

Массы и размеры звёзд: ключевые вопросы

Изучение массы и размера звёзд — основа понимания
их жизни и эволюции.





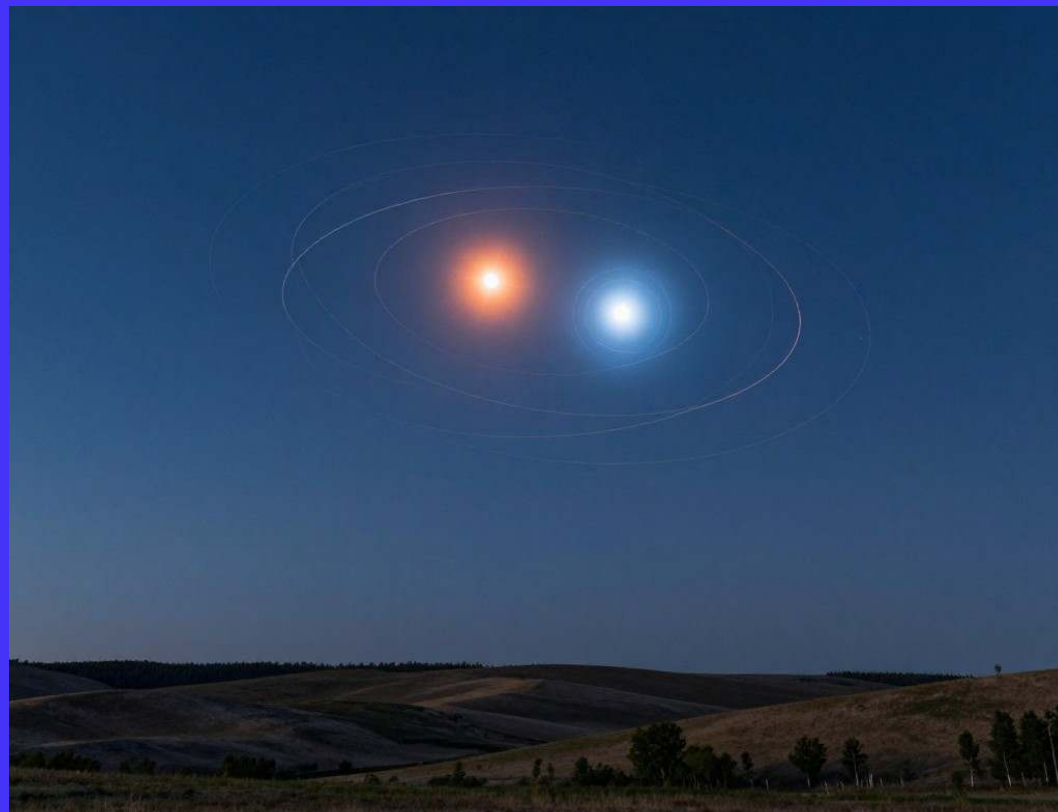
Звёзды формируют структуру Вселенной. Их масса и размер влияют на светимость, продолжительность жизни и конечную судьбу. Изучение характеристик раскрывает процессы формирования элементов и эволюции космоса.

Роль параметров массы и размера в астрономии

Методы определения массы звезды

Наблюдение двойных систем

Определение массы звёзд происходит через анализ орбитальных движений в бинарных системах по законам Кеплера. Изучение движения компонентов позволяет вычислить массу каждого.



Спектроскопический анализ

Метод основан на исследовании доплеровских сдвигов линий в спектре звёзд, что помогает определить скорость движения и, косвенно, массу через динамические модели.



Фотометрическая оценка массы

Используется связь масса–светимость для приближённых расчётов массы звёзд на основе измеренной светимости и температуры. Пример — масса звёзд системы Сириус.



Измерение размеров звёзд

Радиус звезды косвенно определяется через закон Стефана–Больцмана, который связывает светимость, температуру и площадь поверхности. Это позволяет вычислять размер, исходя из наблюдаемых параметров.

Прямое измерение радиуса возможно с помощью интерферометрии, особенно для близких и ярких звезд. Диапазон радиусов варьируется от белых карликов до гигантов с радиусом свыше 1500 солнечных.



Характеристики масс и радиусов по спектральным классам

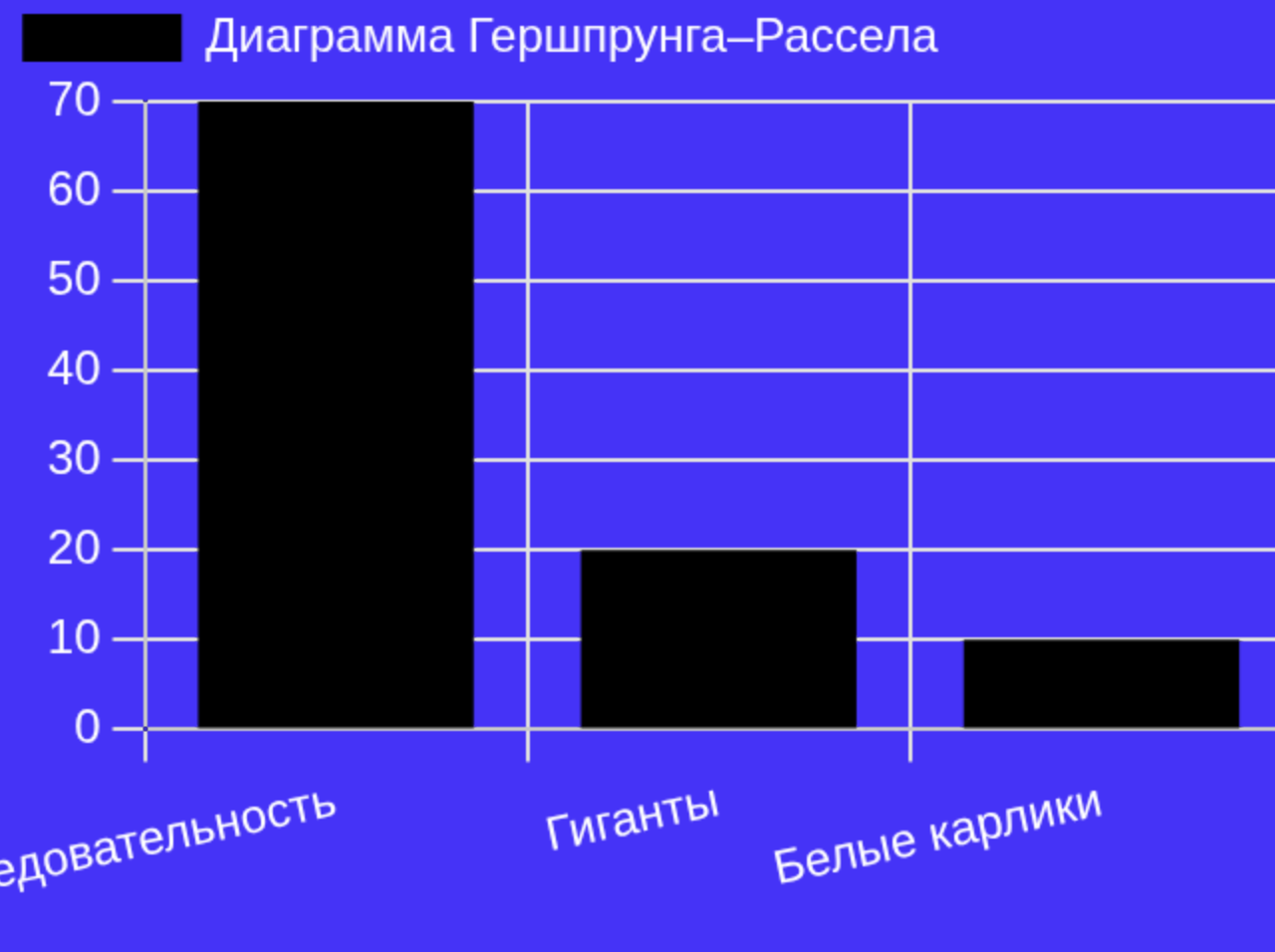
Таблица содержит массу (в массах Солнца) и радиус (в радиусах Солнца) для основных спектральных классов — от O до M.

Размеры и массы звёзд значительно варьируются между классами, напрямую влияя на их жизненные циклы и свойства.

Класс	Масса ($M_{\odot}$)	Радиус ($R_{\odot}$)
O	60–100	10–20
B	10–30	3–7
A	1,5–3	1,4–2
F	1,0–1,5	1,1–1,3
G	0,8–1,0	0,9–1,1
K	0,5–0,8	0,7–0,9
M	0,1–0,5	0,2–0,7

Курцштерн, 2022

Распределение звёзд по типам на диаграмме Гершпрунга–Рассела



Астрономические обзоры, 2023

Большинство звёзд сосредоточено на главной последовательности, где масса и светимость тесно связаны.

Зависимость массы и светимости определяет этапы эволюции и конечные судьбы звёзд различных классов.

NASA, 2023

$1,989 \times 10^{30}$

КГ

масса Солнца задаёт базис для изучения
свойств других звёзд.

С массой около 2×10^{30} кг и радиусом
более 695 тысяч километров, Солнце
служит стандартом для оценки
характеристик других светил.

Связь массы и светимости звёзд

Зависимость светимости от массы

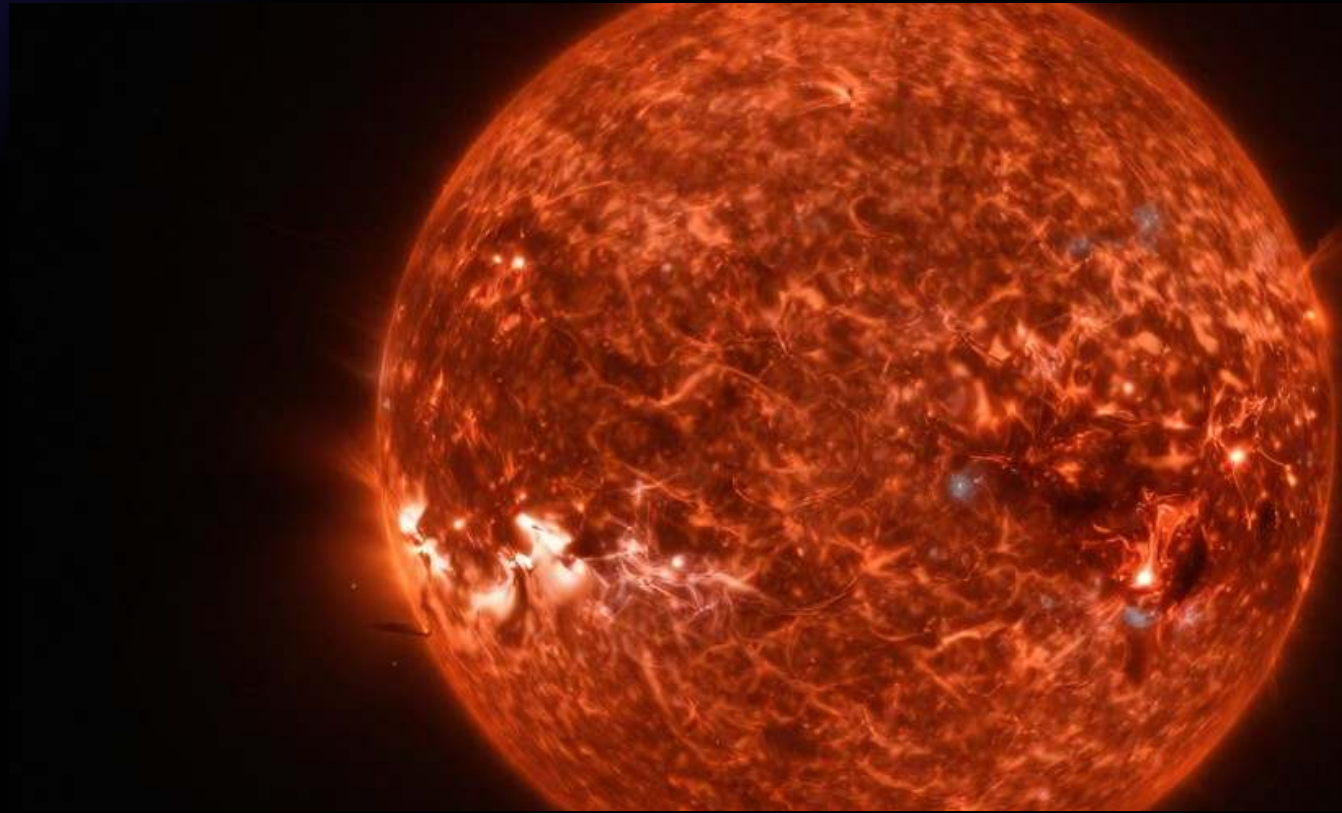
Для звёзд главной последовательности светимость в среднем пропорциональна массе в степени 3,5, что означает резкое возрастание энергии при увеличении массы.

Отклонения в экстремальных случаях

Некоторые очень малые или сверхмассивные звёзды отклоняются от этой зависимости из-за особенностей внутренней структуры и процессов горения.

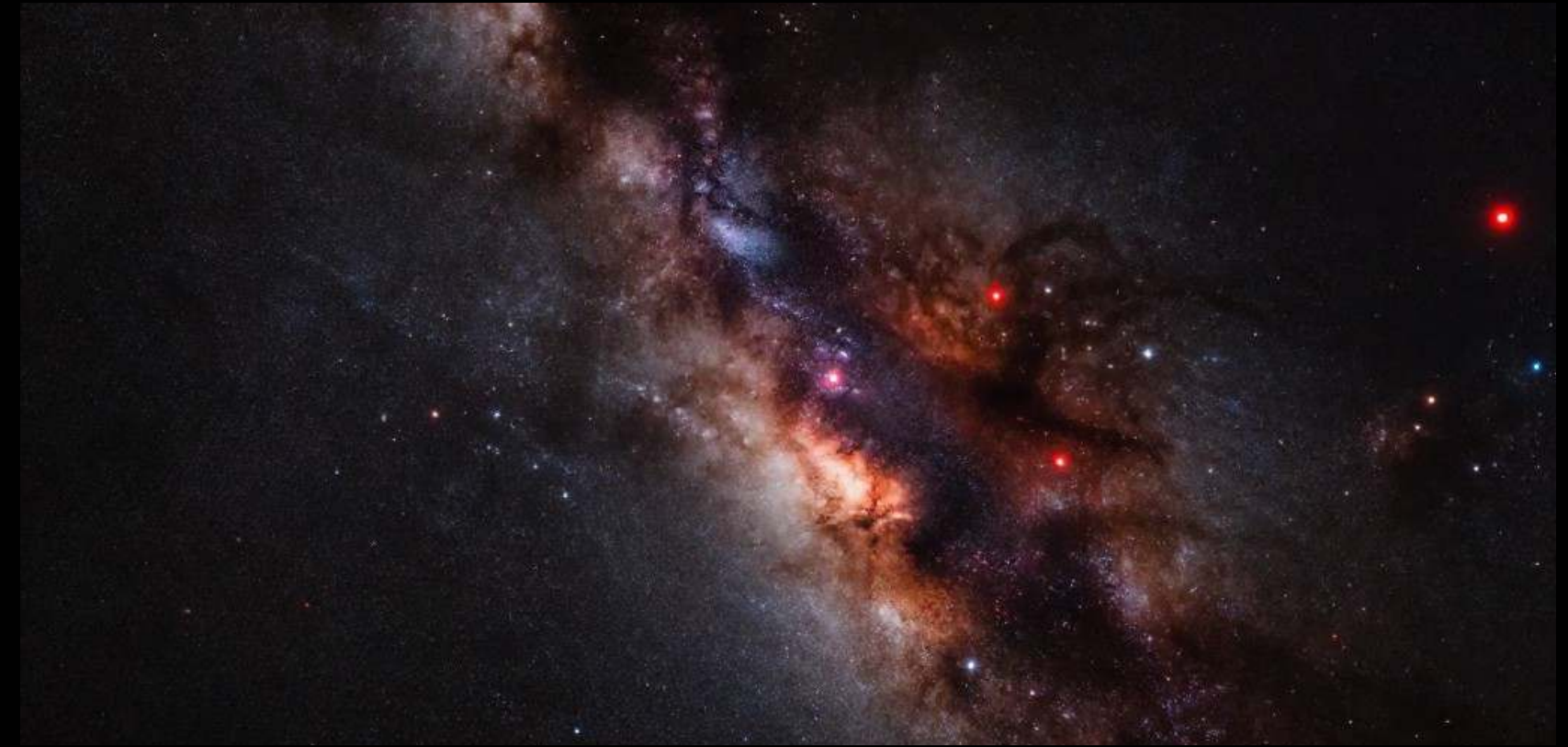


Особенности красных карликов — самых маленьких звёзд



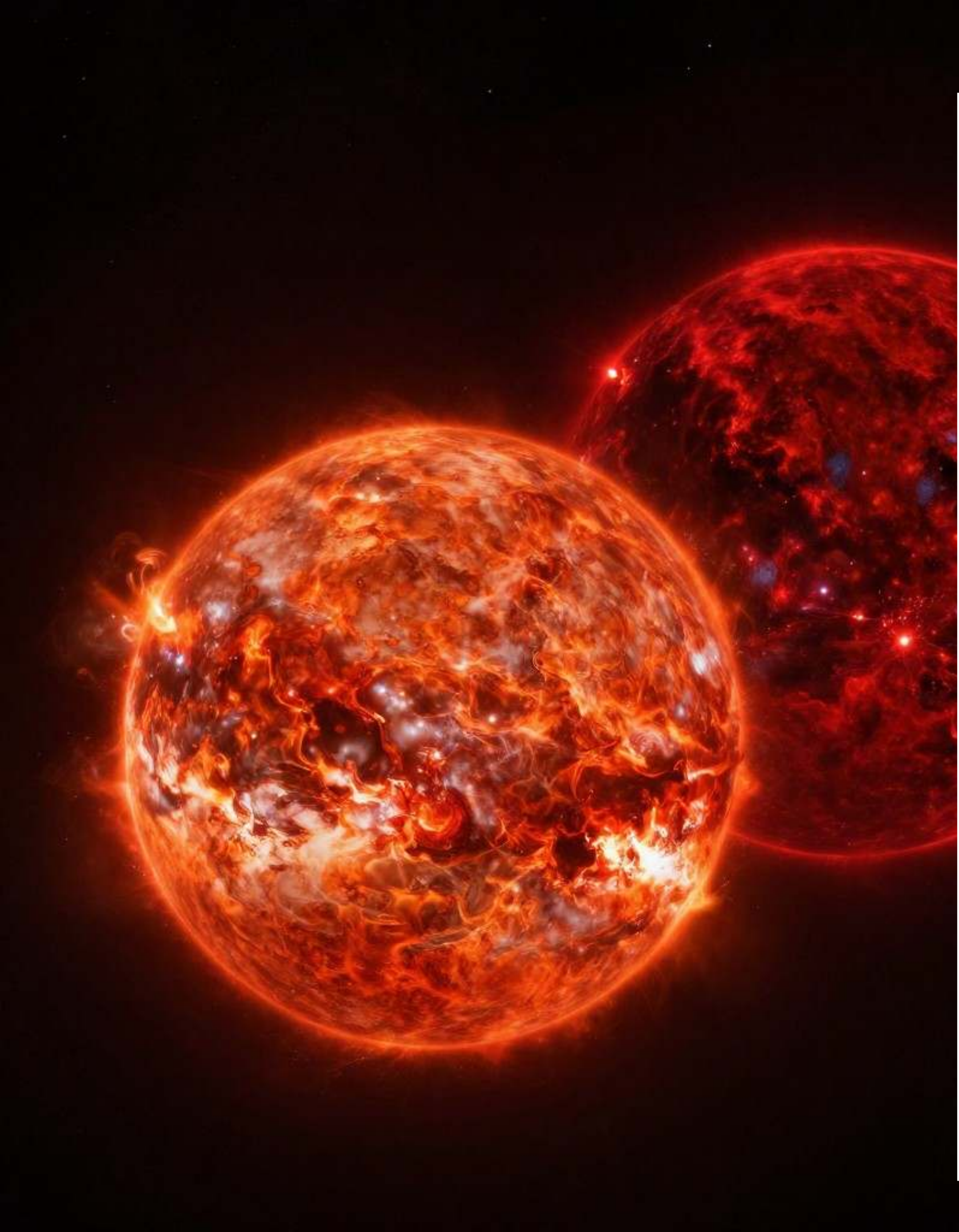
Проксима Центавра — ближайшая звезда

Это красный карлик с массой около 0,12 солнечной и радиусом 0,15 от солнечного. Обладает низкой светимостью и температурой, что обеспечивает многомиллиардный жизненный цикл.



Распространённость красных карликов в Галактике

Свыше 70% звёзд Млечного Пути — красные карлики. Они медленно эволюционируют и продолжают существовать миллиарды лет, влияя на звёздную популяцию в целом.



Гигантские и сверхгигантские звёзды

- Бетельгейзе занимает радиус около 900–1200 солнечных. Его масса достигает 15–20 солнечных. Высокая светимость и нестабильность характеризуют эту звезду как красного супергиганта.
- VY Большого Пса является одной из крупнейших сверхгигантских звёзд с радиусом до 1700 солнечных и массой около 17 масс Солнца. Эти звёзды активно влияют на межзвёздную среду через выброс веществ.

Чёрные дыры и нейтронные звёзды: предел массы

- 01 Звёзды с массой более восьми солнечных после завершения основных стадий эволюции превращаются в нейтронные звёзды или чёрные дыры. Нейтронные звёзды имеют массу от 1,4 до 3 солнечных и радиус около 10–20 километров, являясь одними из самых плотных известных объектов.
- 02 Чёрные дыры формируются при массе свыше 3 солнечных, их радиус определяется событием горизонта. Например, пульсар Крабовидной туманности демонстрирует экстремальные гравитационные условия и плотности, значительно отличаясь от обычных звезд.

Белые карлики: минимальные размеры, средняя масса

Образование белых карликов

Белые карлики возникают из звёзд с массой менее восьми солнечных, завершивших фазу главной последовательности. Они представляют собой компактные остатки с высокой плотностью и низкой светимостью, постепенно остывающие с течением времени.



Физические характеристики

Средняя масса белого карлика не превышает 1,4 солнечных масс (предел Чандрасекара), при радиусе около 0,01 солнечного. Примером служит Сириус В — небольшая, но очень плотная звезда с остаточным тепловым излучением.





Звёзды с экстремальными размерами

- UY Щита — самая крупная звезда по радиусу, достигающая до 1700 солнечных при массе около 25 масс Солнца. Её огромный объём обусловлен очень низкой средней плотностью и расширенной атмосферой.
- Сверхгиганты, такие как VY Большого Пса и Бетельгейзе, демонстрируют значительные размеры, но при этом их масса зачастую не пропорциональна объёму, что подчёркивает различия в плотности и структуре таких звёзд.

Пределы массы и устойчивости звёзд

01

Минимальная масса звёзд для поддержания термоядерных реакций составляет около 0,08 солнечных масс, ниже этого порога формируются коричневые карлики с неполным горением.

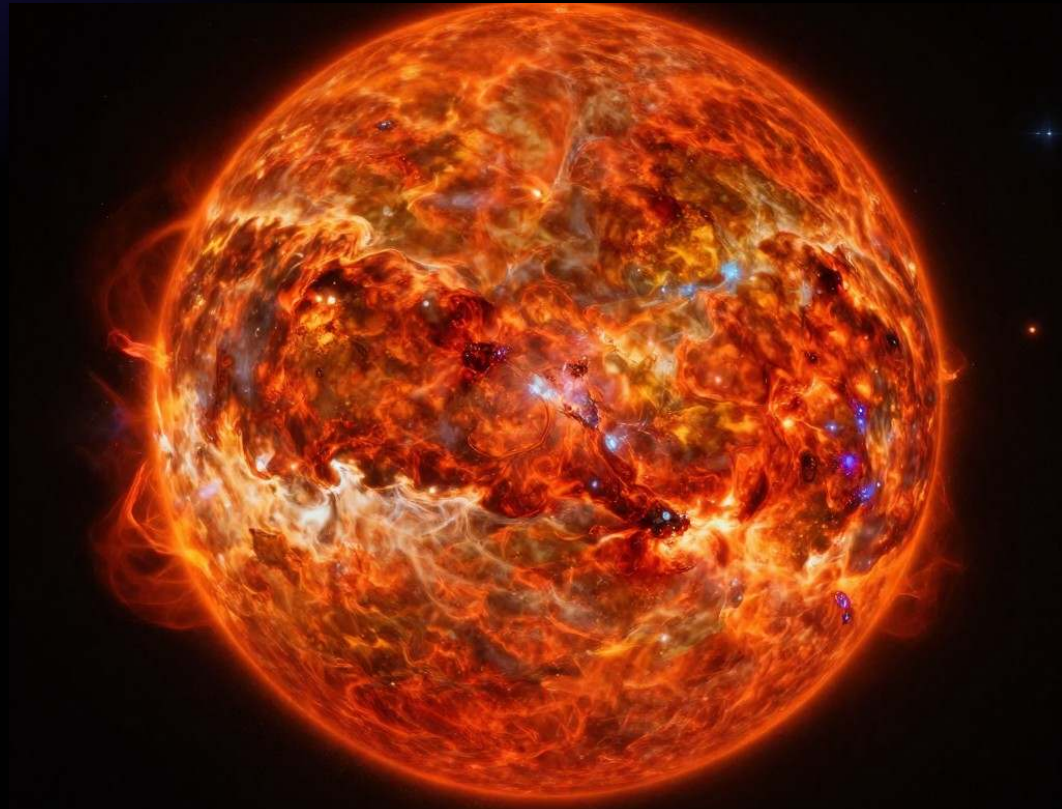
02

Верхний предел массы звезды оценивается в 150–200 солнечных масс, где избыточное излучение приводит к сильному давлению, что делает звезду нестабильной и препятствует дальнейшему росту.

03

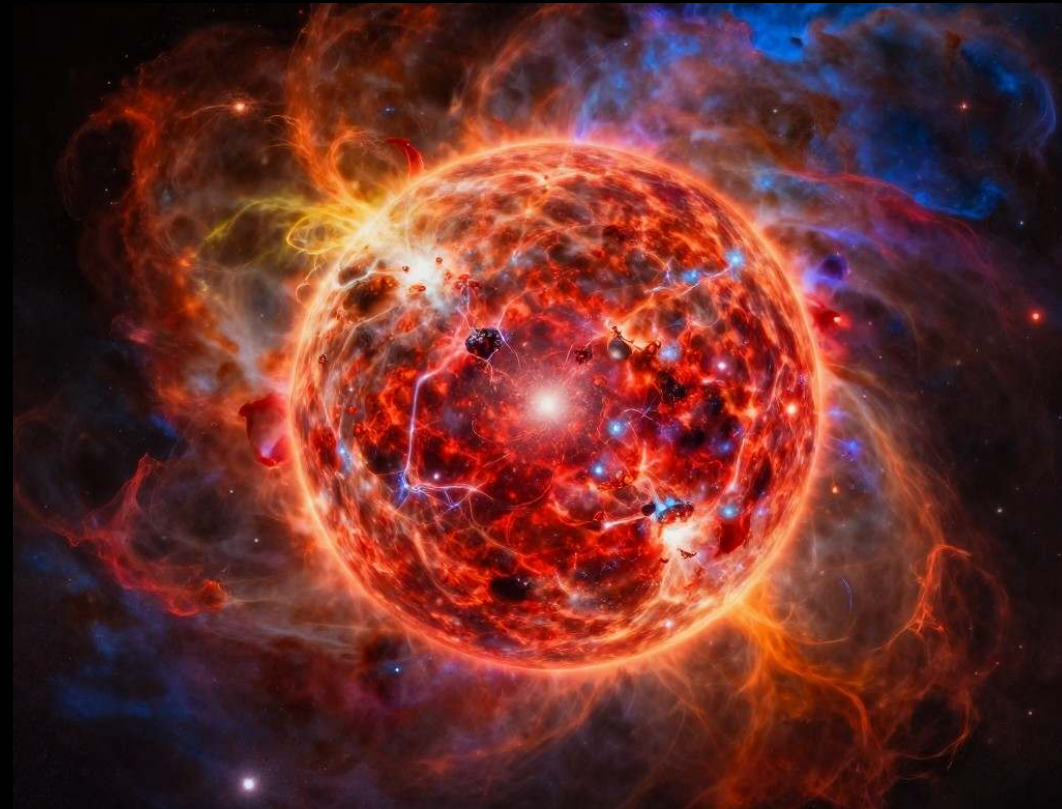
Эти граничные значения обусловлены балансом между гравитационными силами и радиационным давлением, определяя диапазон устойчивых звёздных объектов во Вселенной.

Эволюция звёздных размеров и массы



Рост радиуса при выходе из главной последовательности

При переходе на стадию красного гиганта радиус звезды увеличивается в десятки и сотни раз за счёт расширения внешних оболочек. Этот этап сопровождается изменениями в термоядерных процессах внутри ядра.



Потери массы через звёздный ветер

Во время гигантской фазы интенсивно происходит потеря массы за счёт мощных потоков вещества, которые влияют на последующую эволюцию и химический состав окружающего пространства.



Финальные стадии и остаточные объекты

Завершающие эпизоды жизни звезды включают выброс оболочек в сверхновой или формирование планетарной туманности, с образованием белых карликов, нейтронных звёзд или чёрных дыр в зависимости от начальной массы.

Влияние состава звезды на её массу и размер

01

Высокая металличность в составе звезды способствует увеличению её радиуса, так как тяжёлые элементы влияют на оптические свойства и процессы переноса энергии в звёздной атмосфере.

02

Металличность ускоряет потерю массы через звёздный ветер, что сказывается на длительности жизни и особенностях эволюции светил главной последовательности.

03

Состав влияет на образование планетных систем: у звёзд с высоким содержанием металлов выше вероятность формирования планет земного типа.

04

Звёзды с низкой металличностью, характерные для галактического гало, имеют меньшие размеры и отличаются более стабильной, но медленной эволюцией.

Сравнение параметров звёзд известных систем

В таблице представлены масса, радиус и тип некоторых известных звезд, демонстрируя разнообразие даже среди ближайших светил.

Данные подчёркивают широкий диапазон масс и размеров звёзд различных типов и стадий эволюции.

Система	Масса (масс Солнца)	Радиус (радиусов Солнца)	Тип
Сириус А	2,1	1,7	A1V
Сириус В	1,02	0,008	DA2
Проксима Центавра	0,122	0,154	M5.5V
Бетельгейзе	11,6	887	M2Iab
УY Щита	25	1700	M4Ia

SIMBAD, 2023

Массы звёзд в контексте галактических исследований

Функция распределения масс звёзд, предложенная Салпитером, показывает, что подавляющее большинство звёзд имеют массу ниже солнечной. Массивные звёзды встречаются крайне редко, менее чем у одного процента населения.

Это распределение влияет на химическую эволюцию Галактики, количество сверхновых и формирование массивных компактных объектов, включая чёрные дыры.



Современные методы изучения звёздных масс и размеров



Интерферометрия

Позволяет напрямую измерять радиусы звёзд за счёт анализа интерференционных картин, особенно эффективно для близких и ярких объектов.



Наблюдения бинарных и затменных систем

Измерение орбитального движения компонентов позволяет вычислять массу звёзд и их размеры с опорой на законы Кеплера.



Астросейсмология

Исследует колебания звёзд для определения их внутренней структуры, массы и радиуса с высокой точностью.



Спутниковые миссии Gaia и Kepler

Накопление большого объёма астрофизических данных, обеспечивающее точность в измерениях параметров миллионов звёзд.



Масса и размер звёзд определяют их жизненный путь и влияние на галактическую среду. Развитие методов наблюдения расширяет наше понимание Вселенной и её фундаментальных процессов.

Значение изучения массы и размеров звёзд