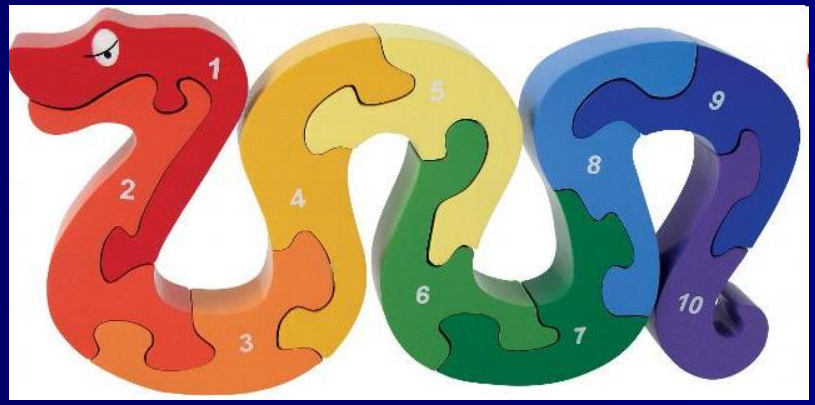
Вся астрофизика за час

Сергей Попов
ГАИШ МГУ

10 фактов о вселенной

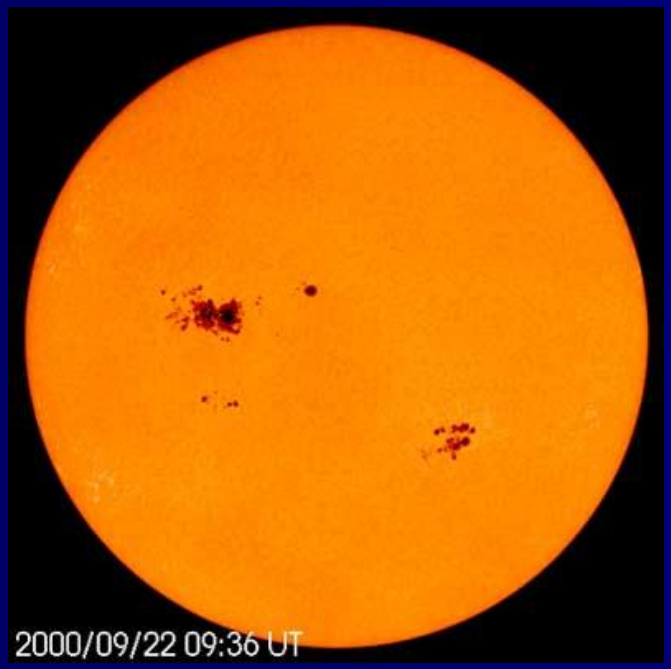
1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
   Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни 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%)

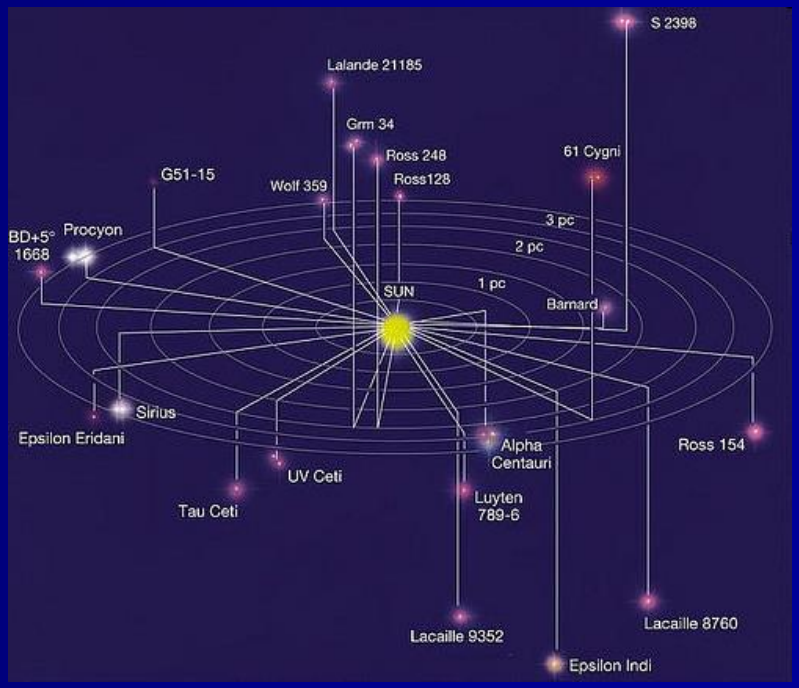
Хватит ли 10 элементов?



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.



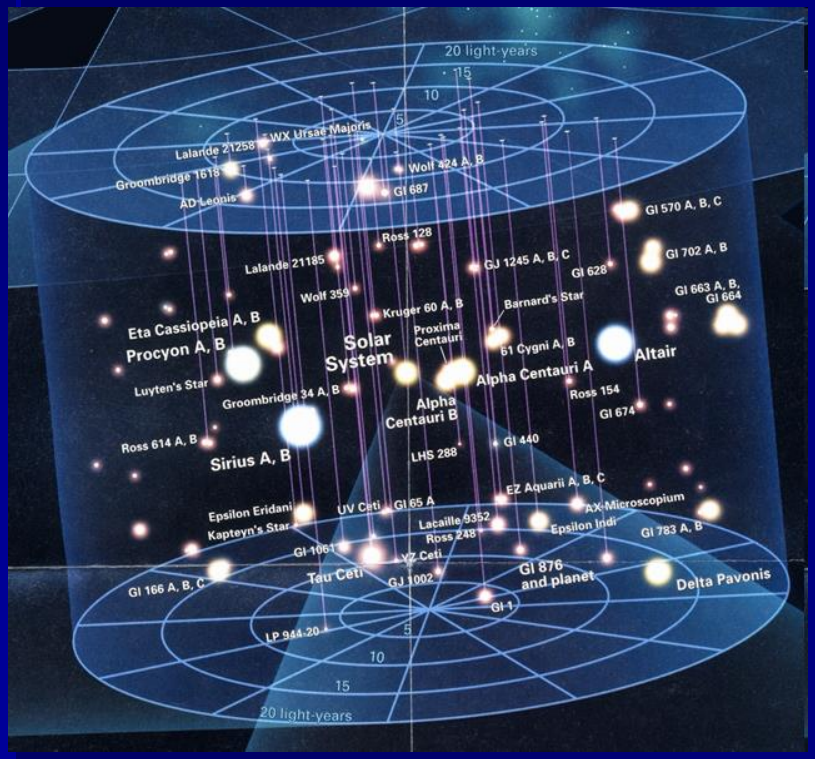


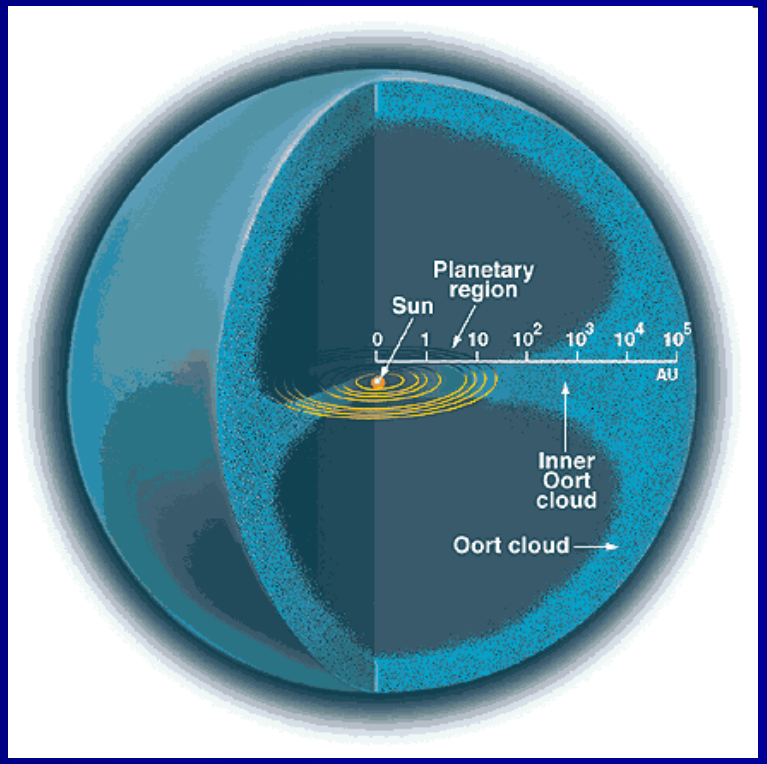
10 фактов о вселенной

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.





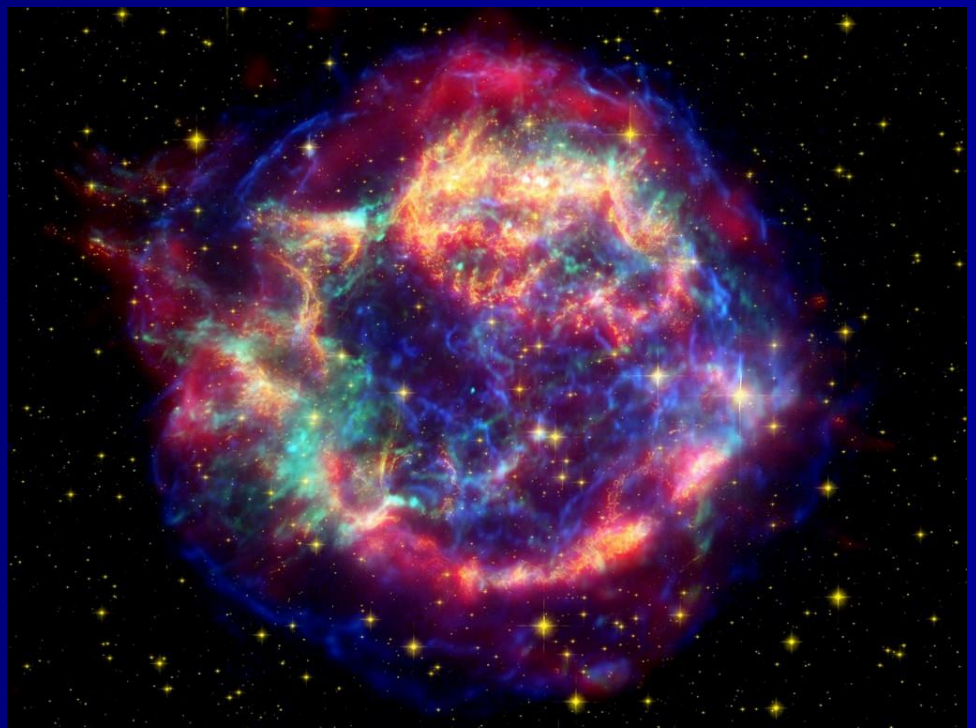
10 фактов о вселенной

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



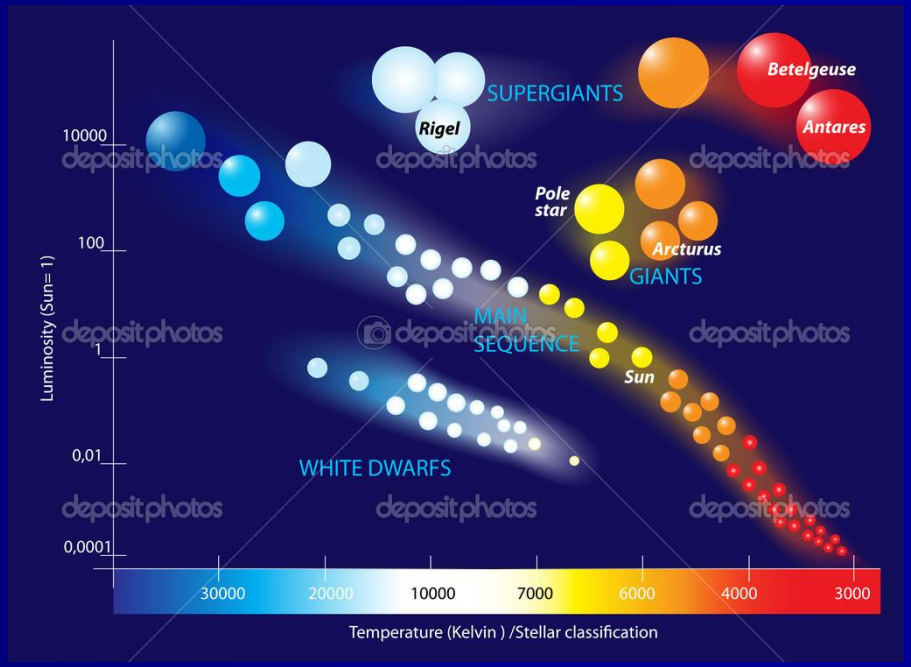
Звездная эволюция

Звезды рождаются и умирают.

Массивные звезды живут мало: миллионы лет.

Самые легкие – живут долго: десятки миллиардов лет.

Для звезды масса – самый главный параметр.

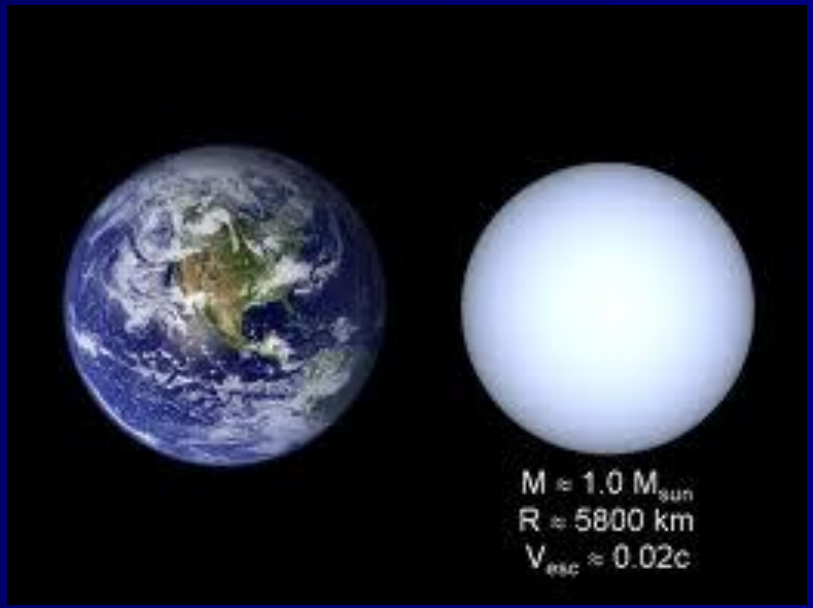


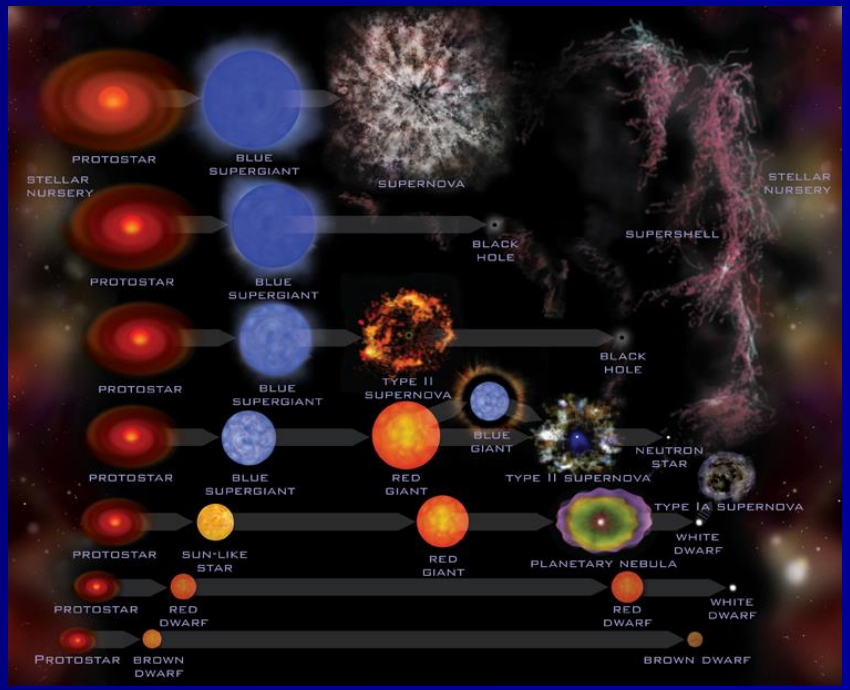
10 фактов о вселенной

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.

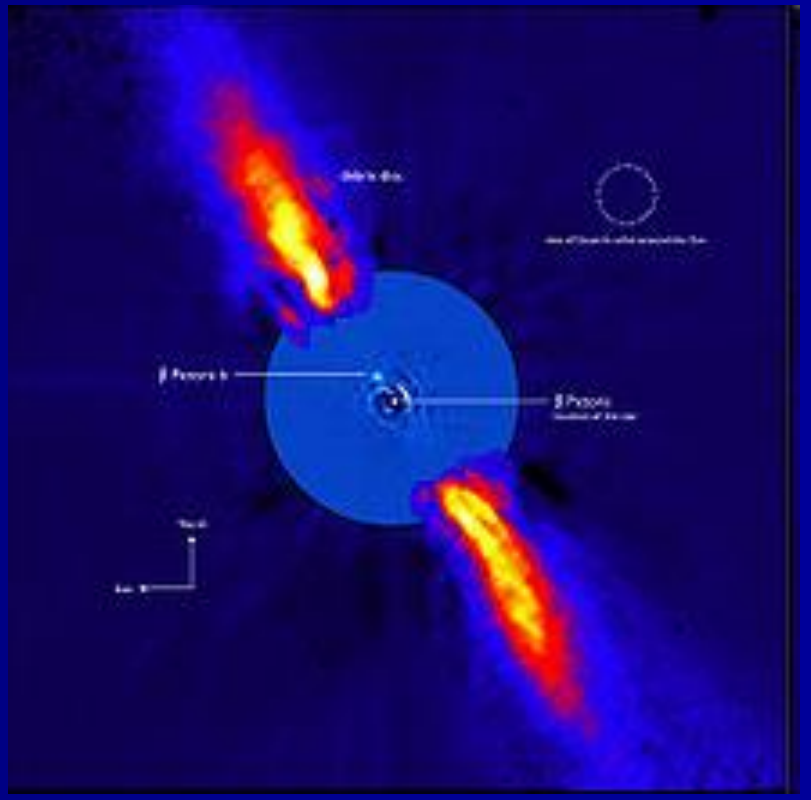




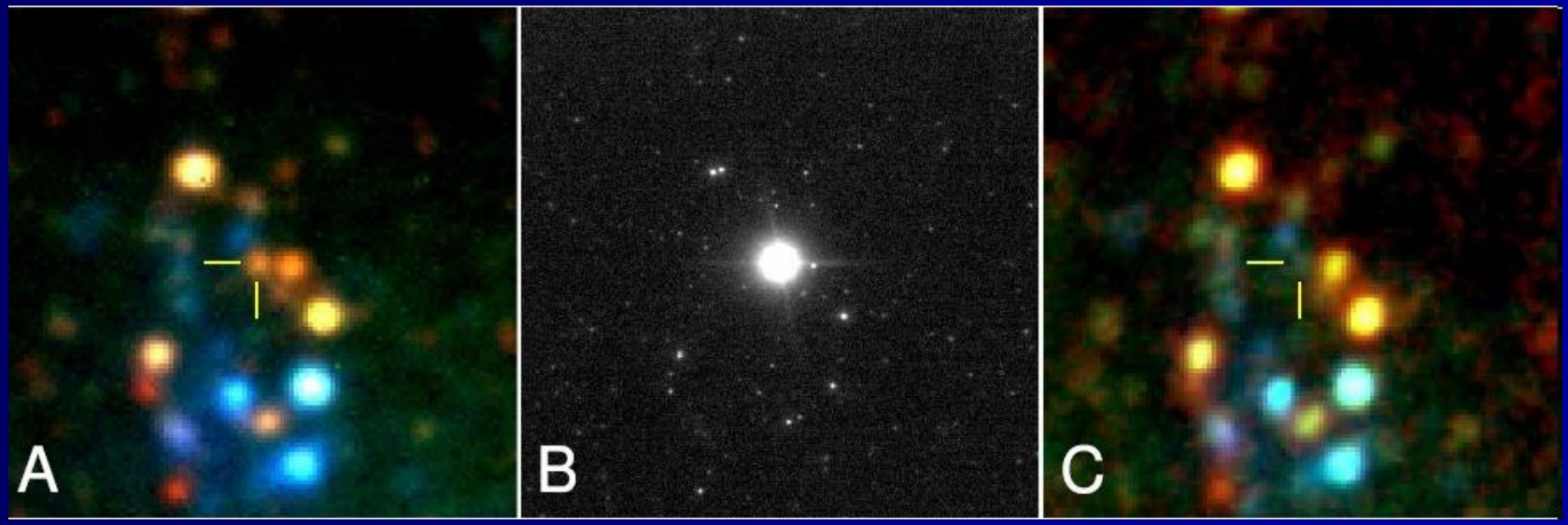
Вокруг света. Июль 2006

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

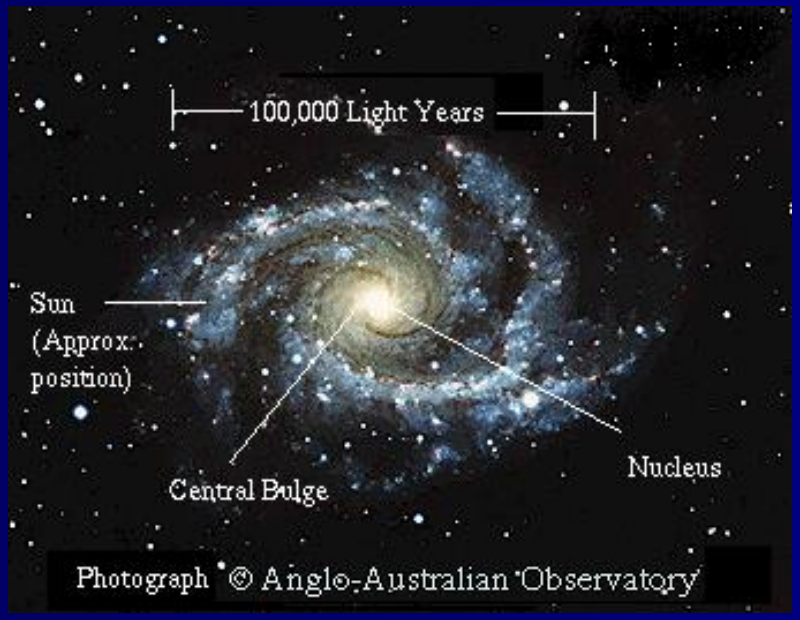
NGC 7793

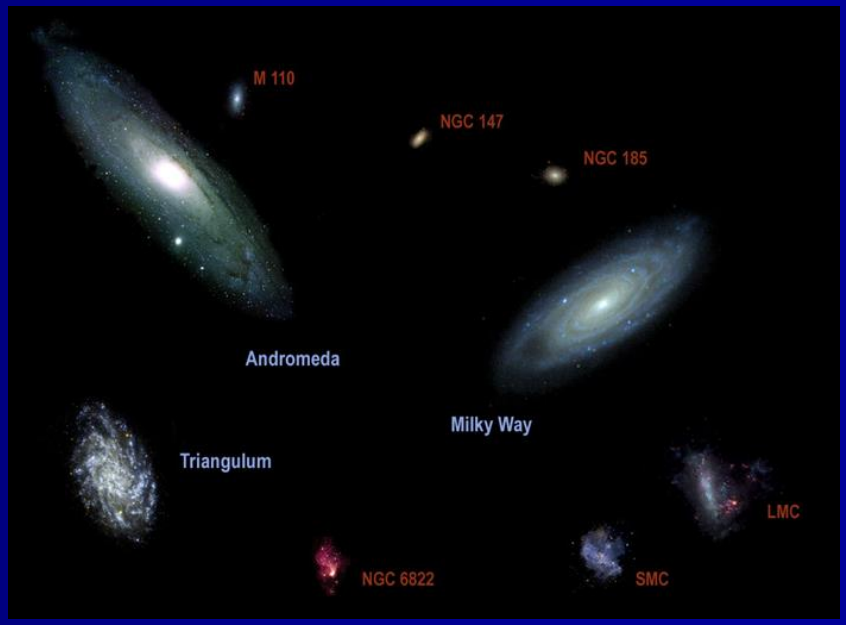
10 фактов о вселенной

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.





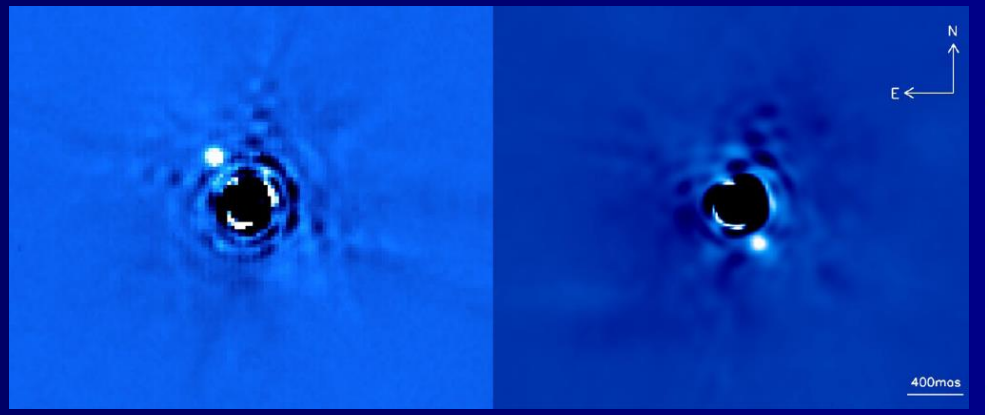
10 фактов о вселенной

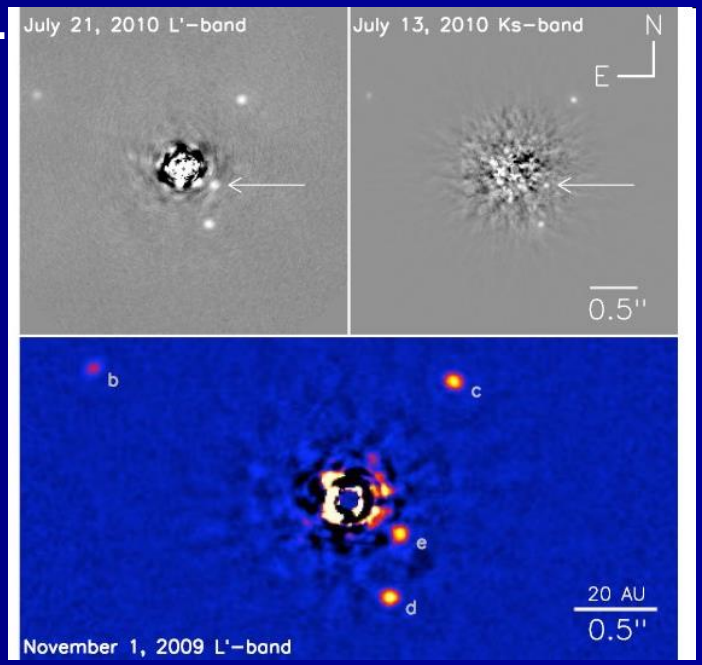
1. Солнце – звезда. Расстояния между звездами – световые годы.
2. Солнечная система заканчивается там, где заканчивается область, гравитационно контролируемая Солнцем.
3. Звезды образуются и умирают.
   Идет круговорот вещества и изменение химсостава Галактики.
4. Звезды эволюционируют. В конце жизни 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.



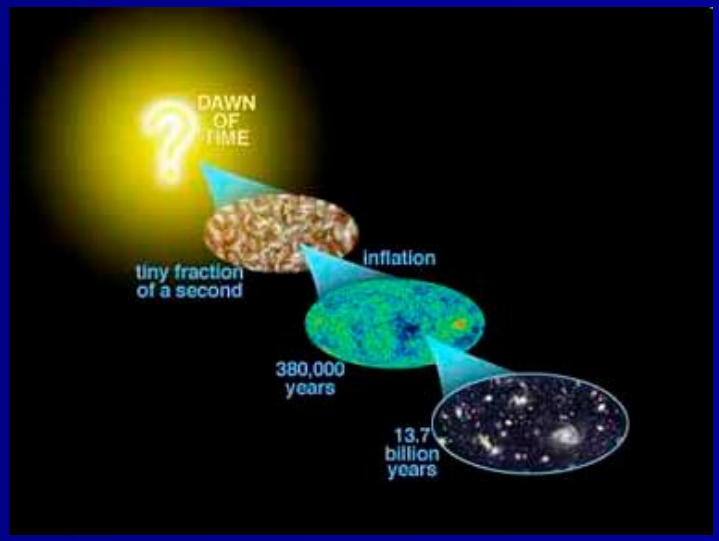


10 фактов о вселенной

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%)

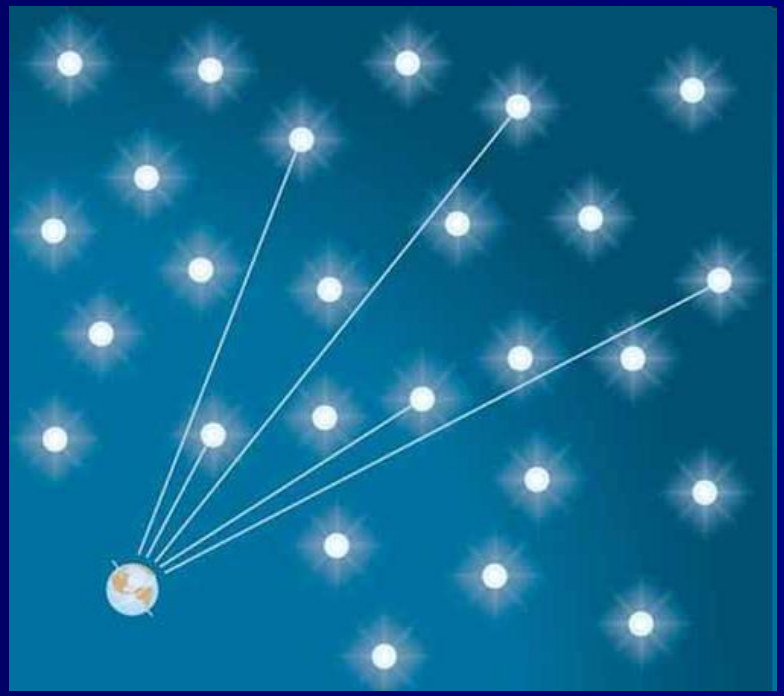
Факт 7: возраст вселенной

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.



Вокруг света. Март 2006

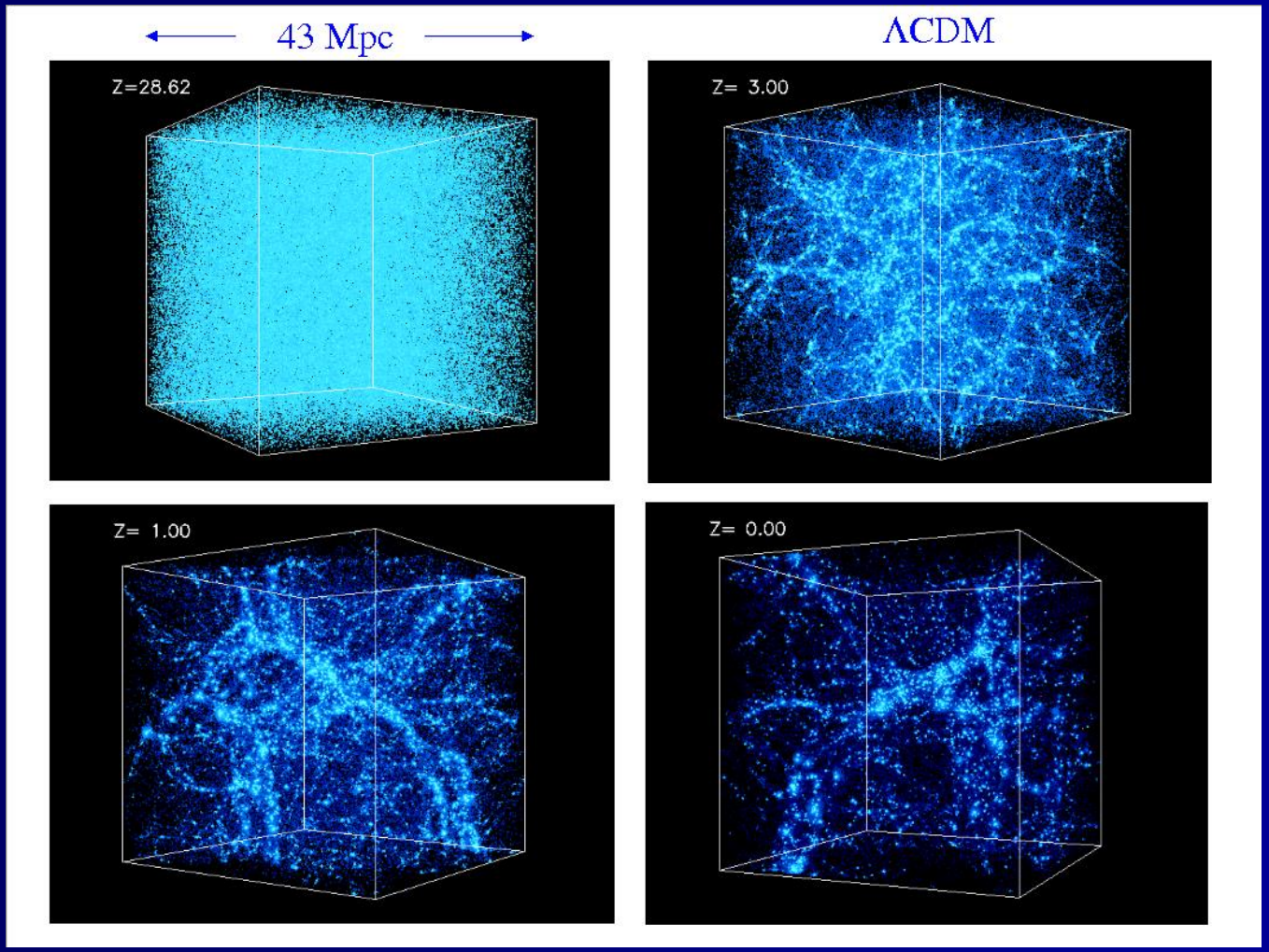
Парадокс Ольберса



Значит, звёзды где-то «заканчиваются».

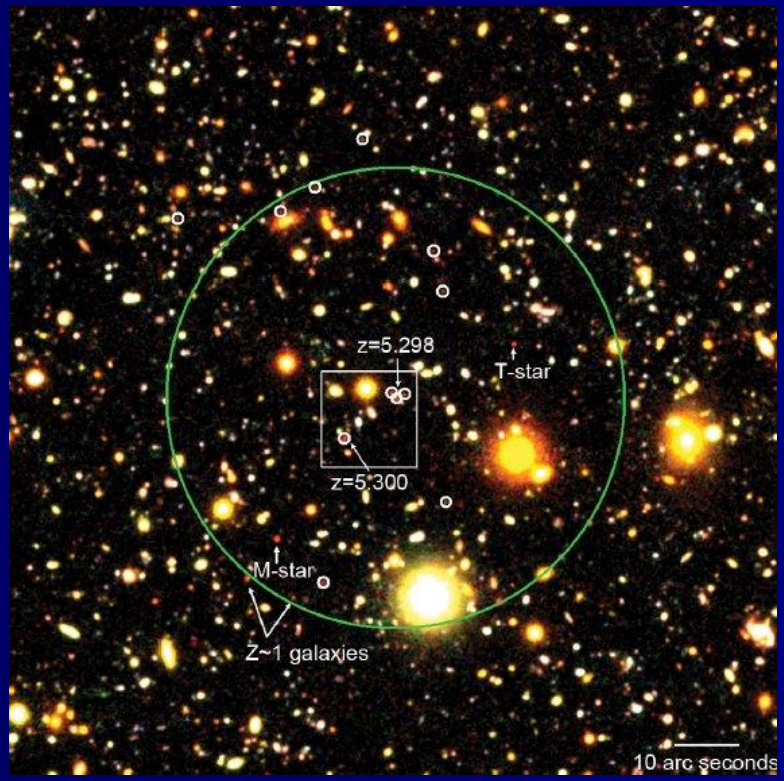
Мы смотрим в прошлое

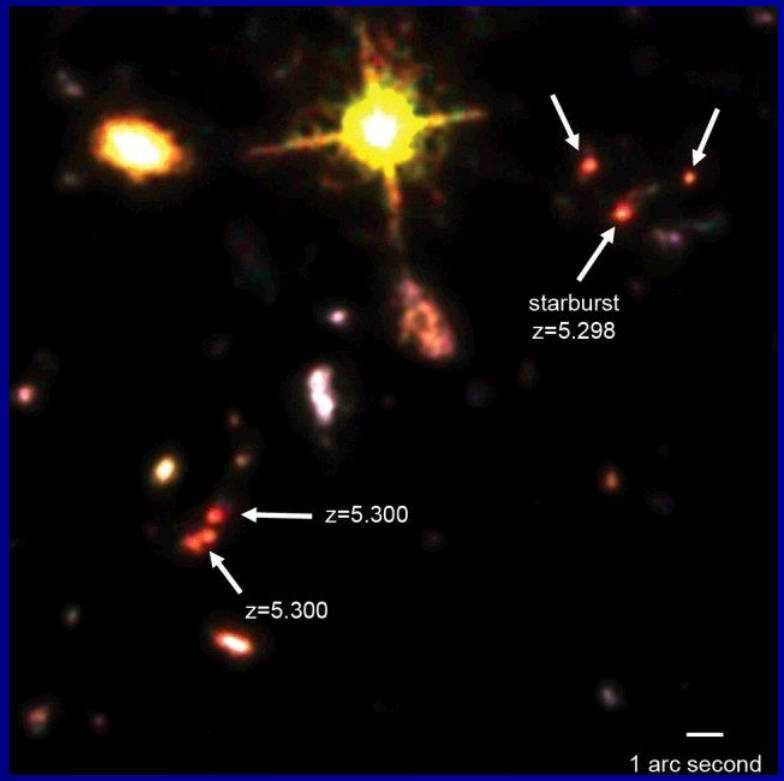
Эволюция вселенной



Кравцов и др.

Далекое протоскопление галактик





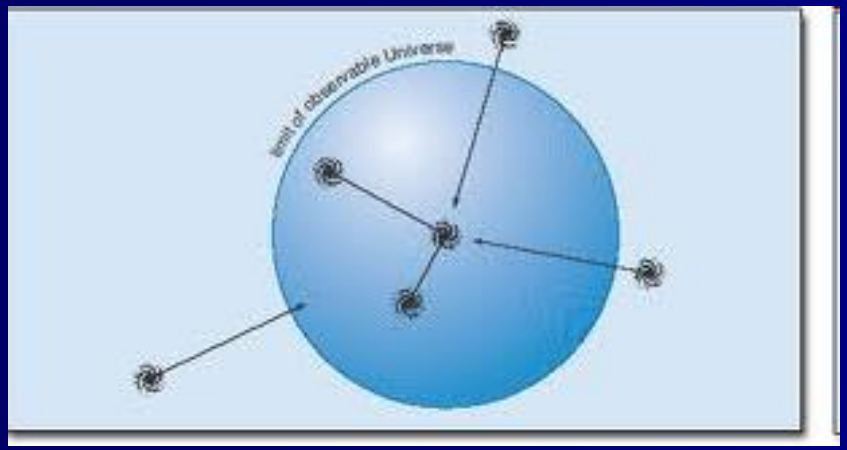
Z=5.3

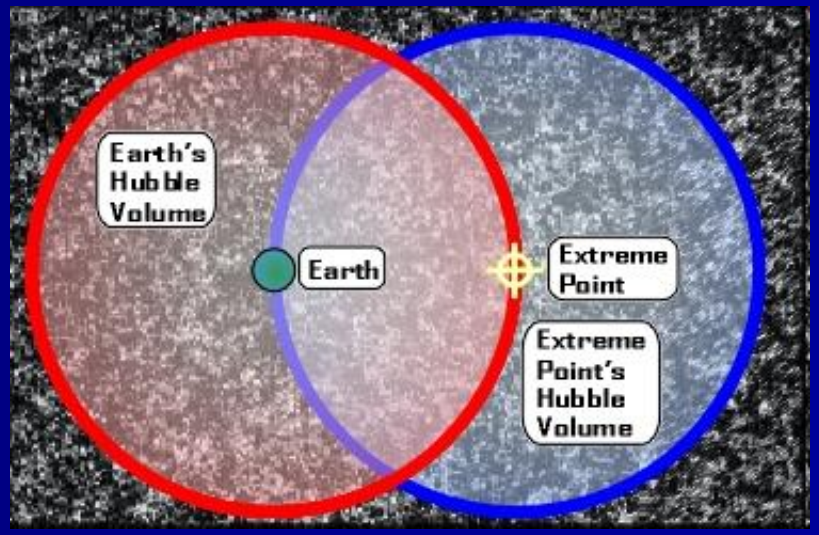
10 фактов о вселенной

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.





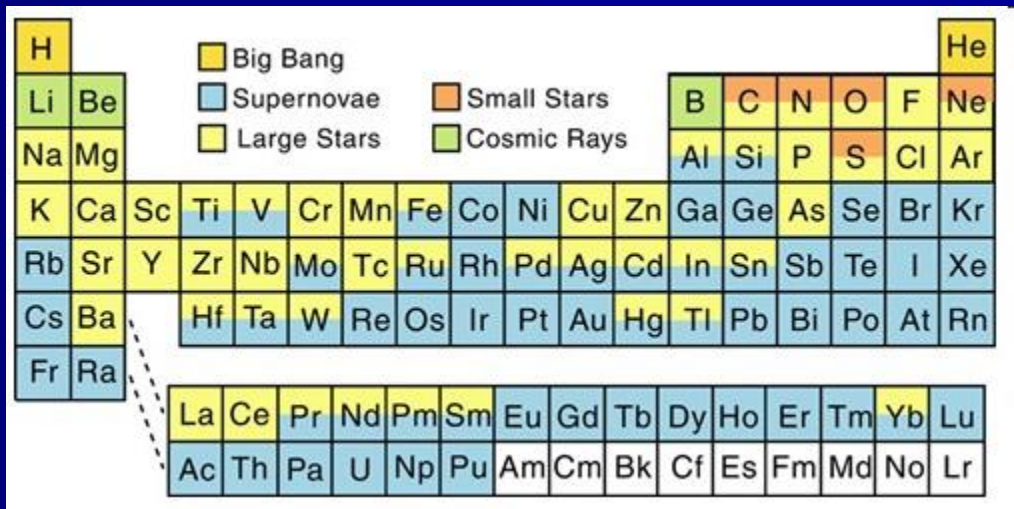
Вокруг света. Март 2006

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%)

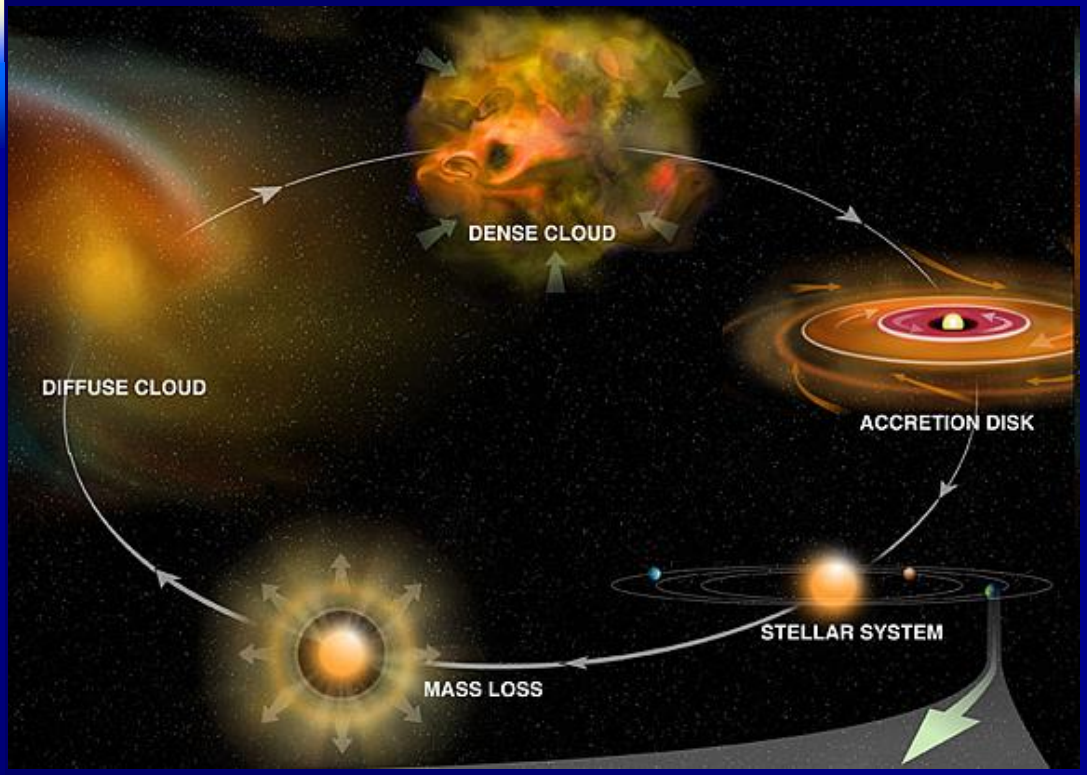
Факт 9: возникновение элементов во вселенной

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.



Вокруг света. Апрель 2008

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 …

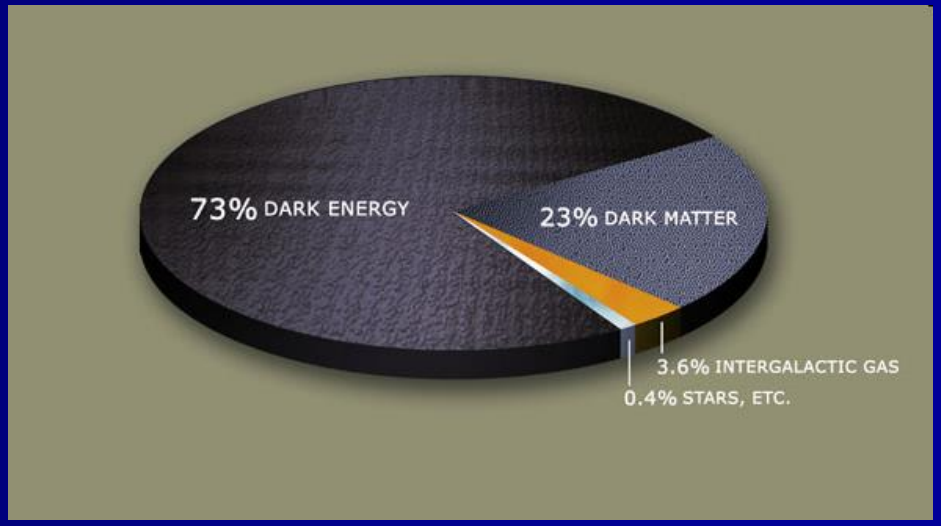
Мы все из звёздного вещества

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%)

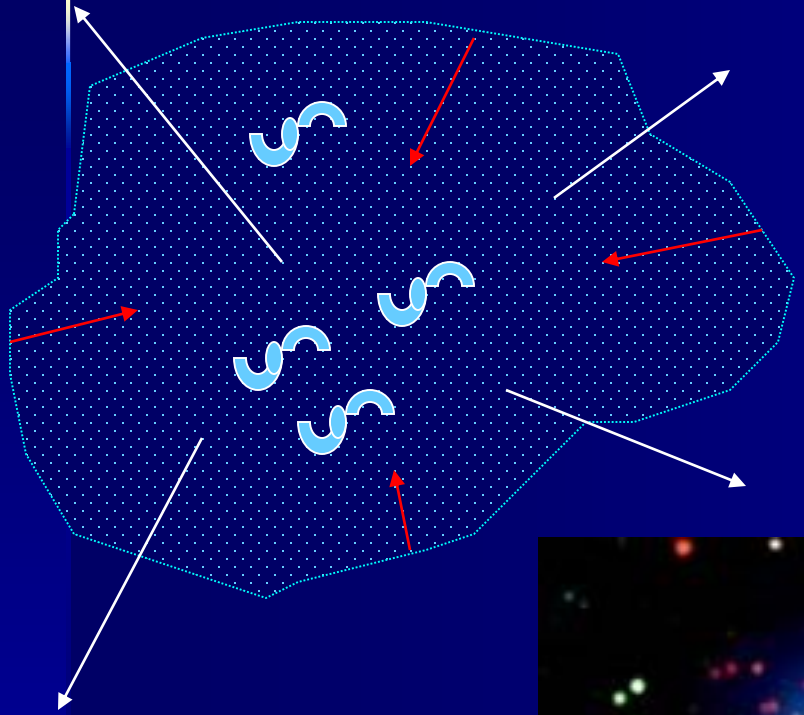
Факт 10: состав вселенной

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.



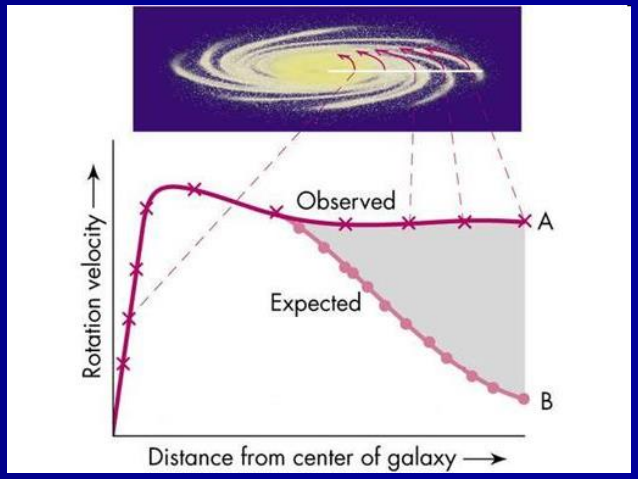
Темное вещество

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.

http://www.spacedaily.com



http://www.philica.com/uploads/images/145/Image/image006.jpg

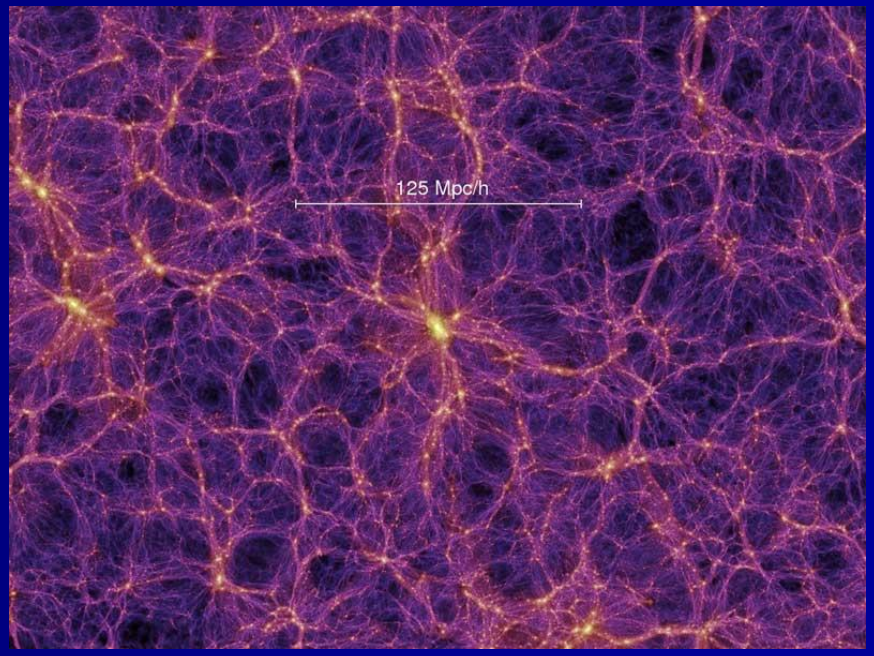
Темное вещество

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

Скелет вселенной

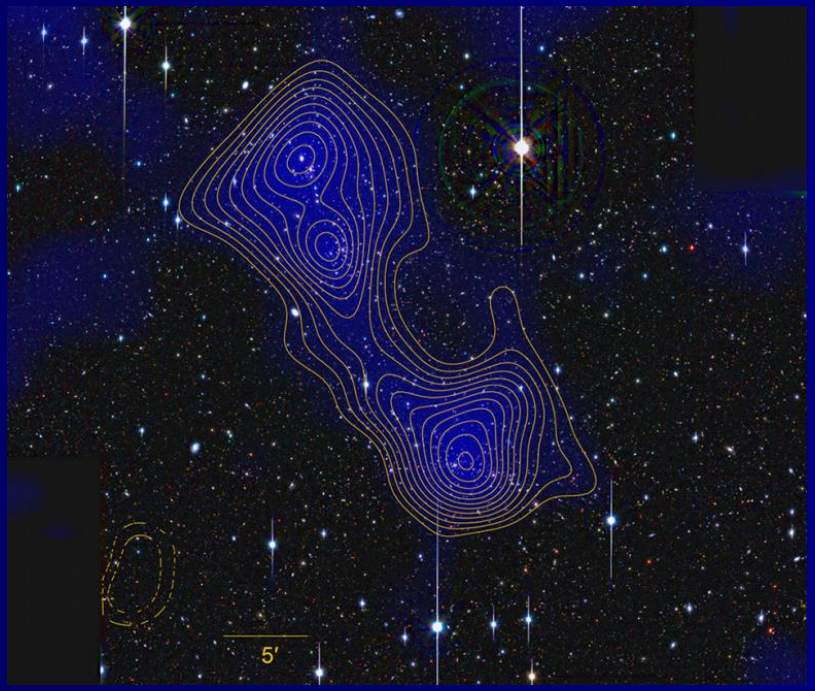
Крупномасштабная структура формируется в основном темным веществом.
Но видим мы галактики, их скопления, горячий газ – т.е., обычное вещество.

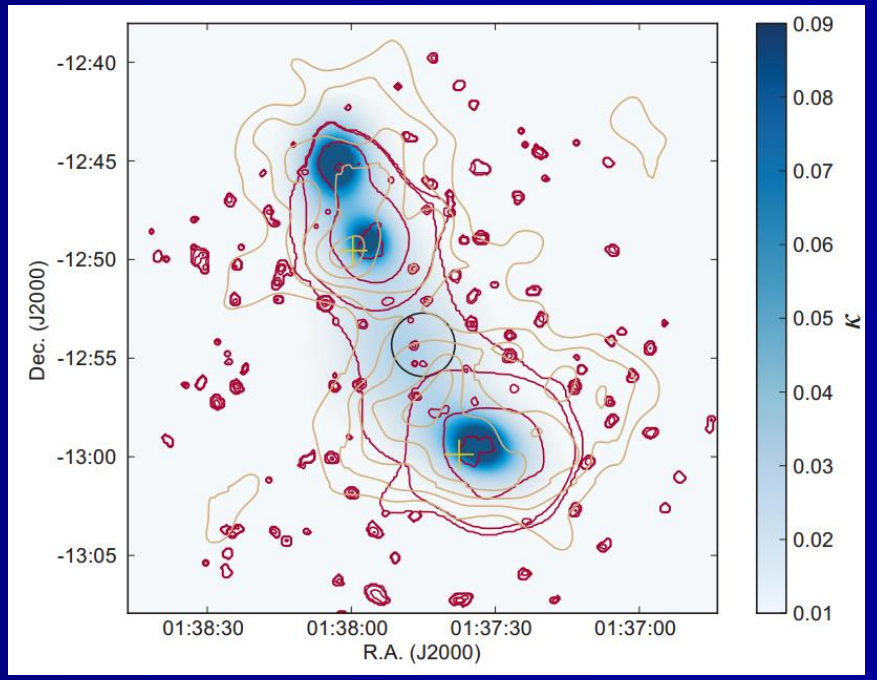
Как увидеть сам скелет вселенной?



Волокно темного вещества

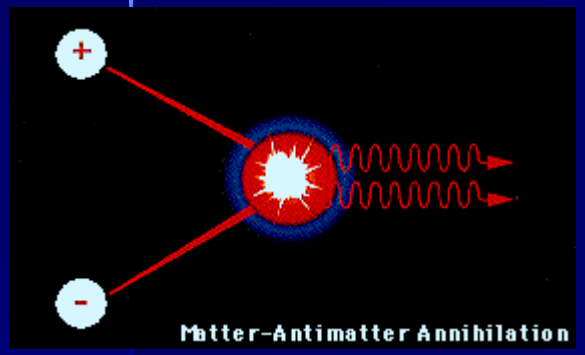
Скопления A222/223. z~0.2 Между скоплениями 18 Мпк.
Распределение массы восстанавливается по линзированию.
Массы газа не хватит для объяснения массы волокна.





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

Поиск темной материи



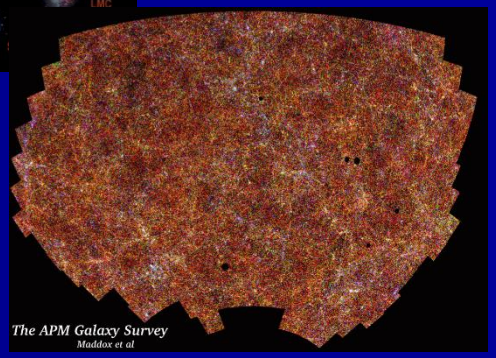
Галактика

Близкие галактики

Можно искать гамма-лучи от аннигиляции частиц темного вещества

Такие исследования активно ведутся с помощью обсерватории имени Ферми.

Фон от далеких галактик

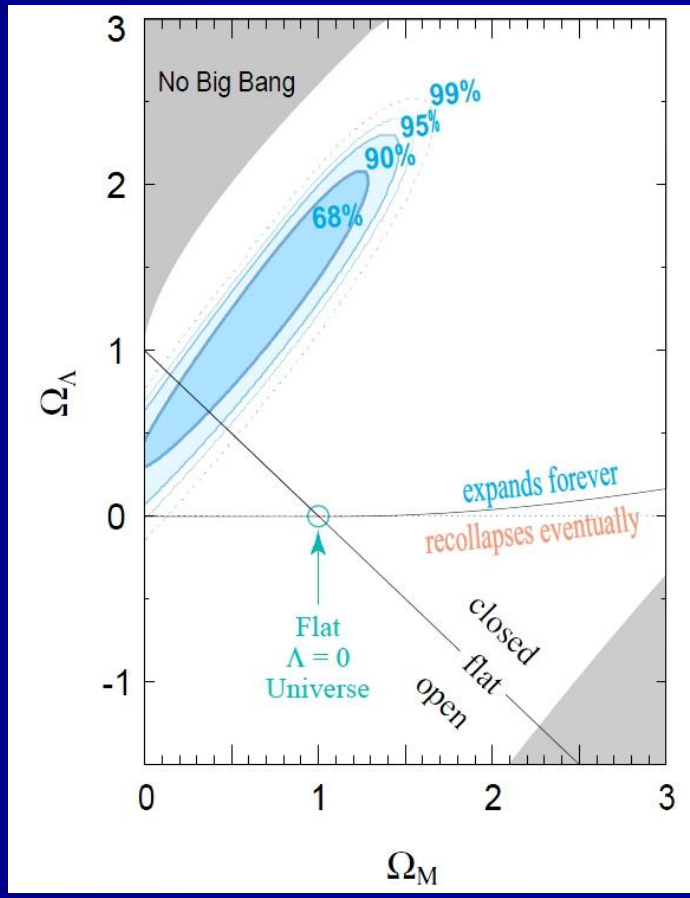


Темная энергия

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

- **сверхновые,**
- **реликтовое излучение,**
- **крупномасштабная структура**

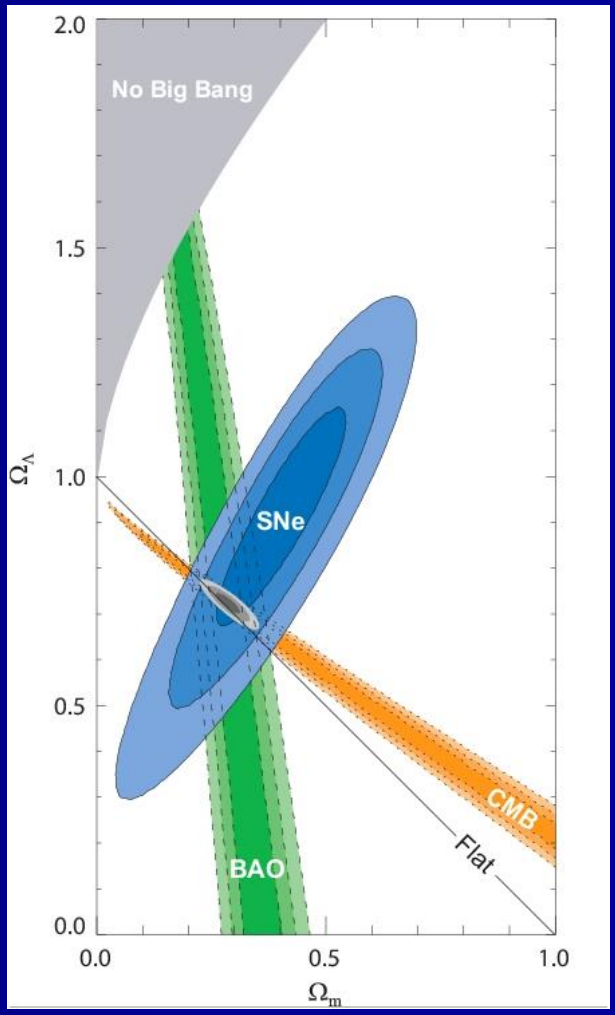
Данные по сверхновым на плоскости «вклад темной энергии – вклад обычного вещества». Отмечены области, соответствующие вечному расширению (в предположении о том, что темная энергия – это космологическая постоянная) и смене расширения сжатием. Нарисована линия, соответствующая плоской вселенной. Видно,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



Из работы Perlmutter et al. 1999

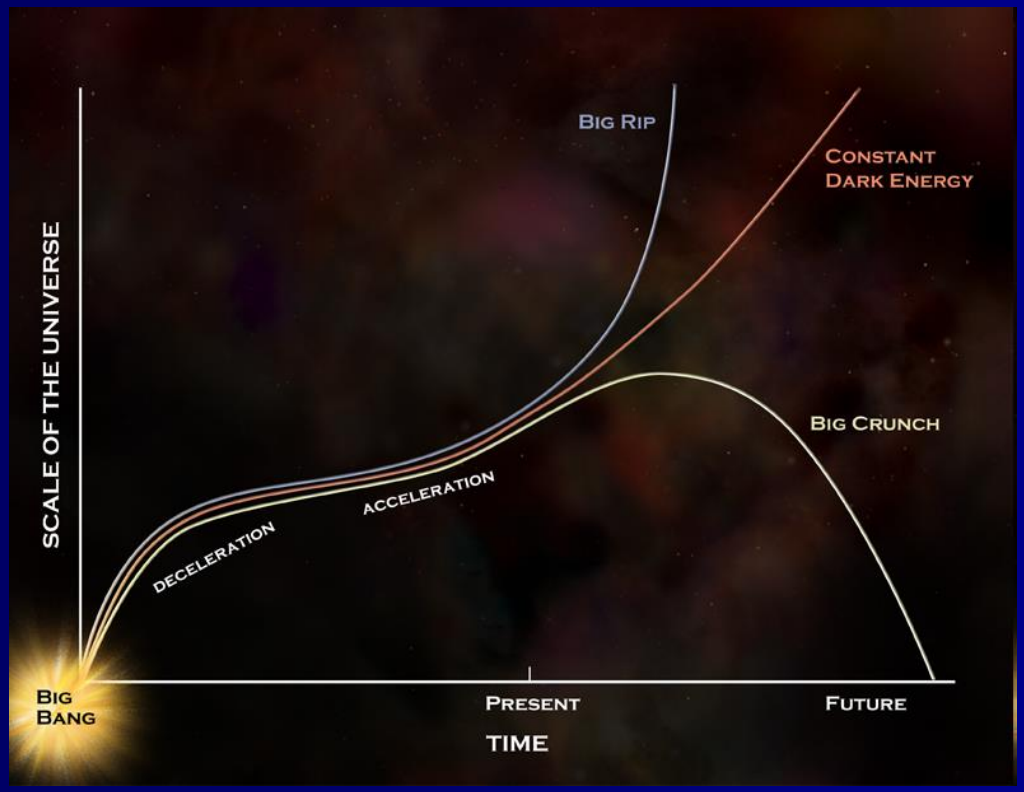
Современные данные

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!

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