

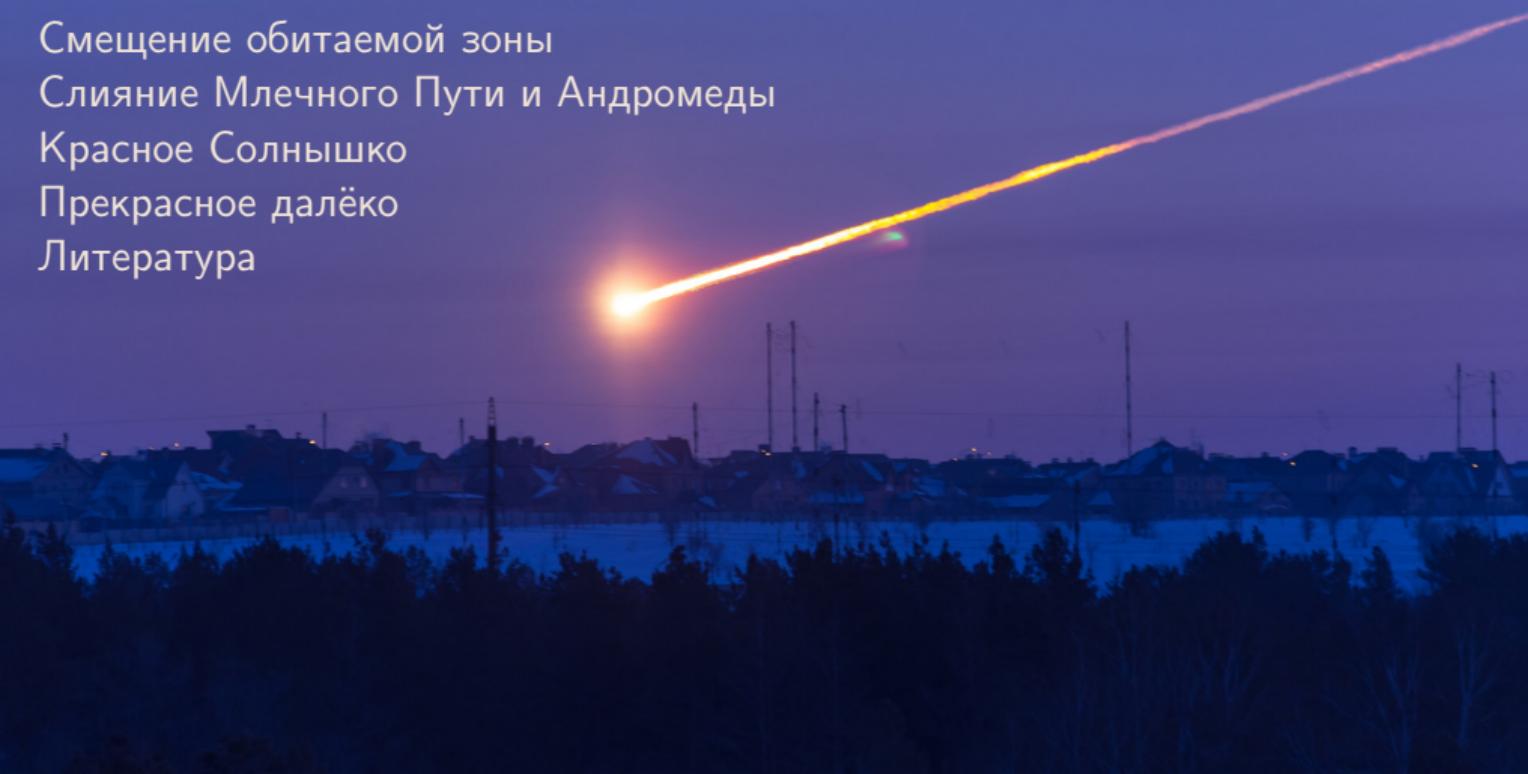
# Армагеддон был вчера



конец света с точки зрения физики

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



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?

Армагеддон  
был вчера

## Массовое вымирание видов

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

## Полное разрушение биосфера

- ▶ Смещение обитаемой зоны

## Физическое разрушение Земли

- ▶ Солнце – красный гигант



Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Столкновения с астероидами

Армагеддон  
был вчера



Один раз в 100 лет

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

Хорошо, что пополам

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

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

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

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

Армагеддон  
был вчера

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

- ▶ Энерговыделение: 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)

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



Апрель 1815г

Извержение вулкана Тамбора (Индонезия)

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



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



Апрель, май 1816г

сплошные дожди и град в Европе

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



Июнь, июль 1816г

В Нью-Йорке выпадал снег

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

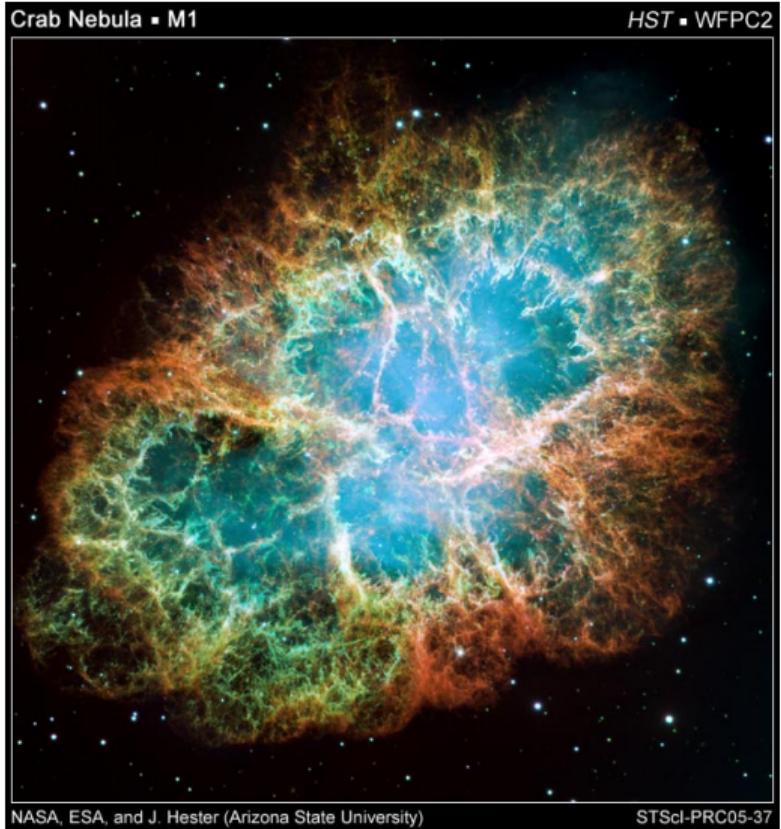
Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Взрывы сверхновых

Армагеддон  
был вчера



## Крабовидная туманность

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

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

- ▶ 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

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

### 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

### 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

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Техника безопасности при работе с гамма-всплесками

Не пытайтесь повторить дома!

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

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)

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Гори, гори, моя звезда

Армагеддон  
был вчера

## Ядро

Ядерные реакции:  $4p \rightarrow \alpha$

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

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

$T \approx 15$  млн. К

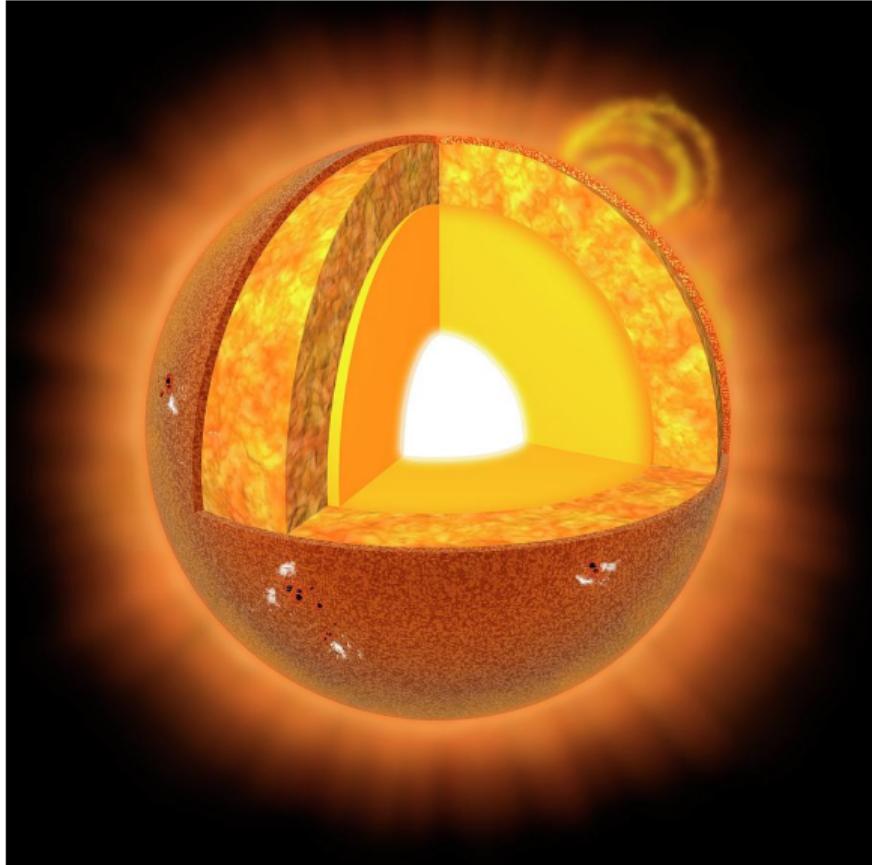
## Зона лучистого переноса

Энергию переносит свет

За миллионы лет

## Конвективная зона

Перенос энергии потоками  
вещества



Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

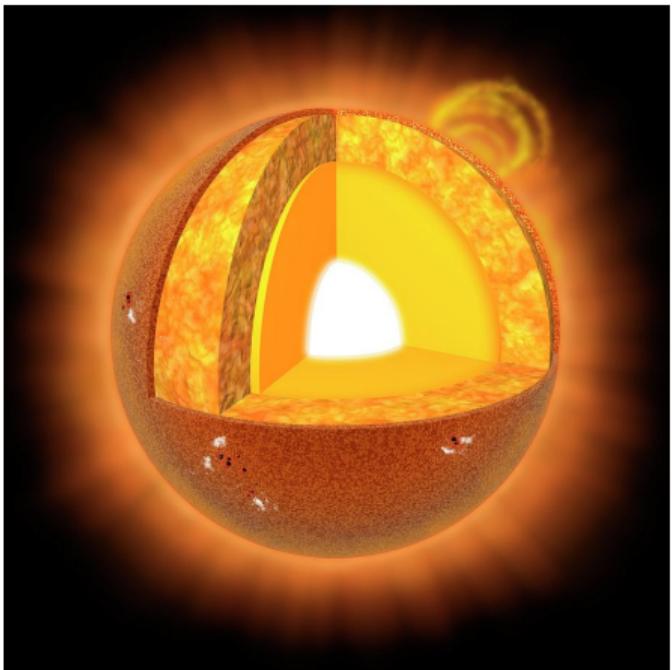
Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература



## Устойчивое равновесие

- ▶ Водород выгорает
- ▶ Синтез временно замедляется
- ▶ Сжатие (гравитация)
- ▶ Рост давления и температуры
- ▶ Синтез ускоряется
- ▶ Снова равновесие

## Со временем ...

- ▶ Ядро сжимается и нагревается
- ▶ Внешние слои слегка расширяются
- ▶ На 1% ярче каждые 100 млн. лет

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

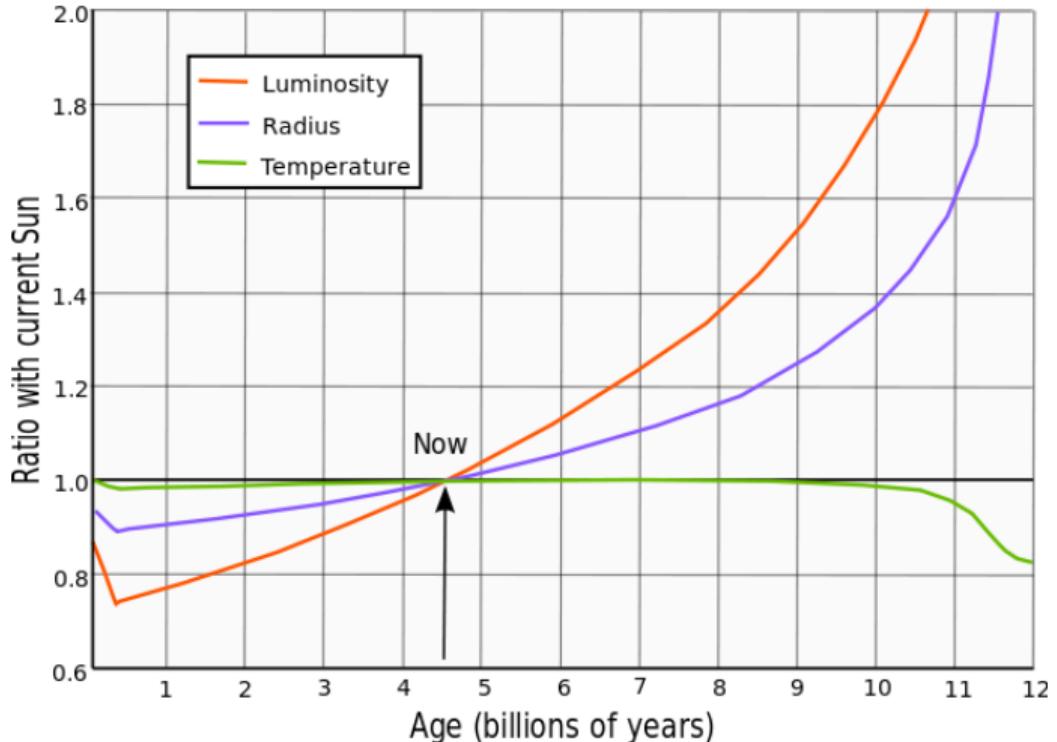
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Эволюция Солнца на главной последовательности



Изменение светимости, радиуса, и температуры Солнца[3]

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

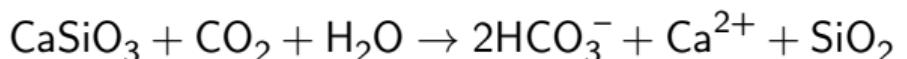
Литература

# 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  $C_3$  фиксации
- ▶ Подавляющее большинство растений живут за счёт  $C_3$  процесса
- ▶ Растения использующие  $C_4$  фиксацию вымрут ещё через 200 млн. лет

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

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

## Увеличение светимости Солнца на 10%

- ▶ Температура поверхности Земли поднимается до 320К ( $47^{\circ}\text{C}$ )
- ▶ 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.

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

Армагеддон  
был вчера

255 млн. св. лет



Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние галактик, Млечный Путь и Андромеда

Армагеддон  
был вчера



сейчас

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние галактик, Млечный Путь и Андромеда

Армагеддон  
был вчера



через  $\sim 3.5$  миллиардов лет

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Слияние Млечного Пути и Андромеды

Армагеддон  
был вчера

- ▶ Андромеда приближается к нам со скоростью  $\sim 110$  км/сек.
- ▶ Хаббл [7], Gaia [8]: Андромеда движется на нас “в лоб”.
- ▶ ожидаемое время: 3,75 – 4,5 миллиардов лет

Звёзды не сталкиваются

$$D(\alpha\text{Центавра} - \odot) \sim 3 \cdot 10^7 D_\odot$$

- ▶ Изменение орбит звёзд
- ▶ Всплеск звездообразования
- ▶ Перезапуск квазаров

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

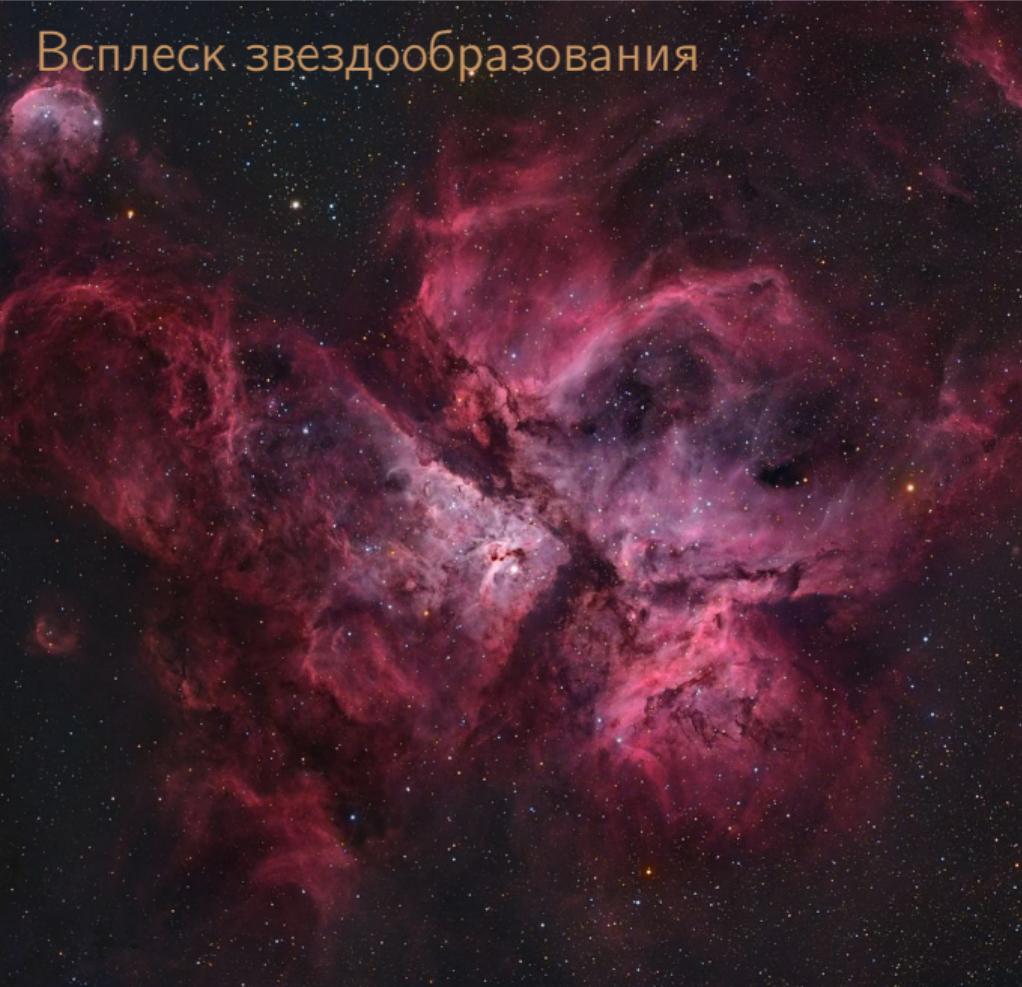
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Всплеск звездообразования



## NGC 3372

Туманность Киля  
Eta Carinae nebula

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

## Равновесие

- ▶ Сжате газа
- ▶ Звёздный ветер

Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

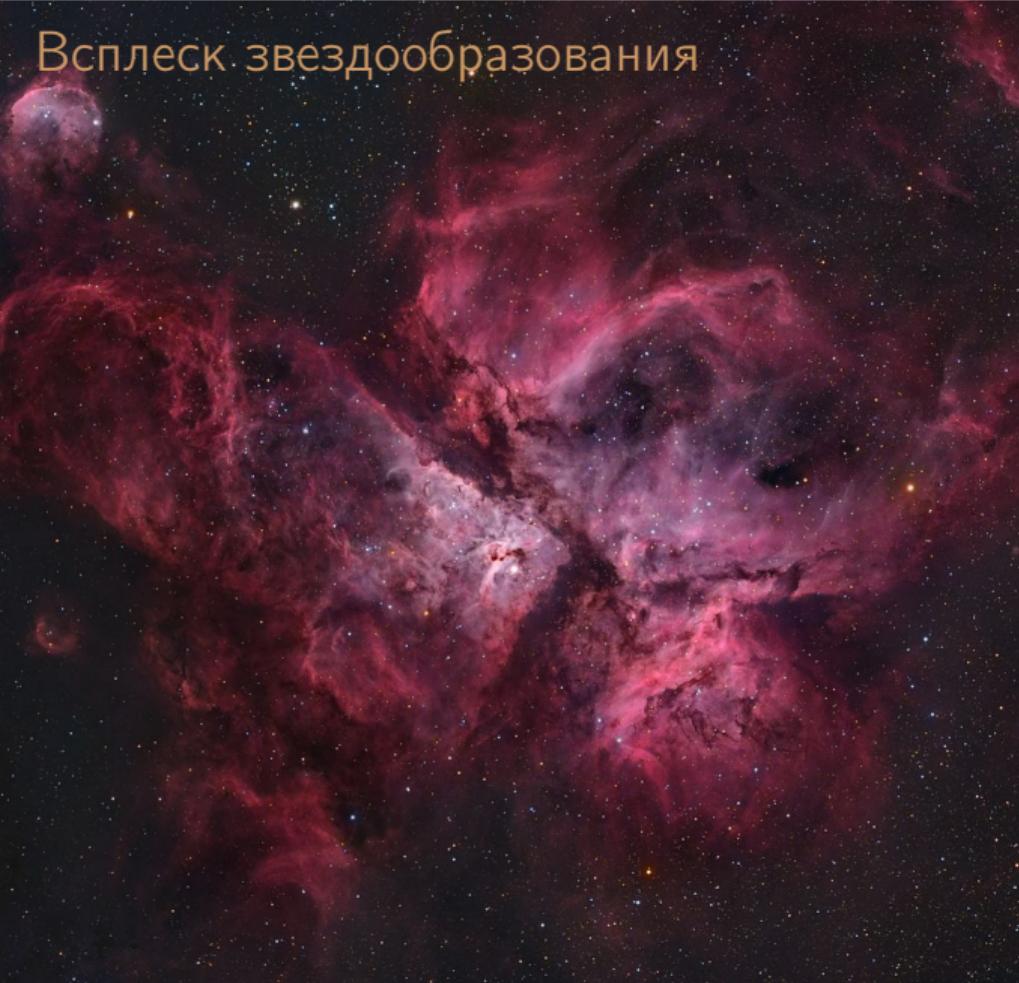
Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Всплеск звездообразования



Армагеддон  
был вчера

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

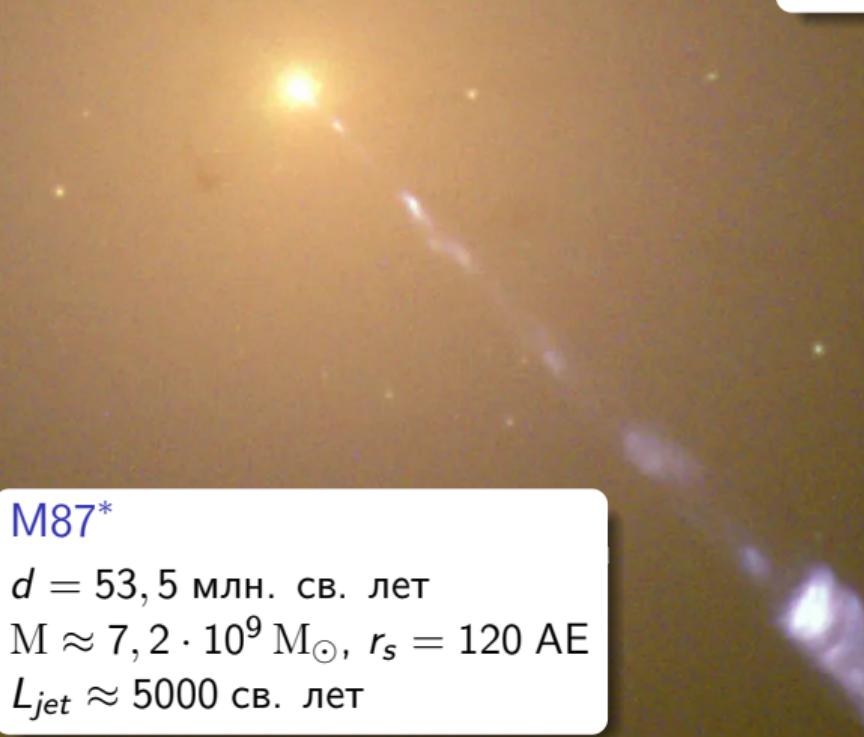
Литература

## Столкновения

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

# 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]



M87\*

$d = 53,5$  млн. св. лет

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

$L_{jet} \approx 5000$  св. лет

## Обычные звёзды

- ▶ Разрыв приливными силами
- ▶ Выбрасывание из галактики

Надо попасть:  $r_s \approx 10$  АЕ

## Газовые туманности

Квазар ( $\sim 10^7$  сверхновых)

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

## Ядро

Ядерные реакции:  $4p \rightarrow \alpha$

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

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

Гидростатическое равновесие

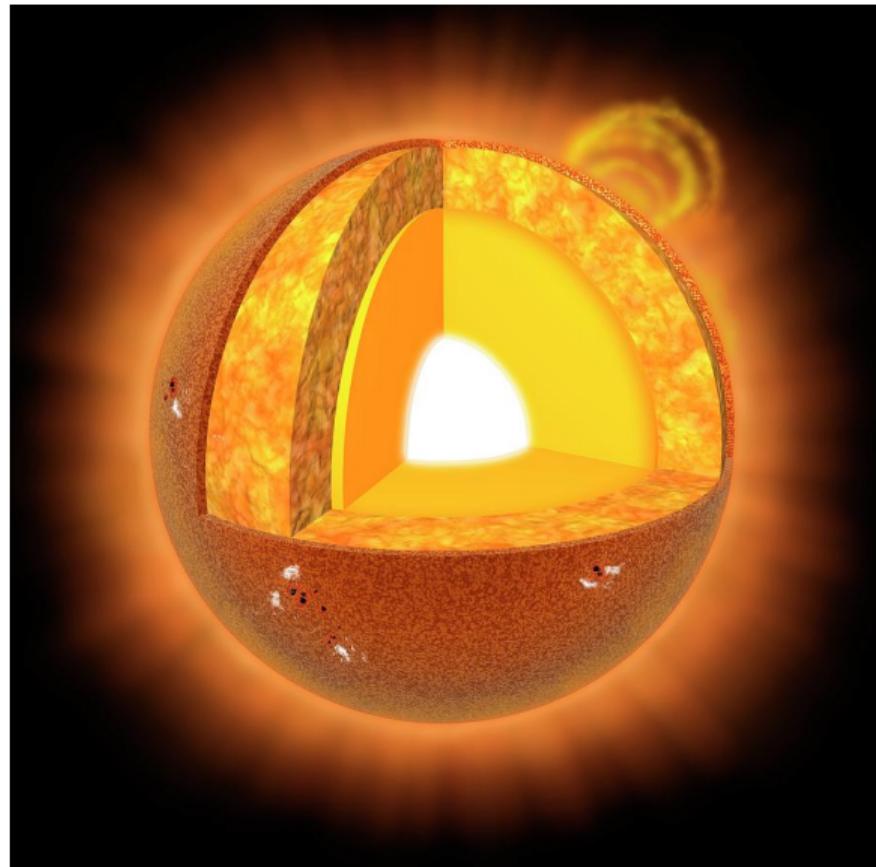
## Зона лучистого переноса

Энергию переносит свет

За миллионы лет

## Конвективная зона

Перенос энергии потоками  
вещества



Звезда главной последовательности,  $\varnothing \approx 0,01$  АЕ

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

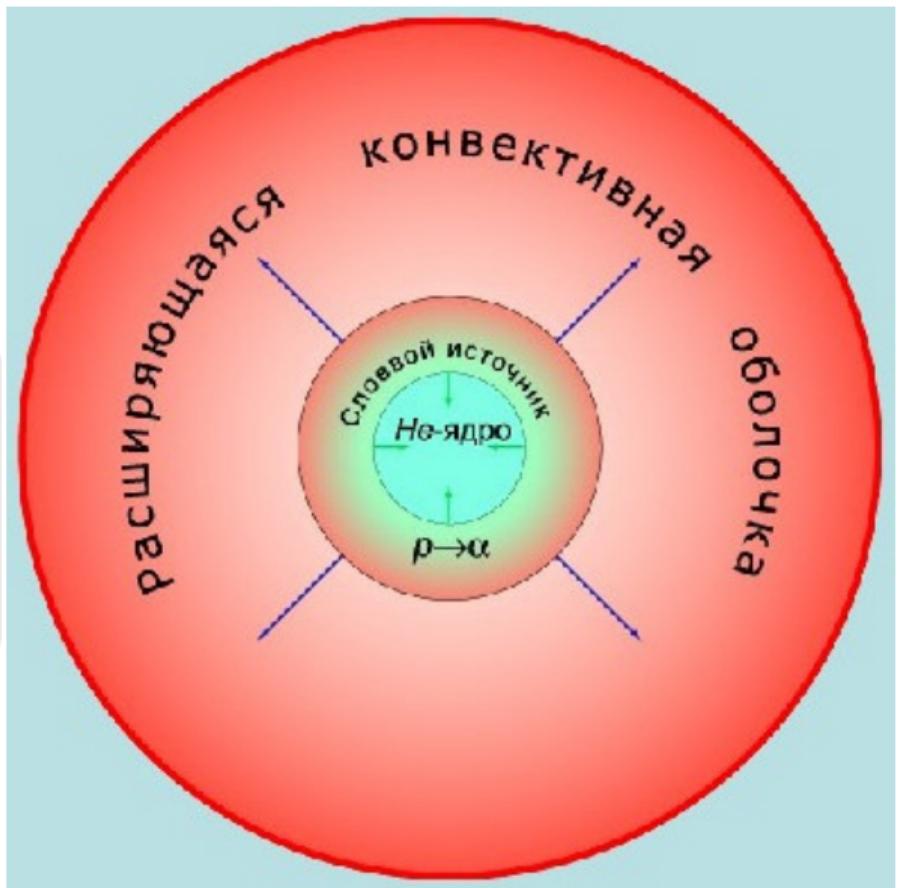
Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература

В ядре кончился водород

- ▶ Гелий ещё не “горит”
- ▶ Синтез в тонком слое  
вокруг ядра
- ▶ Масса ядра растёт



Красный гигант

## Конвективная зона

- ▶ Водород
- ▶ Нет ядерных реакций

Водород

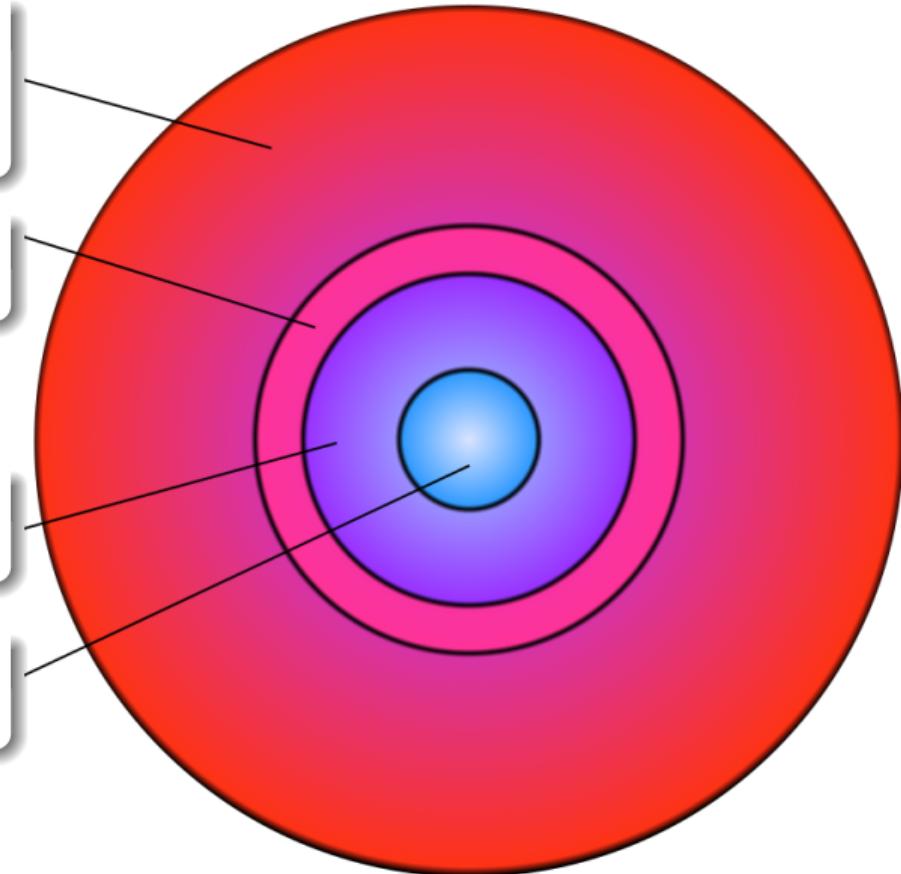
Синтез гелия

Гелий

Синтез углерода

Углерод

Нет ядерных реакций



Красный гигант,  $\varnothing \approx 1$  АЕ

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

## Планетарная туманность



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

### NGC 6543

Кошачий глаз

$d \approx 3300$  св. лет

$\varnothing \approx 0.4$  св. лет

### Белый карлик

$T \approx 15000$  K

$M \approx 0.65 M_{\odot}$

# Добейте выживших

$\Lambda$  – CDM

Вечное ускоренное расширение

600 млрд. лет

Все галактики за космологическим горизонтом

100 трлн. лет

Погаснет последняя звезда

$10^{15}$  лет

Развал планетарных систем

$10^{100}$  лет

Испарится последняя чёрная дыра

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андромеды

Красное  
Солнечко

Прекрасное  
далёко

Литература

# Добейте выживших

Армагеддон  
был вчера

$\Lambda$  – CDM

Вечное ускоренное расширение

600 млрд. лет

Все галактики за космологическим горизонтом

100 трлн. лет

Погаснет последняя звезда

$10^{15}$  лет

Развал планетарных систем

$10^{100}$  лет

Испарится последняя чёрная дыра

Тепловая смерть

Ничего не происходит.

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

Армагеддон  
был вчера

$\Lambda$  – CDM

Вечное ускоренное расширение

600 млрд. лет

Все галактики за космологическим горизонтом

100 трлн. лет

Погаснет последняя звезда

$10^{15}$  лет

Развал планетарных систем

$10^{100}$  лет

Испарится последняя чёрная дыра

Тепловая смерть

Ничего не происходит.

Вся Вселенная –

**СКУЧНОЕ**

место

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, Laurence R. Doyle

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

[arXiv:0912.2482](#)

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](https://arxiv.org/abs/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](https://arxiv.org/abs/1805.04079)

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

Определение и  
классификация

Столкновения с  
астероидами

Взрывы  
сверхновых

Гамма-всплески

Смещение  
обитаемой зоны

Слияние  
Млечного Пути  
и Андromеды

Красное  
Солнышко

Прекрасное  
далёко

Литература