волокна.



Много нового о скоплениях галактик удастся узнать
с помощью российского проекта Спектр-Рентген-Гамма

Поиск темной материи

Галактика



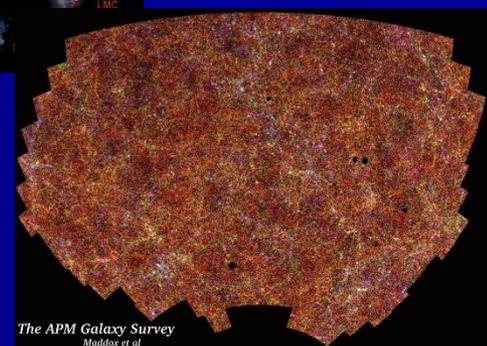
Можно искать гамма-лучи от аннигиляции частиц темного вещества

Такие исследования активно ведутся с помощью обсерватории имени Ферми.

Близкие галактики



Фон от далеких галактик



Темная энергия

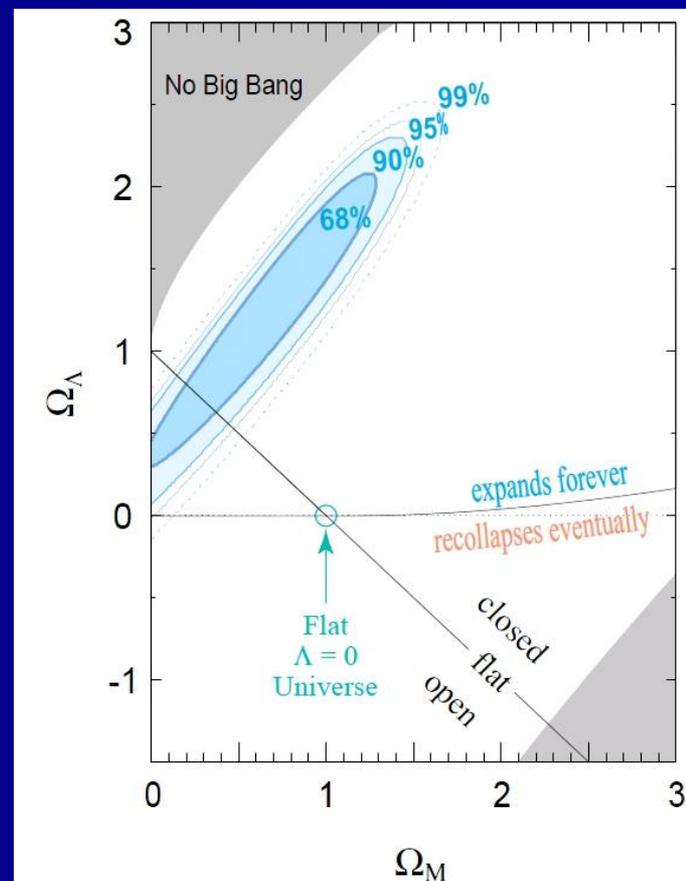
Свидетельства в пользу ускоренного расширения вселенной видны по самым разным данным:

- сверхновые,
- реликтовое излучение,
- крупномасштабная структура

Данные по сверхновым на плоскости «вклад темной энергии – вклад обычного вещества».

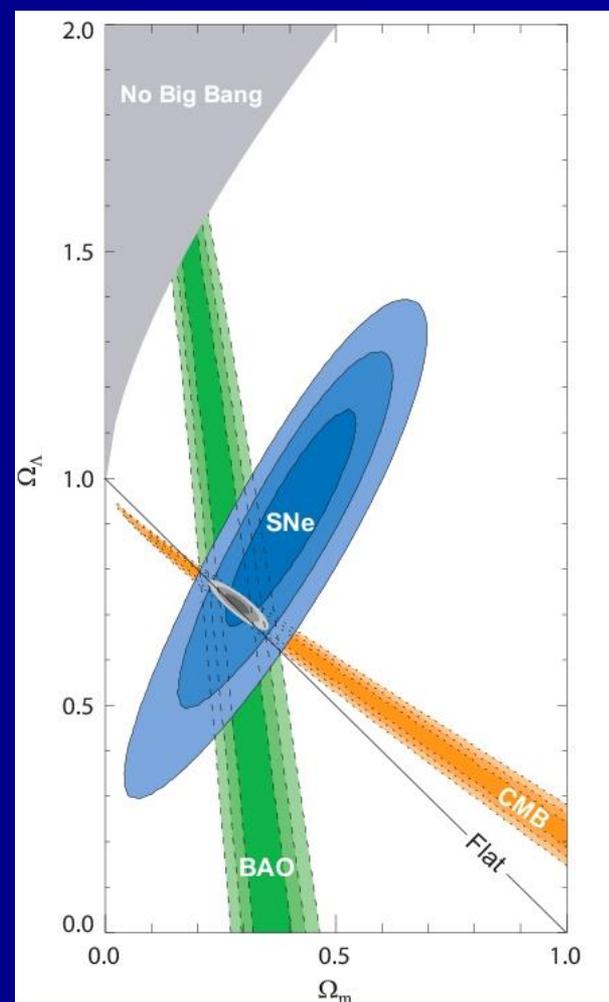
Отмечены области, соответствующие вечному расширению (в предположении о том, что темная энергия – это космологическая постоянная) и смене расширения сжатием. Нарисована линия, соответствующая плоской вселенной. Видно, что на уровне достоверности выше 90 процентов модель без темной энергии не проходит.

Из работы Perlmutter et al. 1999



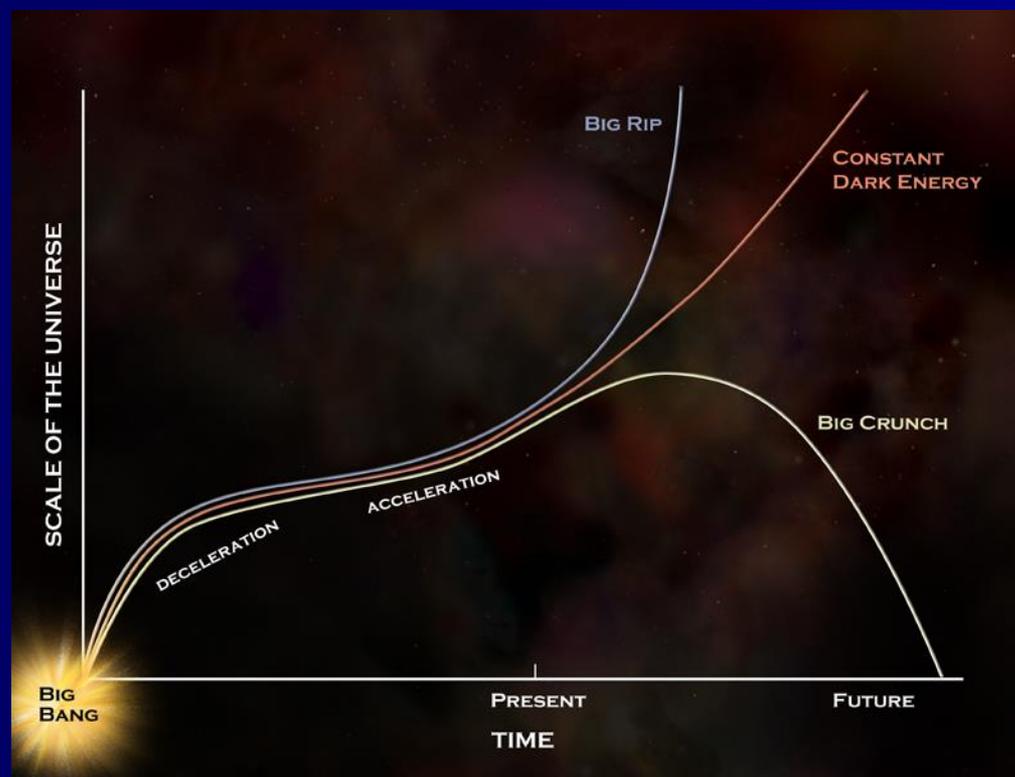
Современные данные

Современные данные о вкладе обычного вещества (включая темное) и темной энергии. Синим показаны данные по сверхновым. Оранжевым – данные по реликтовому излучению. Зеленым – по т.н. барионным акустическим осцилляциям, связанным с данными наблюдений крупномасштабного распределения галактик. Выделено пересечение трех наборов данных. Тонкая линия соответствует плоской вселенной (плотность равна критической). Для темной энергии использовалось предположение, что она является космологической постоянной.



Судьба вселенной

Мы можем изучать только отрезок истории вселенной.
Предсказание будущего требует экстраполяции



Темная энергия:

- вакуум
- легкое поле
 - квинтэссенция
 - фантом
- ... что-то еще? ...

От этого зависит
судьба вселенной

Но еще многие миллиарды
лет все будет примерно
также 😊

10 фактов о вселенной

1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни они превращаются в белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры.
5. Наша Галактика – одна из многих. Ее размер – 100 000 св. лет. До ближайших крупных галактик – миллионы световых лет.
6. Многие звезды имеют планеты. Это экзопланеты.
Сейчас мы знаем сотни экзопланет.
7. Вселенная расширяется последние 13-14 миллиардов лет.
8. Нам доступна для наблюдений конечная часть вселенной.
Далекие объекты мы видим «в прошлом».
9. Химические элементы тяжелее гелия в основном возникли в звездах и при взрывах сверхновых.
10. Вселенная состоит из обычного вещества (5%), темного вещества (25%) и темной энергии (70%)

Вот и все!



ВСЕЛЕННАЯ

Краткий путеводитель по пространству и времени: от Солнечной системы до самых далеких галактик и от Большого взрыва до будущего Вселенной

СЕРГЕЙ ПОПОВ

Ученый и популяризатор науки, доктор физико-математических наук, профессор РАН и лауреат премии «За верность науке» 2015 года



Вопросы

- ЖЖ: sergepolar.livejournal.com
- ВК: <https://vk.com/id6382040>

Статьи и видео

- http://xray.sai.msu.ru/~polar/sci_rev/pop2/popov/

Регулярные новости

- http://xray.sai.msu.ru/~polar/sci_rev/current.html

Столкновение скоплений галактик

