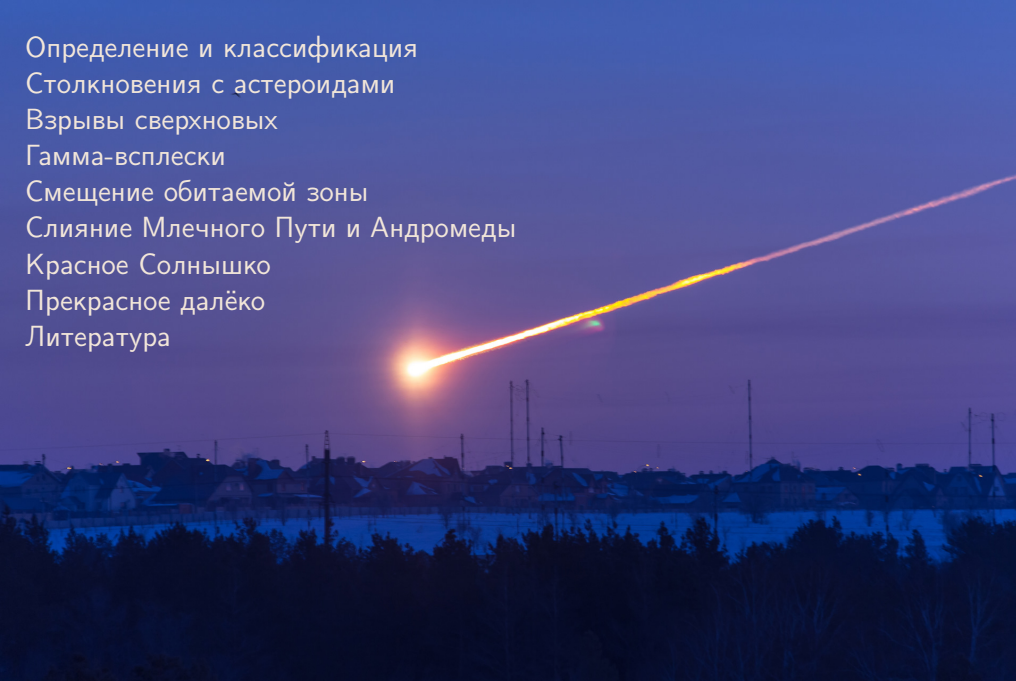


# Конец Света с точки зрения физики



Определение и классификация  
Столкновения с астероидами  
Взрывы сверхновых  
Гамма-всплески  
Смещение обитаемой зоны  
Слияние Млечного Пути и Андромеды  
Красное Солнышко  
Прекрасное далёко  
Литература



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Что такое Конец Света?

## Массовое вымирание видов

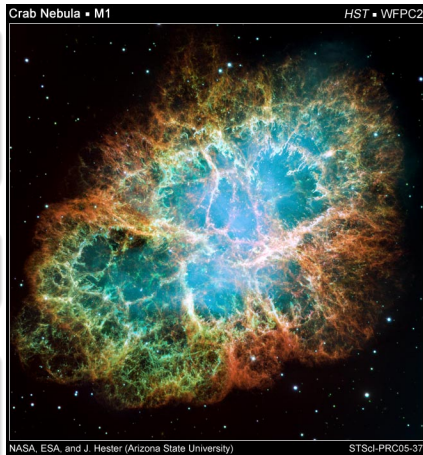
- ▶ Столкновения с астероидами
- ▶ Взрывы сверхновых
- ▶ Гамма-всплески

## Полное разрушение биосферы

- ▶ Смещение обитаемой зоны

## Физическое разрушение Земли

- ▶ Превращение Солнца в красный гигант (стадия звёздной эволюции)



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

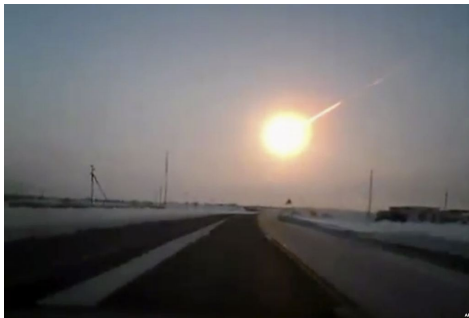
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Столкновения с астероидами



Один раз в 100 лет

- ▶ 2013 Челябинский метеорит
- ▶ 1908 Тунгусский метеорит (?)

Хорошо, что попадам

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{2}{3}\pi\rho R^3 v^2$$

$$\rho \sim 3000 \text{ кг/м}^3 \text{ (гранит)}$$

$$v \sim 30 - 80 \text{ км/сек (Солнечная система)}$$

$$E \sim 10 \text{ МТ}$$

$$1 \text{ МТ} = 4.18 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$$

Размер имеет значение

$D < 10 \text{ м}$ : испаряются в атмосфере

$D \geq 20 - 100 \text{ м}$ : наземный бабах

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Никто не уйдёт обиженный

Диаметр  $\sim 500$  м (раз в  $\sim 50000$  лет)

- ▶ Энерговыведение: разом взорвать весь (термо)ядерный арсенал.
- ▶ Хватит на целый континент.

Диаметр 2 – 3 км (раз в несколько миллионов лет)

- ▶ Выбрасывает и распыляет огромные массы земной коры.
- ▶ Пыль остаётся в атмосфере годы – глобальное похолодание.

Диаметр 5 – 10 км (раз в  $\sim 100$  миллионов лет)

- ▶ Ядерная зима на десятилетия, закисление океанов
- ▶ Мело-палеогеновое вымирание (бедные динозаврики)

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

Год без лета, 1816



“Чичестерский канал”, Уильям Тёрнер, 1828

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

Год без лета, 1816



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

Апрель 1815г

Извержение вулкана Тамбора (Индонезия)



Год без лета, 1816



Март 1816г

В Европе зима

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



Год без лета, 1816



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

Апрель, май 1816г

сплошные дожди и град в Европе

Год без лета, 1816



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

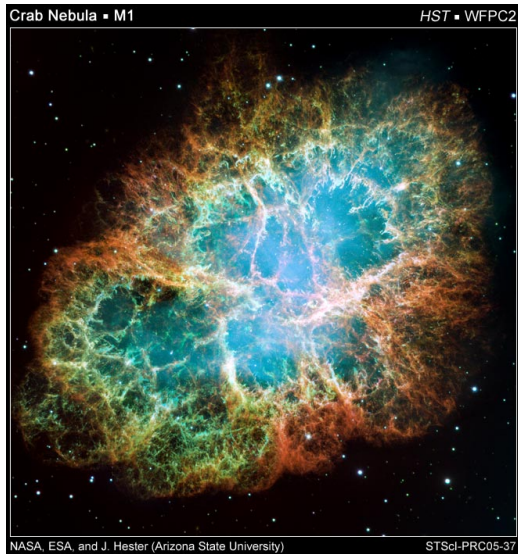
Прекрасное  
далёко

Литература

Июнь, июль 1816г

В Нью-Йорке выпадал снег

# Взрывы сверхновых



## Крабовидная туманность

- ▶ Наблюдали  $\approx 1054$  год
- ▶ Была видна даже днём
- ▶ размер:  $\approx 11$  св. лет
- ▶ расстояние:  $\approx 6500$  св. лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Взрывы сверхновых

- ▶ Тяжелые звёзды ( $M > 8M_{\odot}$ ) коллапсируют в конце жизни
- ▶ Сжатие вызывает огромный термоядерный взрыв
- ▶ Сверхновая ярче целой галактики (на несколько недель)
- ▶ Мощный источник ЭМ излучения и частиц сверхвысоких энергий
- ▶ Угроза всему живому на расстоянии менее 10 – 50 св. лет

## Со мной такое точно не случится

- ▶ В Млечном Пути сверхновые взрываются раз в 50 лет
- ▶ Рядом с нами пока нет таких массивных звёзд так близко
- ▶ В будущем Солнце может переместиться в менее спокойное место

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Чем именно опасны сверхновые

Армагеддон  
был вчера

## Глобальное похолодание

- ▶  $\gamma$ -лучи разбивают на атомы молекулы воздуха  $N_2$  и  $O_2$
- ▶ Из атомарного азота и кислорода образуются оксиды азота  $NO$ ,  $NO_2$
- ▶ Эти молекулы могут находиться в стратосфере годами
- ▶  $NO_2$  хорошо поглощает видимый свет

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

## Повышение уровня солнечного УФ излучения

- ▶  $NO$  разрушает озон:  $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$
- ▶ Уровень солнечного УФ на поверхности Земли повышается
- ▶ Увеличение уровня УФ на 30%: смерть фитопланктона (прощай, кислород)

Ордовикско-силурийское вымирание (440 миллионов лет назад) [1]

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

**Гамма-всплески**

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

## Взрывы быстро вращающихся звёзд

- ▶ Во время взрыва создаются мощные магнитные поля
- ▶ Магнитные поля фокусируют продукты взрыва
- ▶ Узкие потоки могут быть опасны даже на  $\sim 10000$  СЛ

## А также

- ▶ Слияния нейтронных звёзд
- ▶ Слияния чёрных дыр



# Техника безопасности при работе с гамма-всплесками

Армагеддон  
был вчера

Не пытайтесь повторить дома!

GRB 221009A:  $E_{iso} \sim 6.5 \times M_{\odot} \approx 1.2 \times 10^{47} \text{ Дж} \approx 3.5 \times 10^{32} \text{ МТ}$  [2]

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

**Гамма-всплески**

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

Нужно ли прятаться в радиационное убежище?

1. Поздно метаться: всплеск длится секунды – минуты ( $v = c$ )
2. Атмосфера задерживает излучение, опасны отдалённые последствия

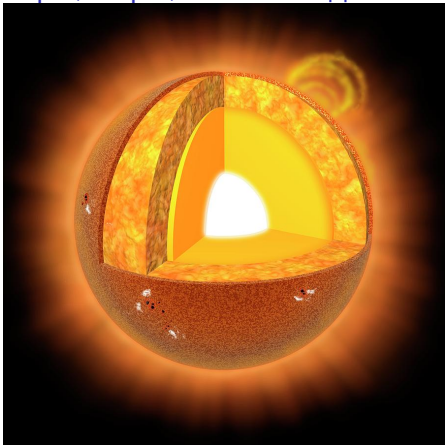
Есть ли что-то опасное рядом?

Звезда Вольфа – Райе WR 104, 8000 св. лет

Как часто случаются близкие к Земле гамма-вспышки?

Примерно раз в миллиард лет (очень грубая оценка)

## Гори, гори, моя звезда



- ▶ Водород в ядре выгорает, синтез временно замедляется
- ▶ Ядро сжимается, давление растёт
- ▶ Скорость синтеза возрастает и уравнивает возросшее сжатие
- ▶ Со временем ядро сжимается и нагревается
- ▶ Внешние слои слегка расширяются
- ▶ Солнце становится на 1% ярче каждые 100 млн. лет

## Последствия для жизни на Земле

- ▶ Прекращение фотосинтеза в течение 800 млн. лет
- ▶ Потеря океанов в течение миллиарда лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

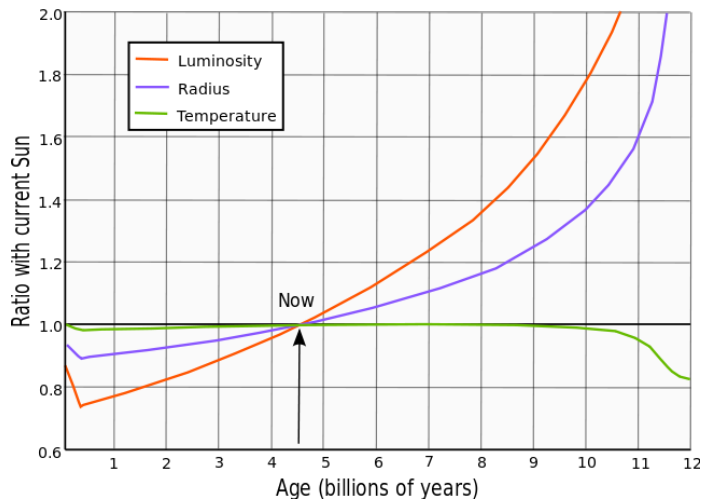
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Эволюция Солнца на главной последовательности



Изменение светимости, радиуса, и температуры Солнца[3]

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

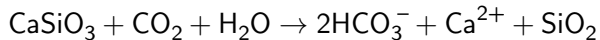
Литература

# Прекращение фотосинтеза

## Базальт

- ▶ Большинство вулканических пород, океаническая кора
- ▶ 47 – 52%  $\text{SiO}_2$ , 14 – 18%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , **6 – 12%  $\text{CaO}$**

Атмосферный  $\text{CO}_2$  медленно превращается в известняки:



- ▶ Скорость реакции быстро растёт с температурой
- ▶ Концентрация  $\text{CO}_2$  через 600 млн. лет: 50 ЧНМ (сейчас: 400 ЧНМ)
- ▶ 50 ЧНМ не достаточно для  $\text{C}_3$  фиксации
- ▶ Подавляющее большинство растений живут за счёт  $\text{C}_3$  процесса
- ▶ Растения использующие  $\text{C}_4$  фиксацию вымрут ещё через 200 млн. лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Потеря океанов

В наше время:  $T_{\oplus} \approx 287\text{K} = 14^{\circ}\text{C}$

## Увеличение светимости Солнца на 10%

- ▶ Температура поверхности Земли поднимается до 320K (47°C)
- ▶ Увеличивается содержание водяного пара в атмосфере
- ▶ Всё больше водяного пара достигает стратосферы
- ▶ Солнечный УФ разбивает воду на кислород и водород
- ▶ Лёгкие молекулы водорода улетают в космос
- ▶ Результат: потеря океанов через миллиард лет [6]

Океаны при этом не кипят.

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние галактик, NGC 2623

255 млн. св. лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

**Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды**

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



# Слияние галактик, Млечный Путь и Андромеда



сейчас

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

**Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды**

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние галактик, Млечный Путь и Андромеда



через  $\sim 3.5$  миллиардов лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

**Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды**

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние Млечного Пути и Андромеды

- ▶ Андромеда приближается к нам со скоростью  $\sim 110$  км/сек.
- ▶ Космический телескоп Хаббл [7] и эксперимент Gaia [8]: Андромеда движется на нас “в лоб”.
- ▶ ожидаемое время: 3,75 – 4,5 миллиардов лет
- ▶ Столкновения отдельных звёзд крайне маловероятны:  
 $D(\alpha\text{Центавра} - \odot) \sim 3 \cdot 10^7 D_{\odot}$

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

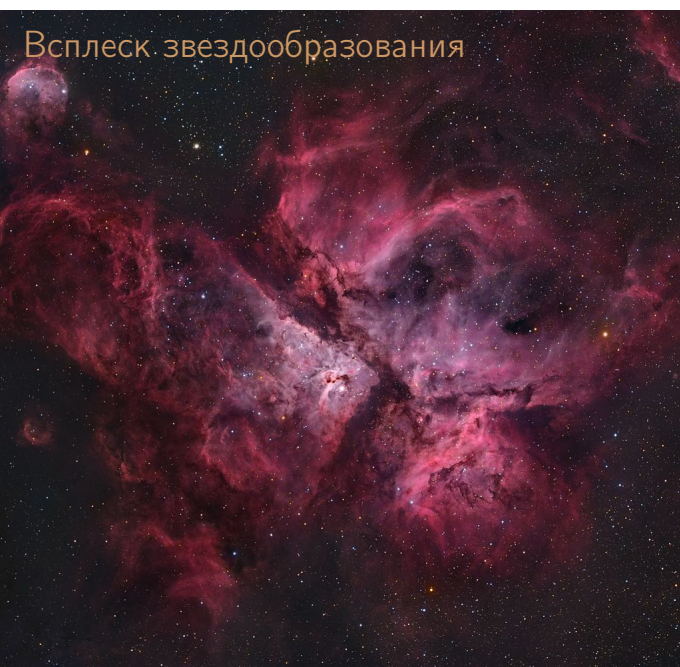
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Всплеск звездообразования



## NGC 3372

Туманность Киля  
Eta Carinae nebula

- ▶  $\varnothing = 460$  св. лет
- ▶  $D = 9000$  св. лет

## Равновесие

- ▶ Сжатие газа
- ▶ Звёздный ветер

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

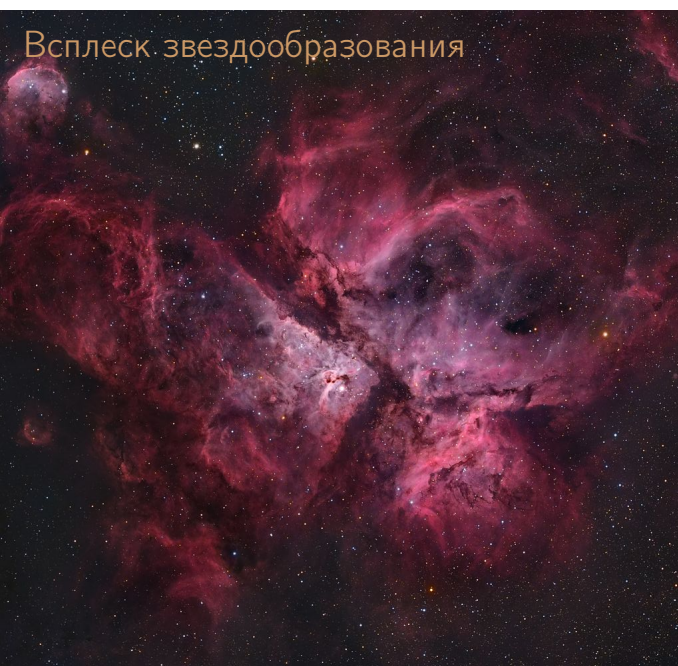
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Всплеск звездообразования



## Столкновения

- ▶  $\varnothing \sim 100$  св. лет
- ▶ Ударные волны
- ▶ Много новых массивных звёзд
- ▶ Сверхновые через  $\approx 30$  млн. лет

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



# Слияния сверхмассивных чёрных дыр

Sgt A\* :  $M \sim 3,6 \cdot 10^6 M_{\odot}$   
M31:  $M \sim 1 - 2 \cdot 10^8 M_{\odot}$  [9]

## Обычные звёзды

- ▶ Разрыв приливными силами
- ▶ Выбрасывание из галактики

Надо попасть:  $r_s \approx 10 \text{ АЕ}$

## Газовые туманности

Квазар ( $\sim 10^7$  сверхновых)

## M87\*

$d = 53,5 \text{ млн. св. лет}$

$M \approx 7,2 \cdot 10^9 M_{\odot}$ ,  $r_s = 120 \text{ АЕ}$

$L_{\text{jet}} \approx 5000 \text{ св. лет}$

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



## Ядро

Ядерные реакции:  $4p \rightarrow \alpha$

$\varnothing \approx 20\% \varnothing_{\odot}$

$M \approx 30 - 40\% M_{\odot}$

Гидростатическое равновесие

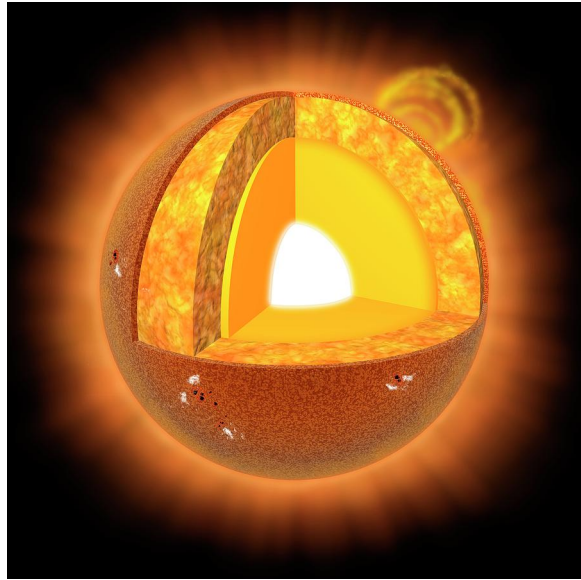
## Зона лучистого переноса

Энергию переносит свет

За миллионы лет

## Конвективная зона

Перенос энергии потоками  
вещества



Звезда главной последовательности

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

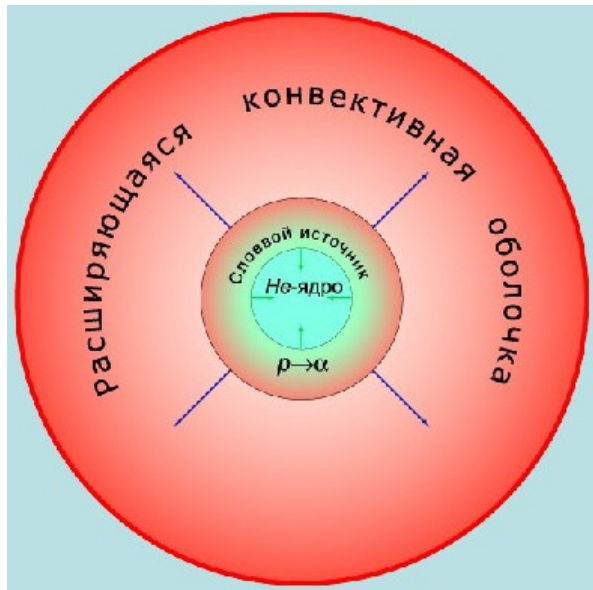
Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



Красный гигант

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

## Конвективная зона

- ▶ Водород
- ▶ Нет ядерных реакций

## Водород

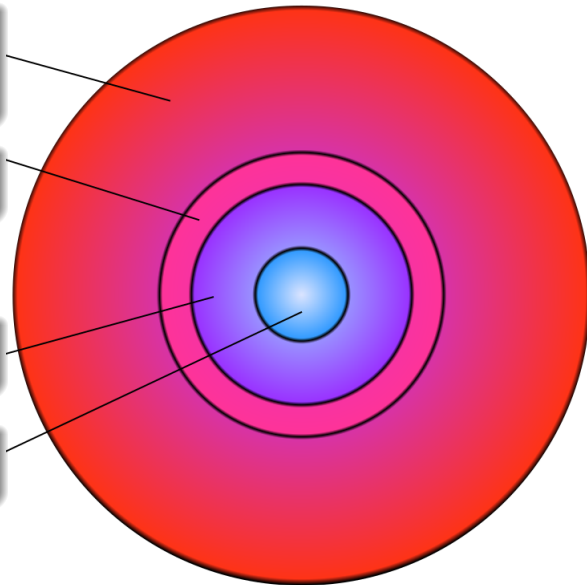
Синтез гелия

## Гелий

Синтез углерода

## Углерод

Нет ядерных реакций



Красный гигант,  $\varnothing \approx 1 \text{ АЕ}$

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Добейте выживших

- ▶ Земля внутри Солнца (5 млрд. лет)
- ▶ Все галактики за космологическим горизонтом (600 млрд. лет)
- ▶ Погаснет последняя звезда (100 триллионов лет)
- ▶ Развал планетарных систем ( $10^{15}$  лет)
- ▶ Испарится последняя чёрная дыра ( $10^{100}$  лет)

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



A. Melott, B. Lieberman, C. Laird, L. Martin, M. Medvedev, B. Thomas (University of Kansas), J. Cannizzo, N. Gehrels, C. Jackman (NASA-Goddard)

Did a gamma-ray burst initiate the late Ordovician mass extinction?

[astro-ph/0309415](#)



D. Frederiks, D. Svinkin, A. L. Lysenko, S. Molkov, A. Tsvetkova, M. Ulanov, A. Ridnaia, A. A. Lutovinov, I. Lapshov, A. Tkachenko, V. Levin

Properties of the extremely energetic GRB 221009A from *Konus-WIND* and *SRG/ART-XC* observations

[arXiv:2302.13383](#)



I. Ribas (2009)

The Sun and stars as the primary energy input in planetary atmospheres

[arXiv:0911.4872](#)



Martin J. Heath, Laurance R. Doyle

Circumstellar Habitable Zones to Ecodynamic Domains: A Preliminary Review and Suggested Future Directions

[arXiv:0912.2482](#)

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



Bounama, C., Franck, S., and von Bloh, W. (2001)

The fate of Earth's ocean

Hydrol. Earth Syst. Sci., 5, 569-576



Runaway and moist greenhouse atmospheres and the evolution of Earth and Venus

Icarus (ISSN 0019-1035), vol. 74, June 1988, p. 472-494.



Roeland P. van der Marel, Mark Fardal, Gurtina Besla, Rachael L. Beaton, Sangmo Tony Sohn, Jay Anderson, Tom Brown, Puragra Guhathakurta

The M31 Velocity Vector. II. Radial Orbit Towards the Milky Way and Implied Local Group Mass

arXiv:1205.6864



Roeland P. van der Marel, Mark A. Fardal, Sangmo Tony Sohn, Ekta Patel, Gurtina Besla, Andrés del Pino-Molina, Johannes Sahlmann, Laura L. Watkins

First Gaia Dynamics of the Andromeda System: DR2 Proper Motions, Orbits, and Rotation of M31 and M33

arXiv:1805.04079

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература





Ralf Bender, John Kormendy, Gary Bower, Richard Green, Jens Thomas, Anthony C. Danks, Theodore Gull, J. B. Hutchings, C. L. Joseph, M. E. Kaiser, Tod R. Lauer, Charles H. Nelson, Douglas Richstone, Donna Weistrop, Bruce Woodgate

HST STIS spectroscopy of the triple nucleus of M31: two nested disks in Keplerian rotation around a Supermassive Black Hole

[arXiv:astro-ph/0509839](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0509839)