

Переменные и нестационарные звёзды

2019

Что такое звезда?

Звезда — самосветящийся космический объект, выделение энергии в котором обеспечивается за счёт долговременного протекания термоядерных реакций.

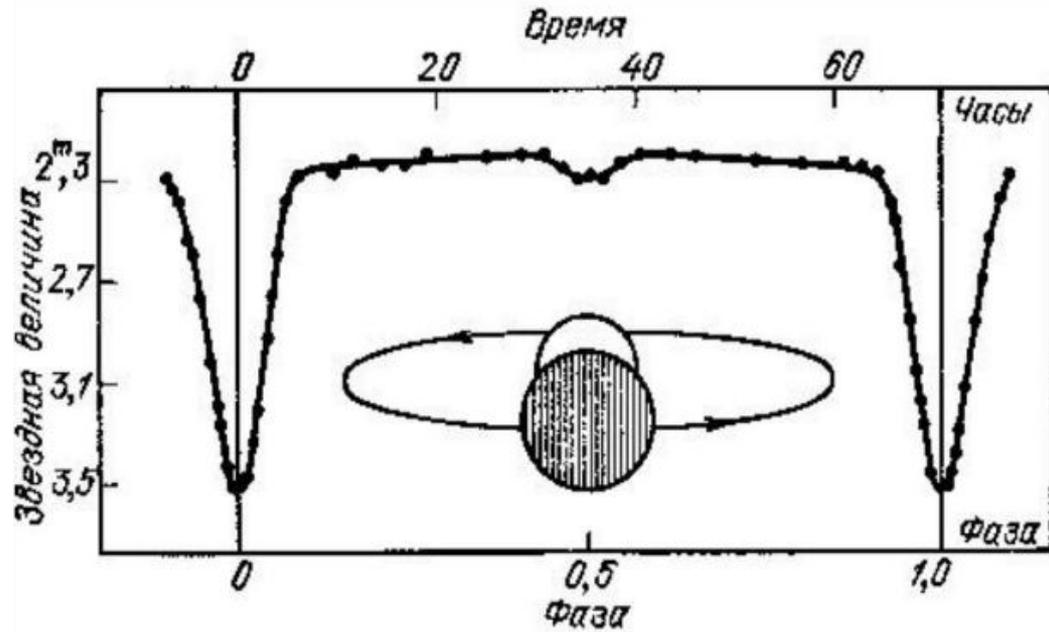
Что такое переменная звезда?

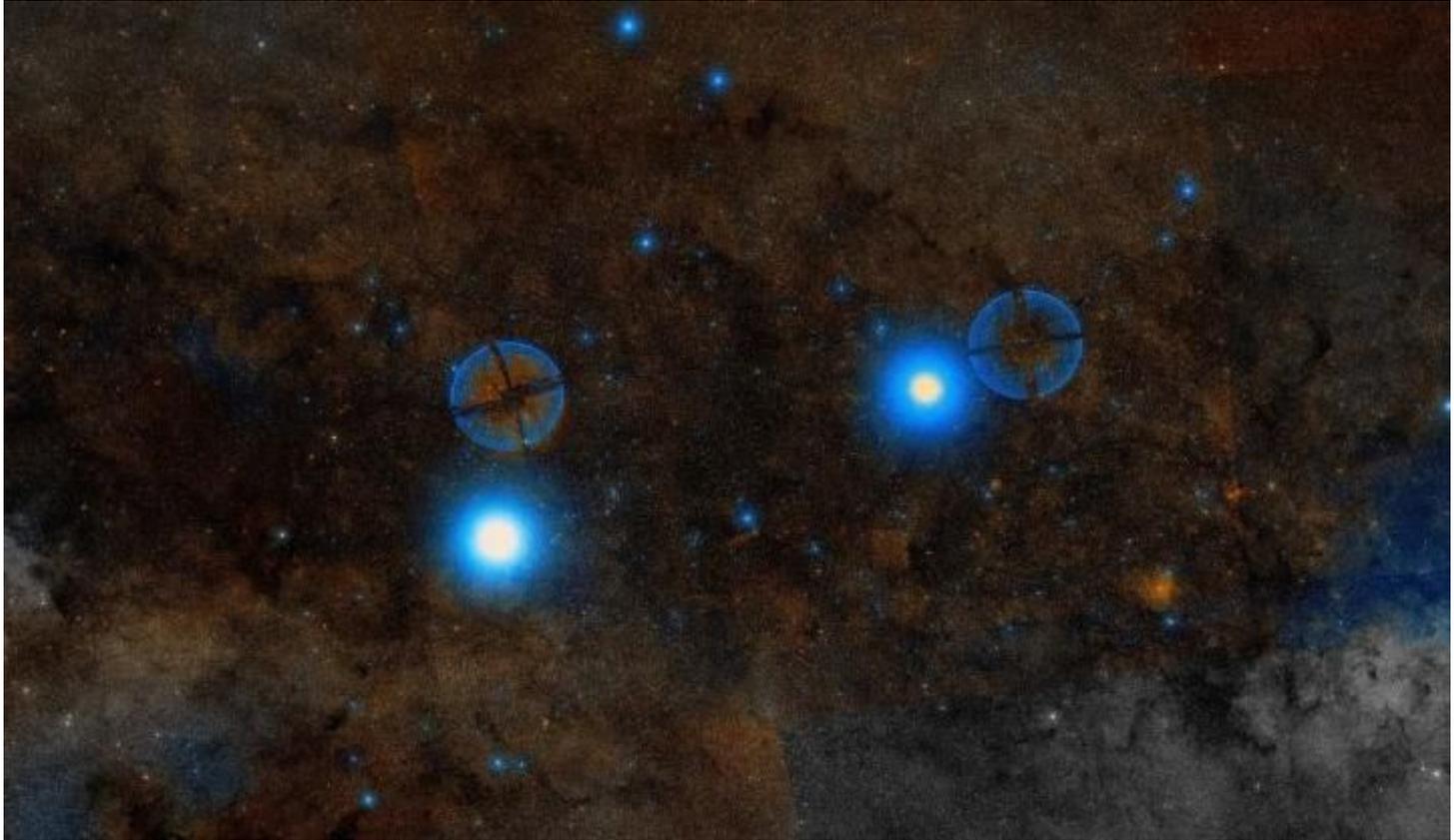
Переменная звезда — звезда, яркость которой изменяется со временем в результате происходящих в её районе физических процессов.

Что такое нестационарные звёзды?

Нестационарные звёзды - звёзды, у которых наблюдается значительное нарушение равновесия внешних слоев

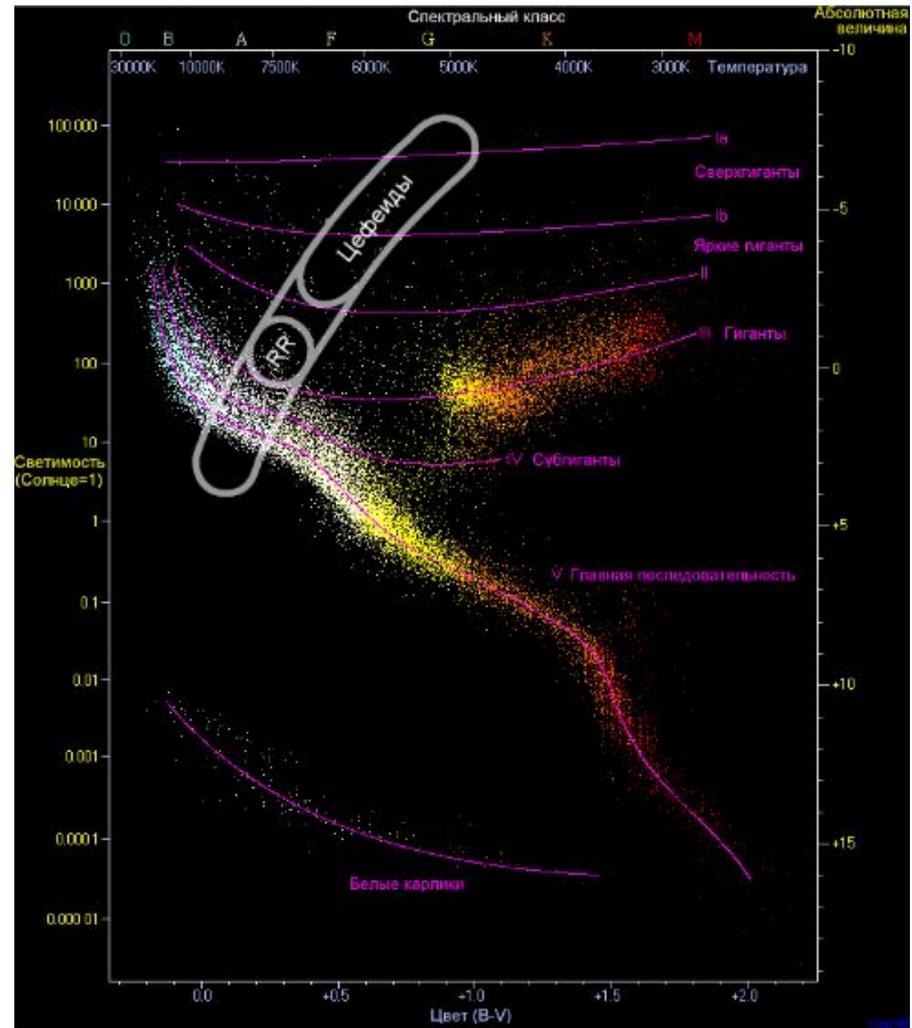
Двойная звезда, или двойная система, — система из двух гравитационно связанных звёзд, обращающихся по замкнутым орбитам вокруг общего центра масс. Примерно половина всех звёзд нашей Галактики принадлежит к двойным системам.







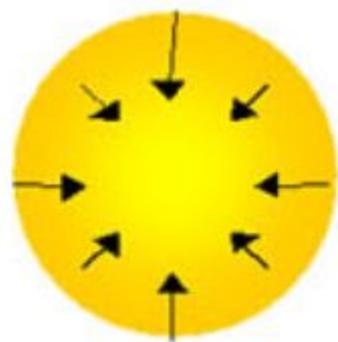
Цефеиды представляют собой желтые яркие гиганты, гиганты или сверхгиганты спектральных классов F и G, блеск которых изменяется с амплитудой в 0,5 до 2,0m и периодом 1—200 суток. Они в 10^3 — 10^5 раз ярче Солнца



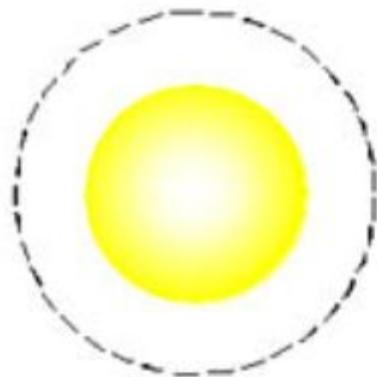
RS Кормы — классическая
цефеида в созвездии Корма



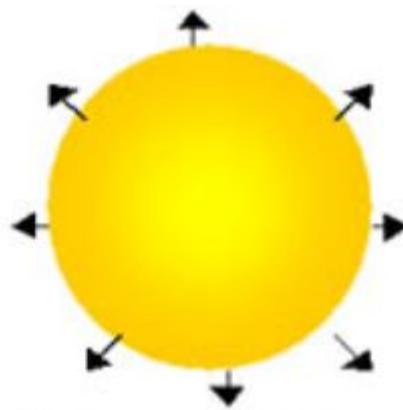
Причиной переменности является пульсация внешних слоёв цефеид. Это приводит к периодическим изменениям радиуса и температуры их фотосфер. В цикле пульсации звезда становится то больше и холоднее, то меньше и горячее. Наибольшая светимость достигается при наименьшем диаметре.



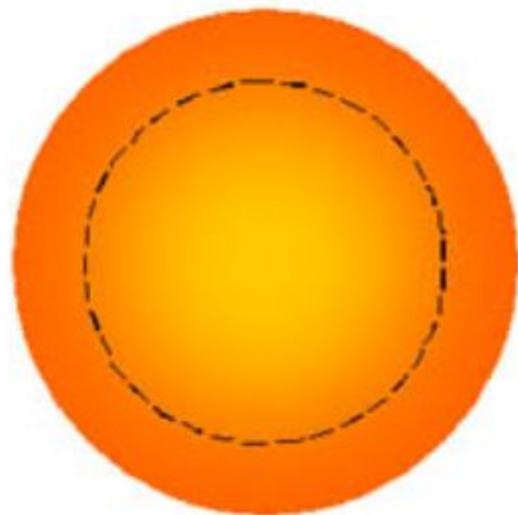
Сжатие



R_{\max} , T_{\min} , L_{\min}



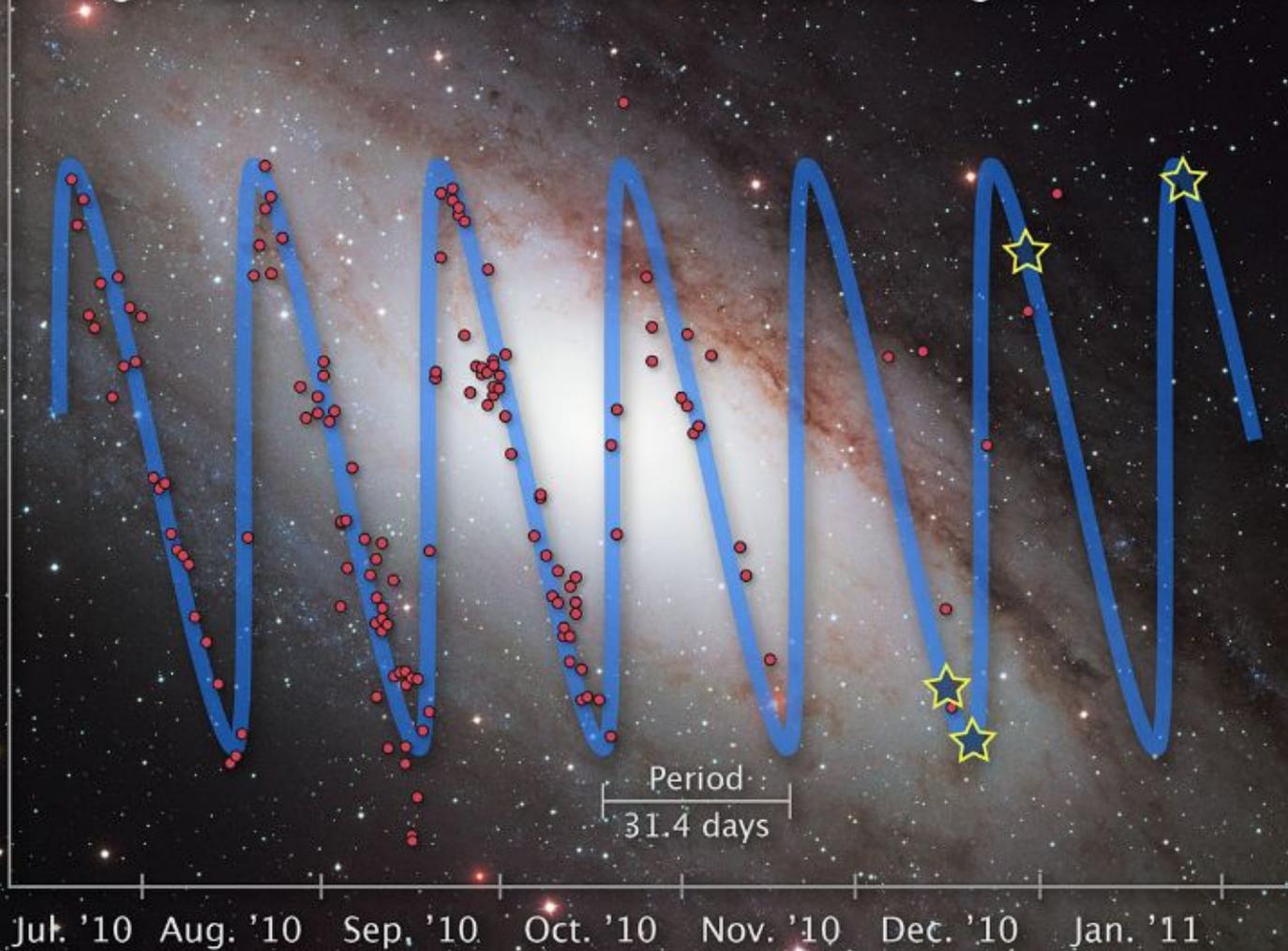
Расширение

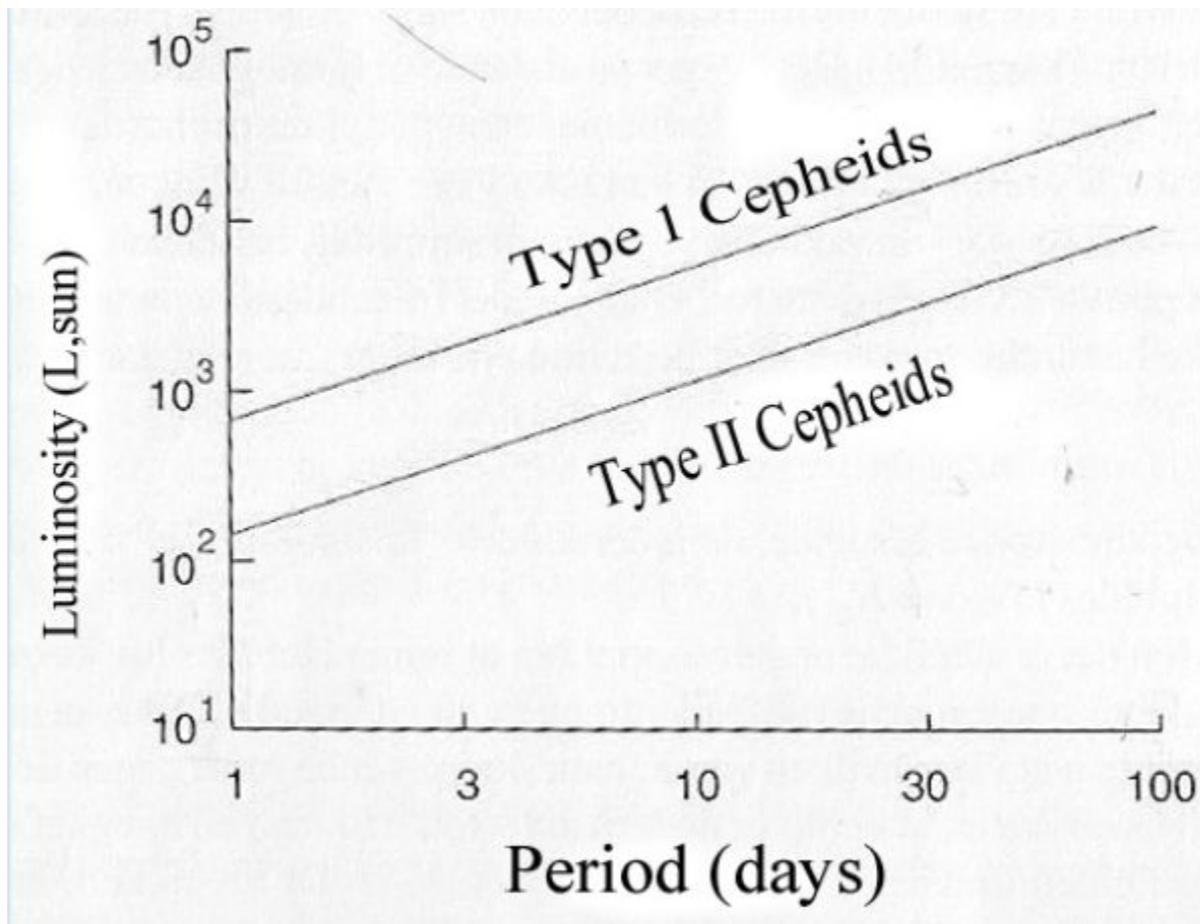


R_{\min} , T_{\max} , L_{\max}

Light curve of Cepheid variable star V1 in galaxy M31

Brightness





Цефеиды населения I обитают в рассеянных звездных скоплениях.

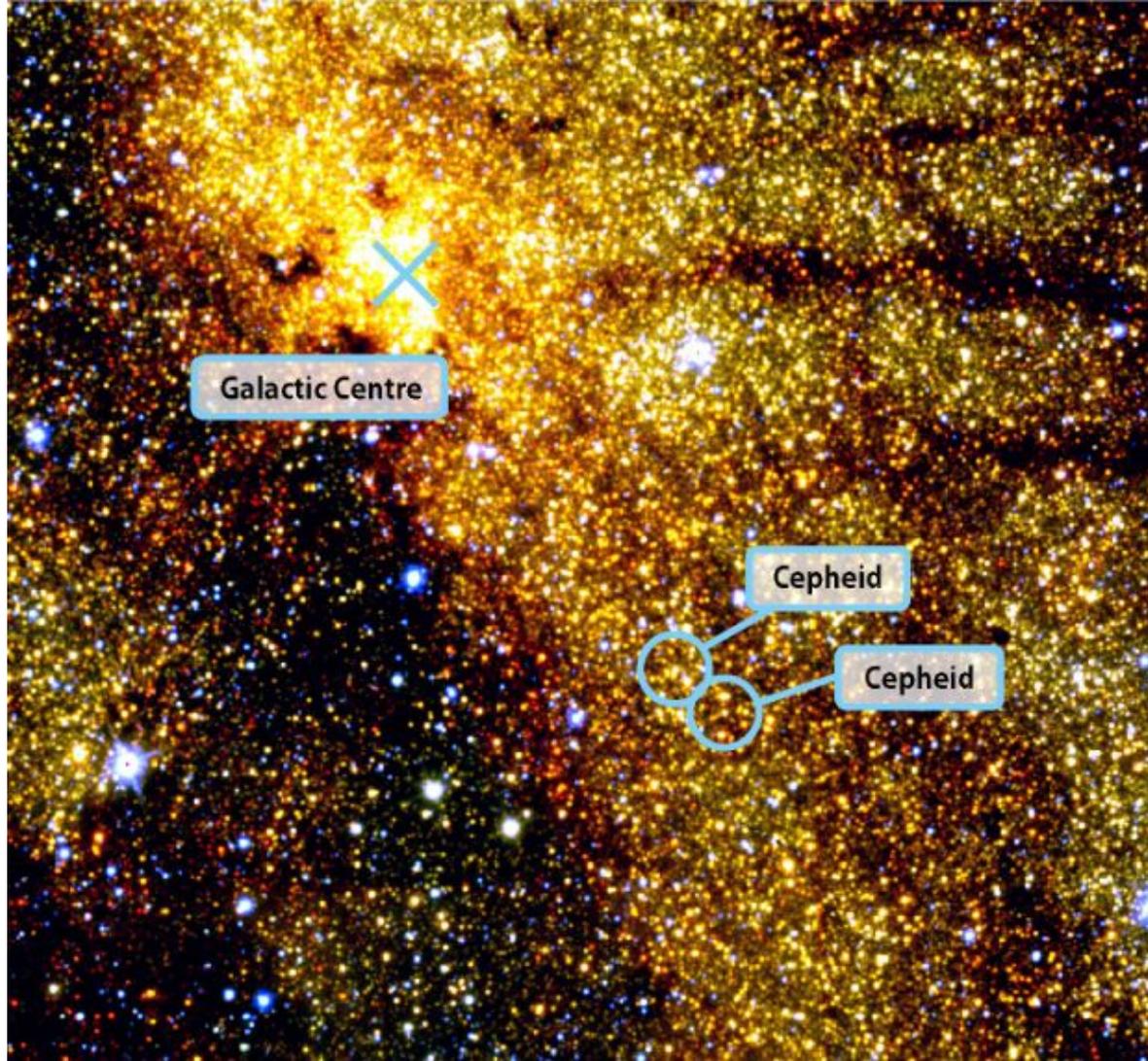
Цефеиды населения II наиболее часто встречаются в шаровых скоплениях, расположенных вблизи галактического центра. Их возраст выше возраста звезд населения I, а свечение заметно ниже.

В 1784 году Джон Гудрайк открыл переменность δ Цефея (5,37 суток).

В 1908 году Генриетта Суон Ливитт открыла зависимость между периодом изменения блеска и светимостью звезды.

Харлоу Шепли первым широко применил метод определения расстояний по цефеидам, основанный на зависимости период-светимость для этих звёзд.

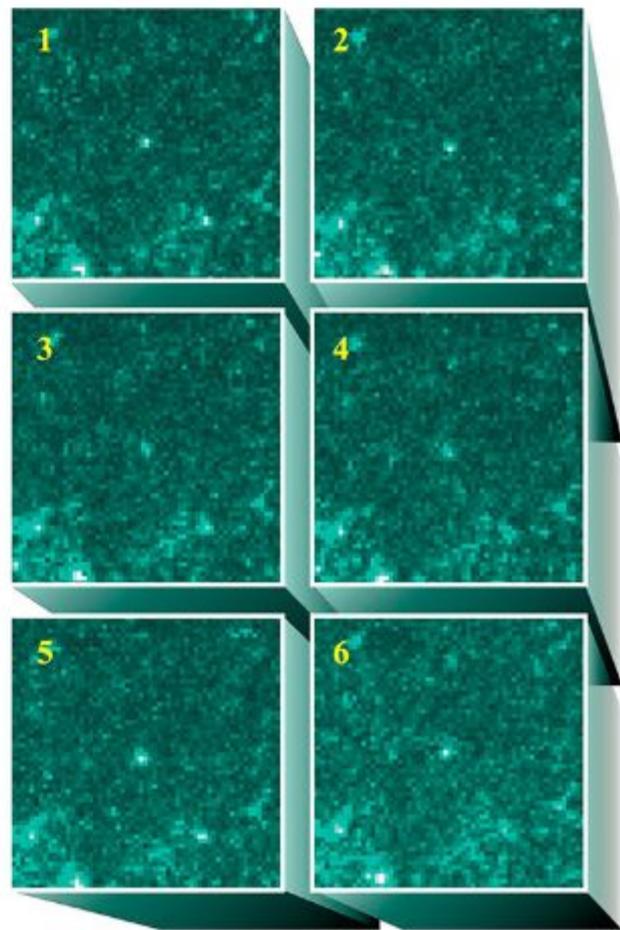
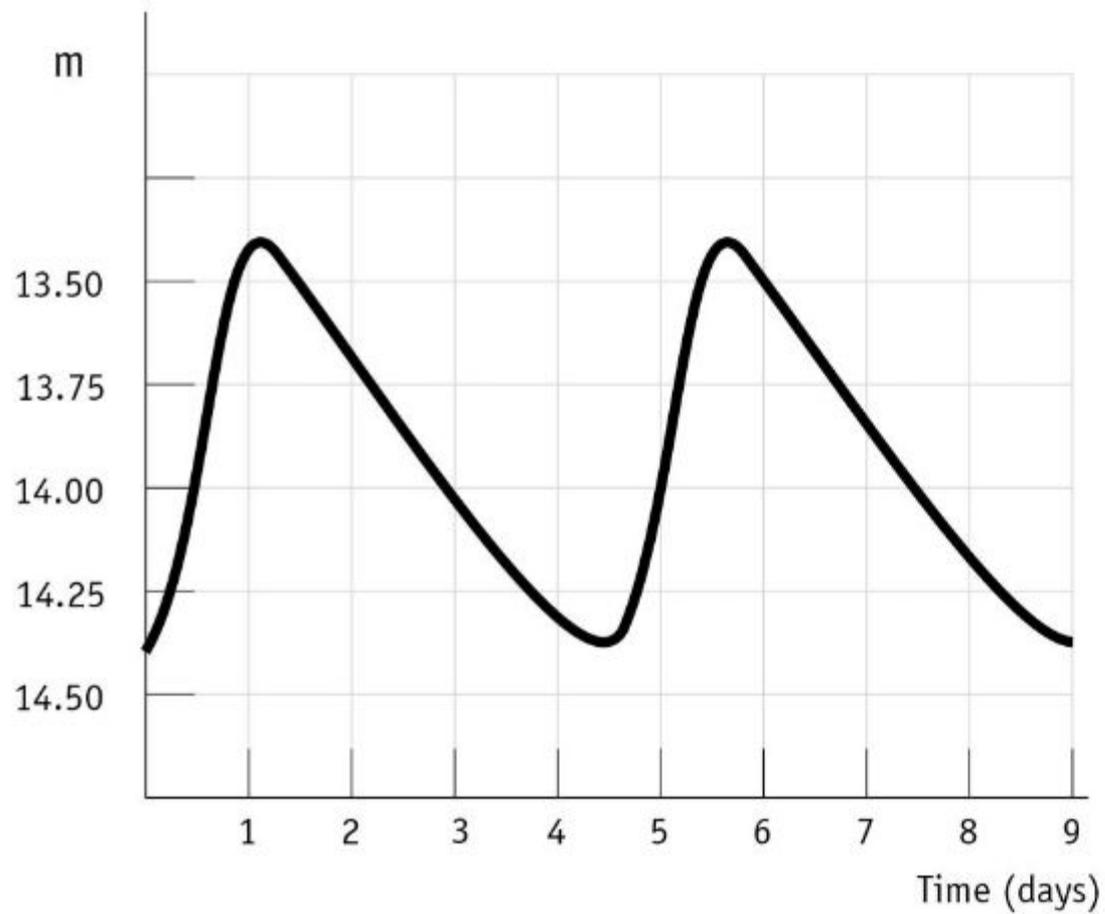
Эти небесные тела позволяют вычислить расстояние к удаленным космическим объектам, в частности галактикам. Происходит это следующим образом. Допустим, вы обнаружили цефеиду в другой галактике. Первое, что вам нужно сделать – это вычислить период ее пульсации, благодаря которому вы сможете измерить светимость звезды. Сравнив последнюю величину с ее видимым блеском, можно узнать расстояние до звезды, а также до галактики, в которой вы ее обнаружили



Galactic Centre

Cepheid

Cepheid



P measured in days. The following relations can also be used to calculate the distance d to classical Cepheids:

$$5 \log_{10} d = V + 3.34 \log_{10} P - 2.45 (V - I) + 7.52$$

I and V represent near infrared and visual apparent mean magnitudes, respectively.

$$5 \log_{10} d = V + 3.34 \log_{10} P - 2.45(V - I) + 7.52.$$

Звёзды Вольфа — Райе — класс звёзд, для которых характерны очень высокая температура и светимость. К настоящему моменту известно около 230 звёзд Вольфа — Райе. Они отличаются от других горячих звёзд наличием в спектре широких полос излучения водорода, гелия, а также кислорода, углерода, азота в разных степенях ионизации.

Спектроскопические данные свидетельствуют о том, что из звёзд Вольфа — Райе происходит мощное истечение вещества.



Сверхновая звезда

Сверхновая звезда или **вспышка сверхновой** — явление, в ходе которого звезда резко увеличивает свою яркость на 4—8 порядков (на 10-20 звёздных величин) с последующим сравнительно медленным затуханием вспышки. Является результатом катаклизмического процесса, возникающего в конце эволюции некоторых звёзд и сопровождающегося выделением огромного количества энергии.

The progenitor of a Type Ia supernova



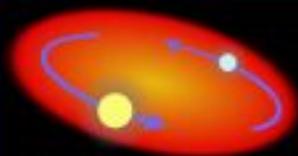
Two normal stars are in a binary pair.



The more massive star becomes a giant...



...which spills gas onto the secondary star, causing it to expand and become engulfed



The secondary, lighter star and the core of the giant star spiral toward within a common envelope.



The common envelope is ejected, while the separation between the core and the secondary star decreases.



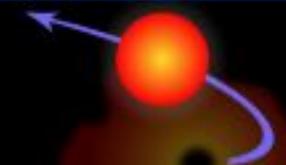
The remaining core of the giant collapses and becomes a white dwarf.



The aging companion star starts swelling, spilling gas onto the white dwarf.



The white dwarf's mass increases until it reaches a critical mass and explodes...



...causing the companion star to be ejected away

Этапы жизни звезды массой в $25M_{\odot}$

H перегорает в He за 7 миллионов лет

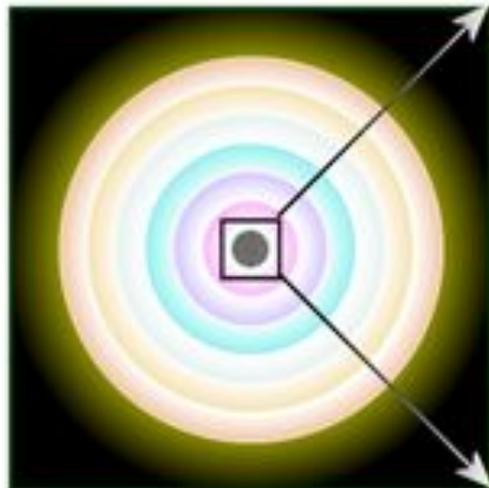
He перегорает в C и O за 500 тысяч лет

C перегорает в Ne и Mg за 600 лет

Ne перегорает в Mg и Si за 300 дней

O перегорает в Si, P, S за 6 дней

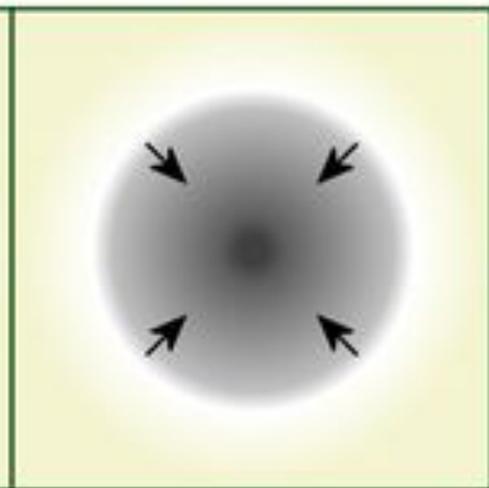
Si перегорает в Fe за 1 день (попутно образуются Ar, Ca, Ti, Cr, Co, Ni)



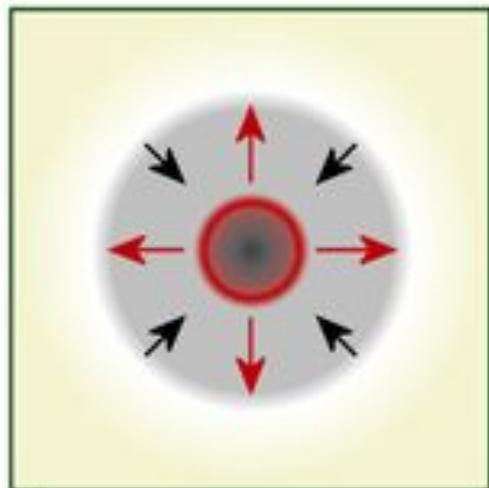
a



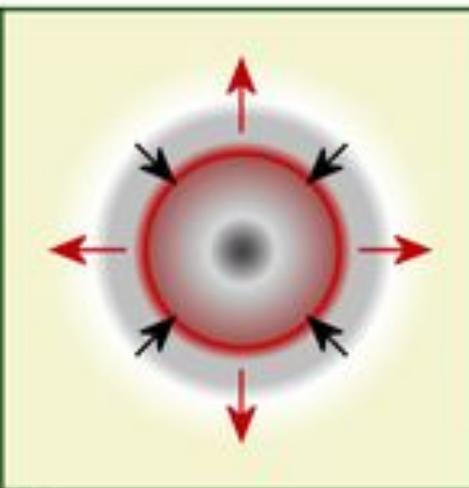
b



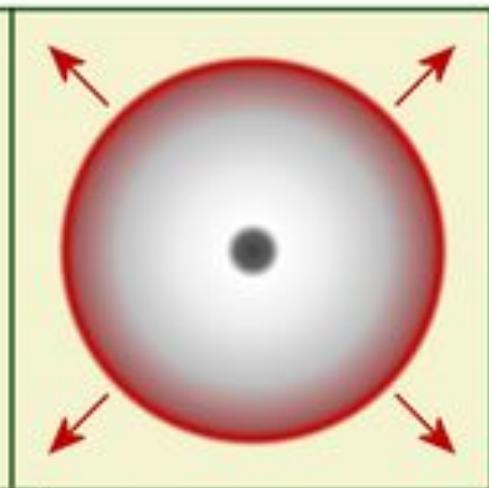
c



d



e

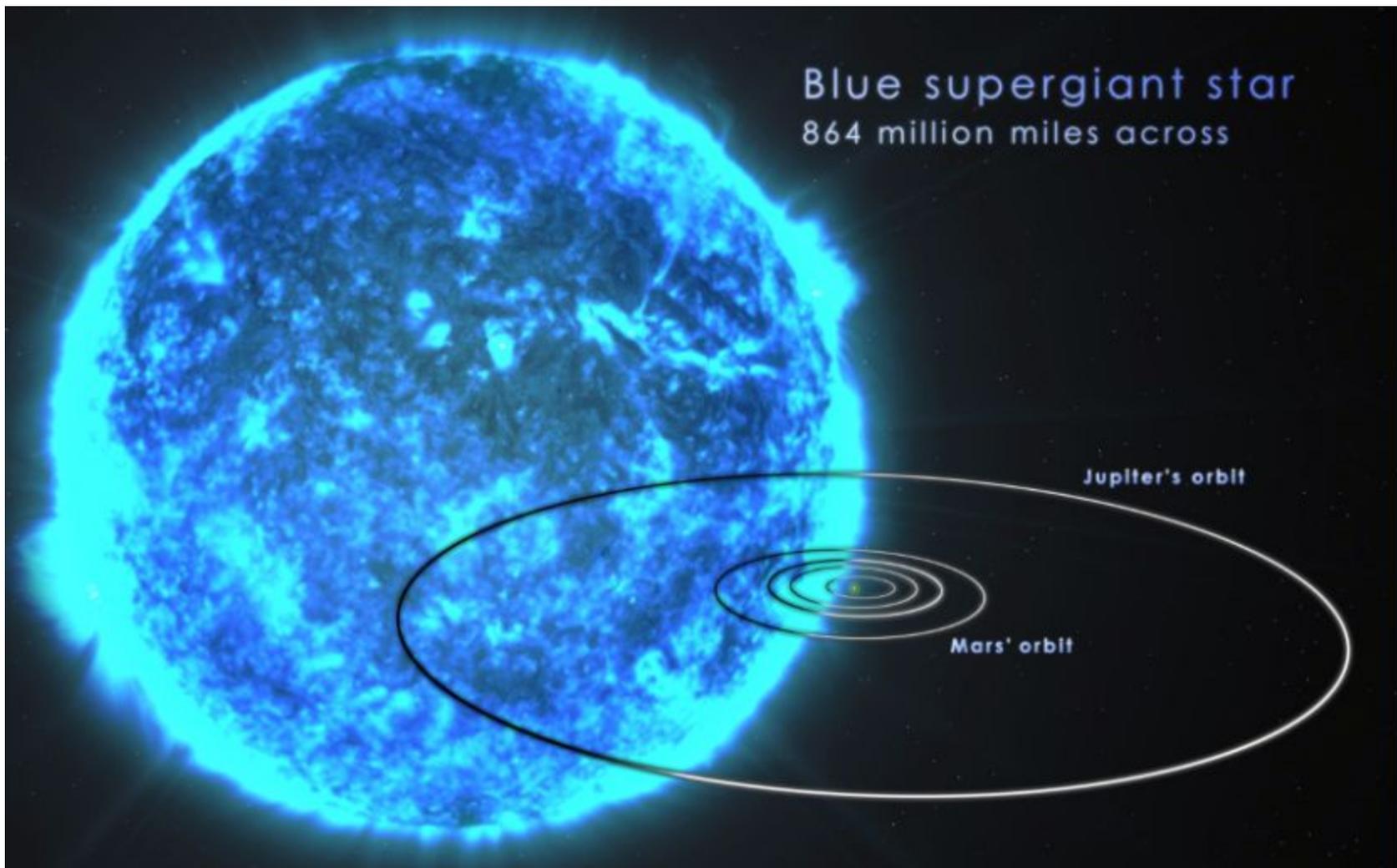


f



Остаток сверхновой
[RCW 103](#) с [нейтронной](#)
[звездой 1E 161348-5055](#)
в центре

Blue supergiant star
864 million miles across



Jupiter's orbit

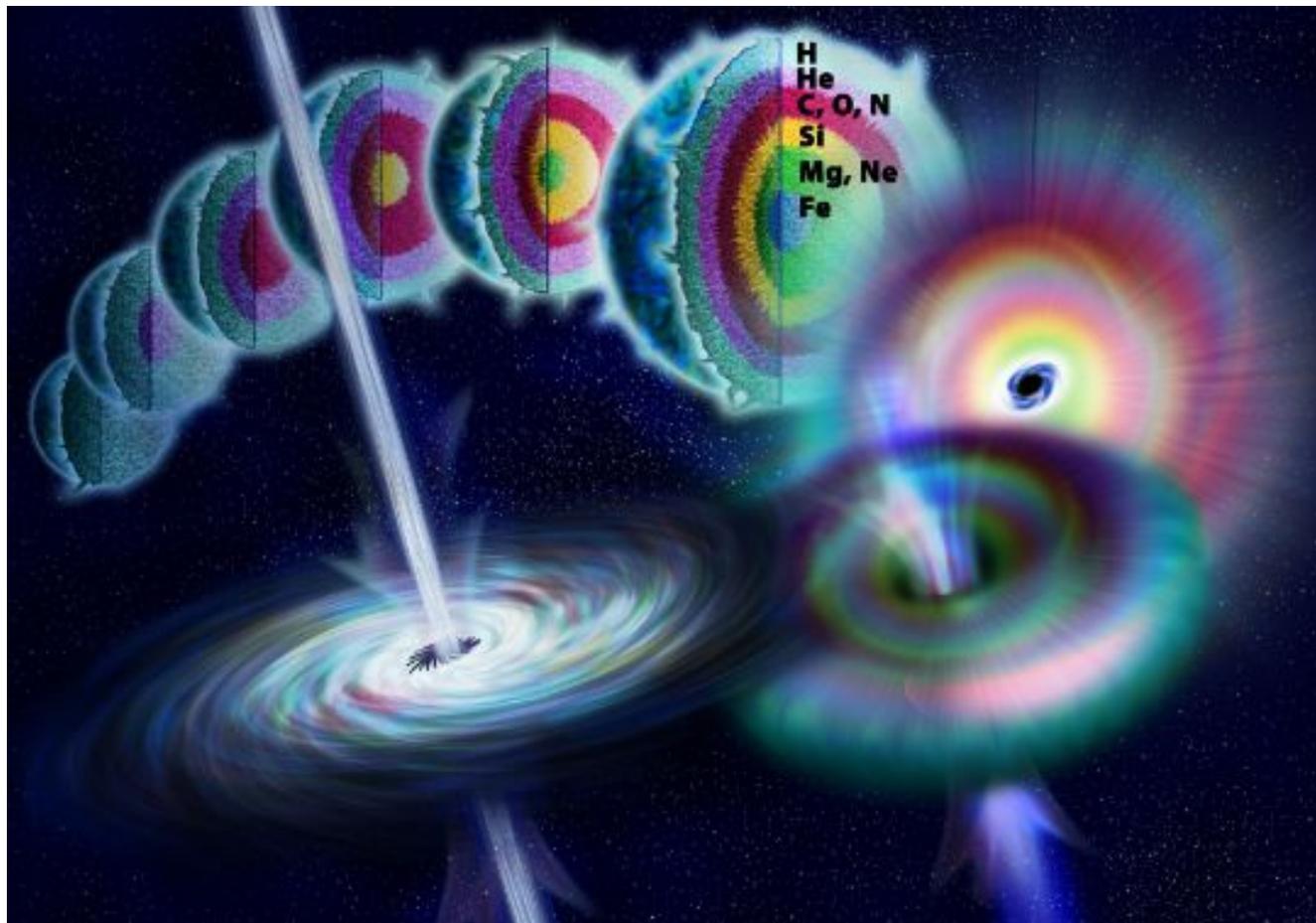
Mars' orbit

В массивных звездах давление и температура настолько велики, что многие элементы горят в ней в один и тот же момент, образуя слоистую структуру

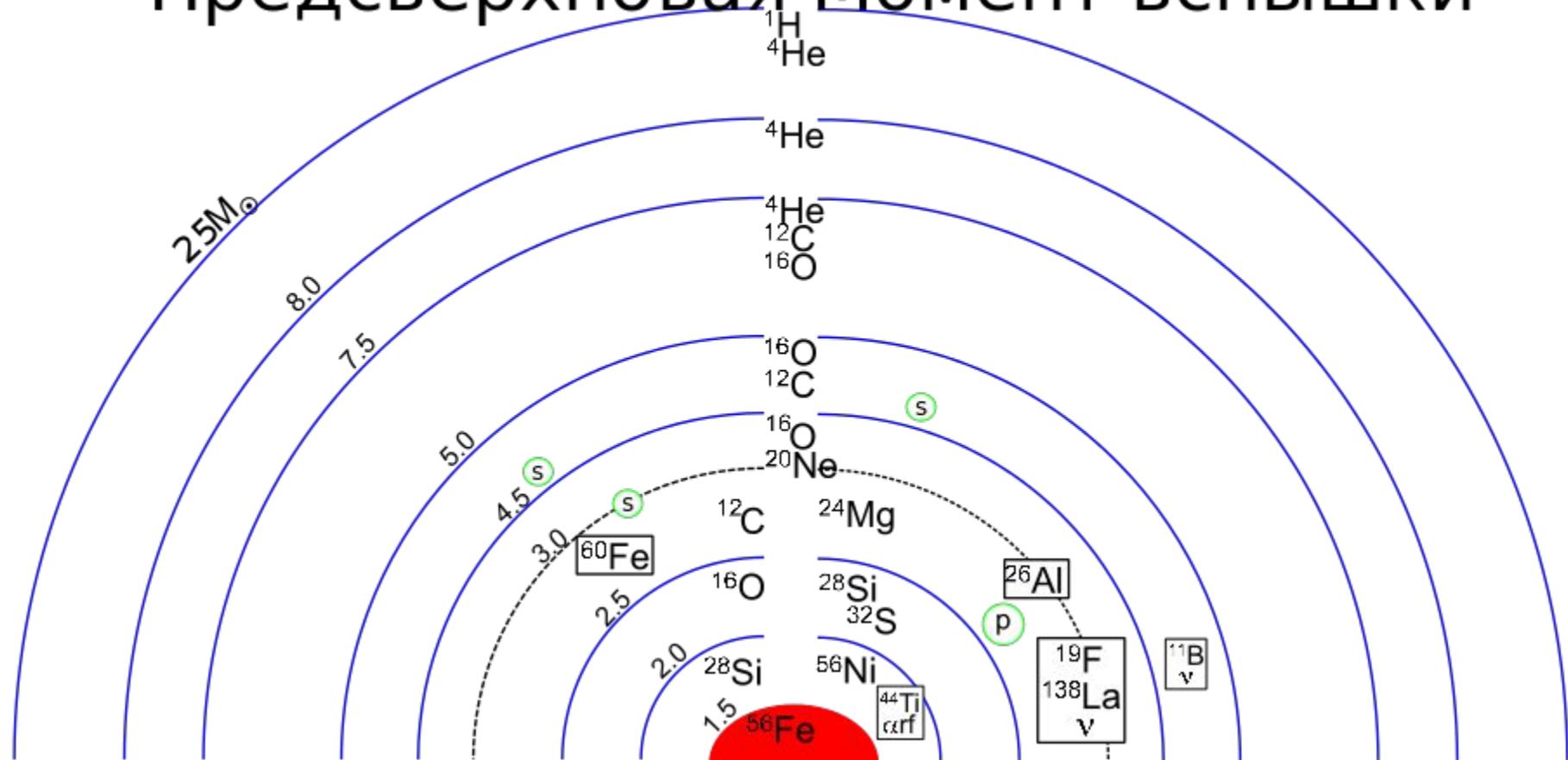


Mass (solar masses)	Time (years)	Spectral type
60	3 million	O3
30	11 million	O7
10	32 million	B4
3	370 million	A5
1.5	3 billion	F5
1	10 billion	G2 (Sun)
0.1	1000s billions	M7

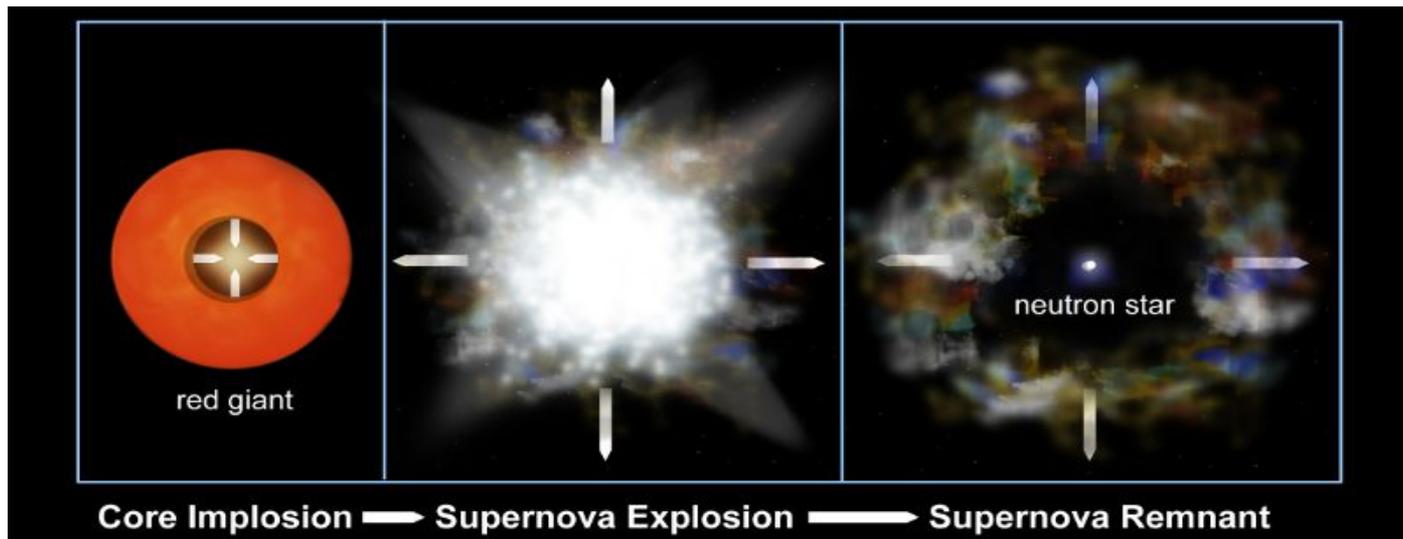
Эволюция массивной звезды,
сопровождающаяся полным
выгоранием ядра, взрывом сверхновой
и образованием нейтронной звезды
или чёрной дыры (зависит от массы
железного ядра)



Предсверхновая Момент вспышки



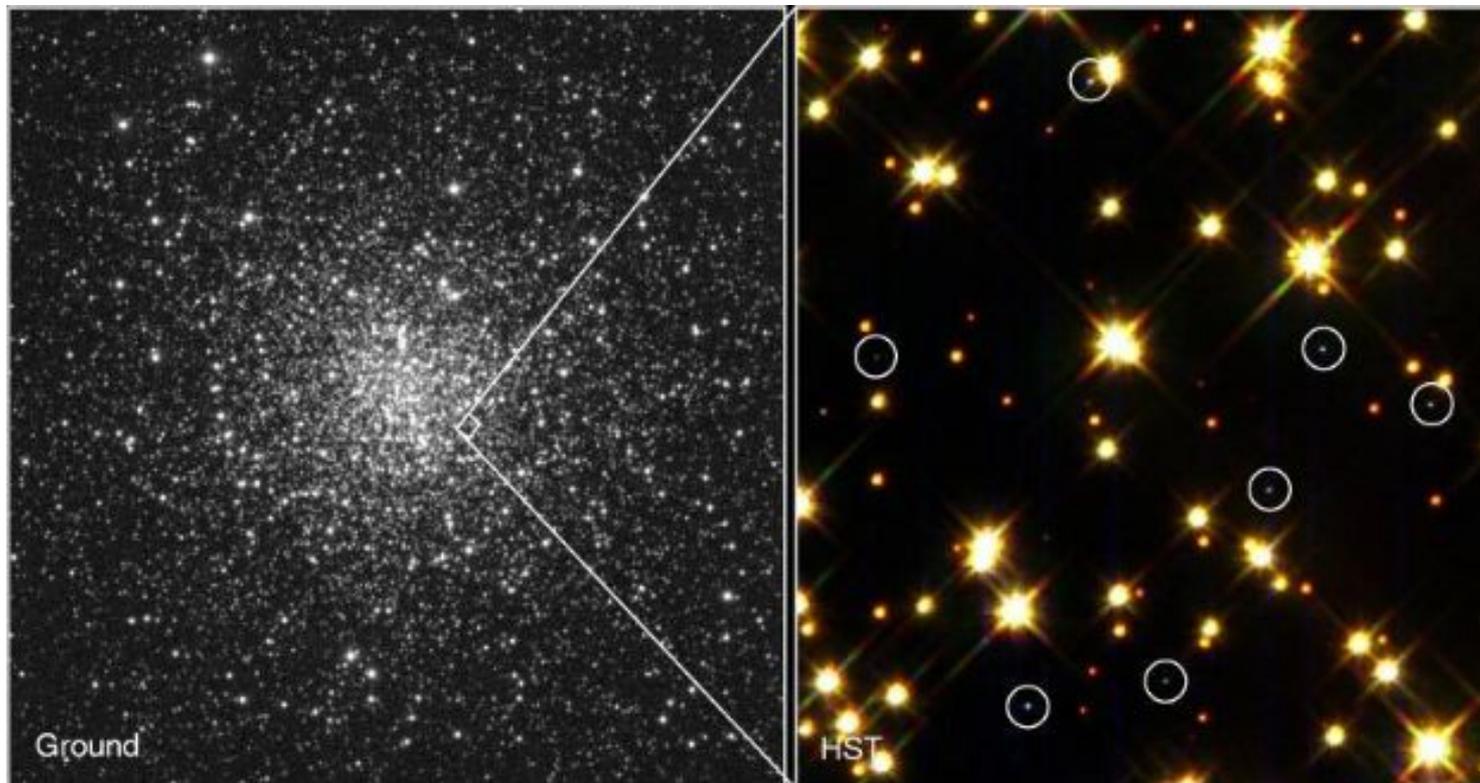
Если масса ядра превышает предел Чандрасекара, то его температура оказывается так высока, что атомы железа распадаются на альфа-частицы, те в свою очередь — на нейтроны и протоны, а протоны, сталкиваясь со свободными электронами, образуют новые нейтроны и нейтрино, которые частично уносят энергию из ядра. Мы получаем ядро, целиком состоящее из нейтронов и огромную энергию, которая вырывается из центра, разрывая внешнюю оболочку звезды. Это и есть взрыв сверхновой: рождение планетарной туманности с нейтронной звездой в центре.



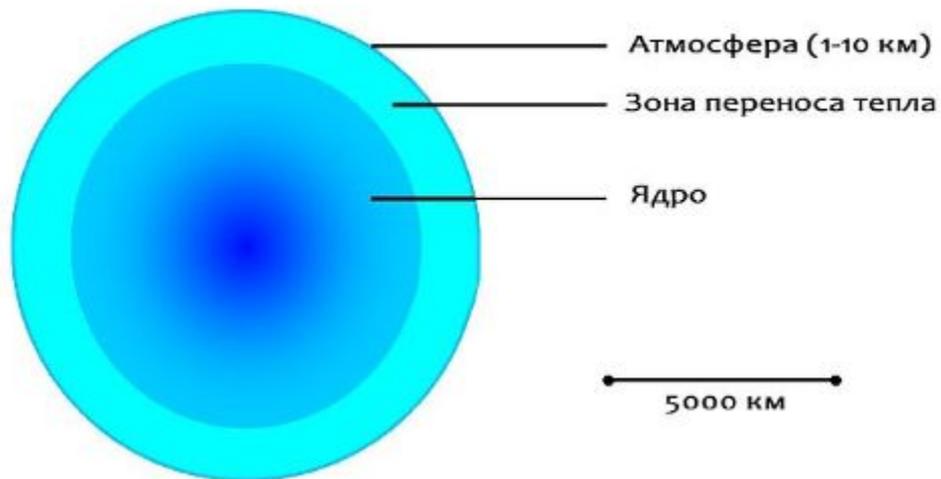
Белые карлики и предел Чандрасекара

Предел Чандрасекара — верхний предел массы, при котором звезда может существовать как белый карлик. Если масса звезды превышает этот предел, то она становится нейтронной звездой. Существование предела было доказано индийским астрофизиком Субраманьяном Чандрасекаром. В качестве значения обычно берётся 1,44 солнечных масс.

Белые карлики — проэволюционировавшие звёзды с массой, не превышающей предел Чандрасекара, лишённые собственных источников термоядерной энергии.



Строение белого карлика



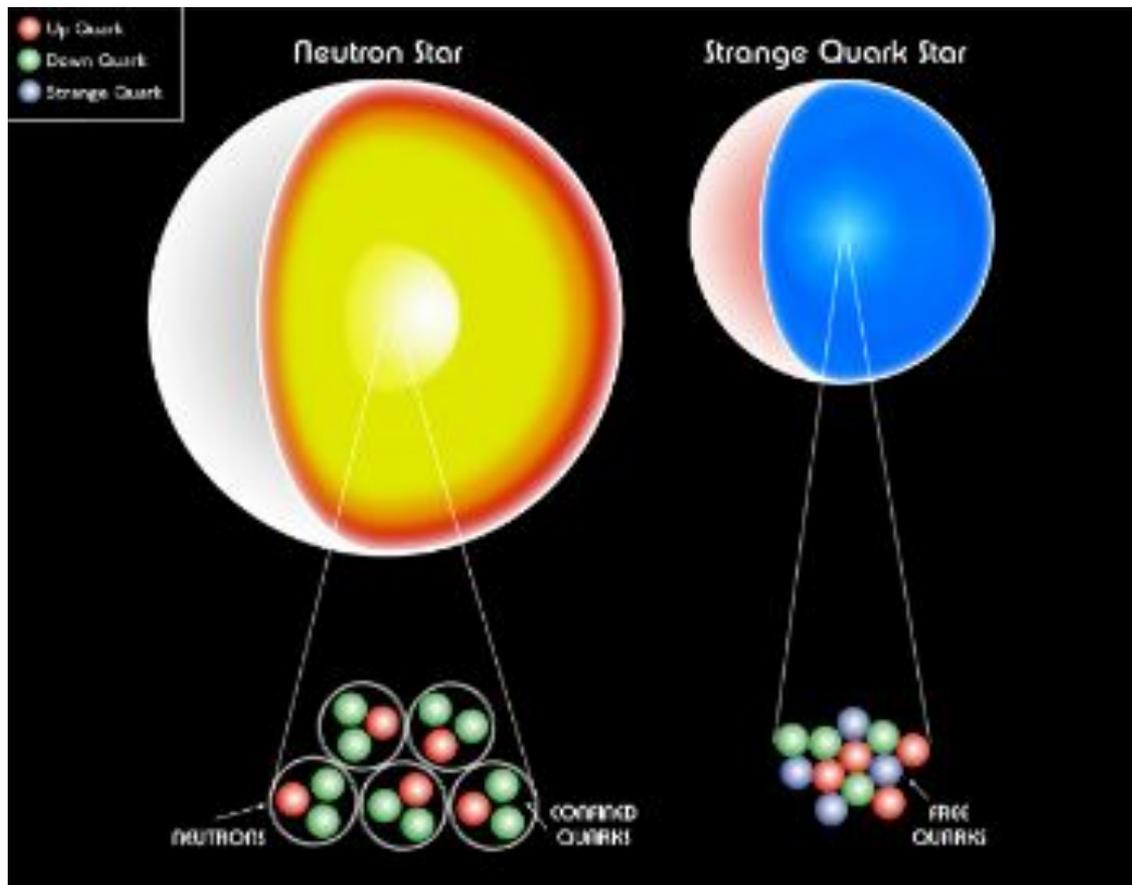
Средняя плотность белых карликов в пределах их фотосфер 10^5 — 10^9 г/см³, почти в миллион раз выше плотности звёзд главной последовательности. При таких плотностях электронные оболочки атомов разрушаются, и вещество представляет собой электронно-ядерную плазму, причём её электронная составляющая представляет собой вырожденный электронный газ.

Нейтронная звезда



Радиус подобной нейтронной звезды — всего 10 километров. Частными случаями нейтронных звезд являются пульсары (быстро вращающиеся нейтронные звезды с очень сильным магнитным полем, которое мы регистрируем как непрерывную цепь импульсов, приходящую из одной и той же точки космоса)

Гравитация в нейтронных звёздах уравнивается давлением вырожденного нейтронного газа., Существуют теоретические предпосылки к тому, что при ещё большем увеличении плотности возможно перерождение нейтронных звёзд в кварковые



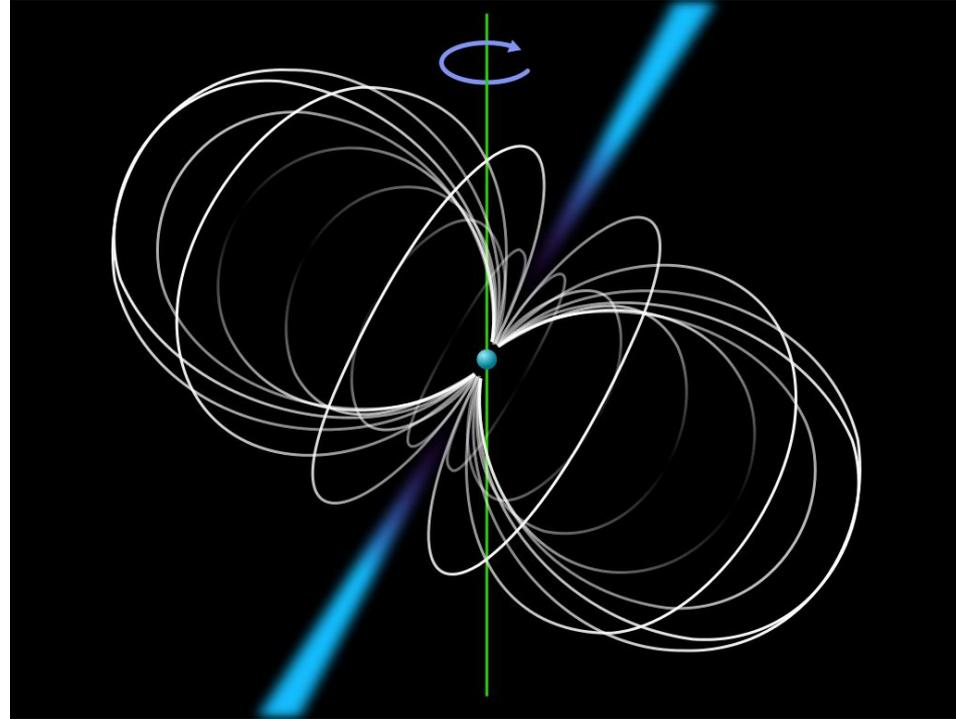
Эжектор (радиопульсар) Сильные магнитные поля и малый период вращения. На определённом радиусе линейная скорость вращения поля приближается к скорости света. Заряженные частицы, двигающиеся вдоль силовых линий магнитного поля, через такие обрывы могут покинуть нейтронную звезду и улететь в межзвёздное пространство. Нейтронная звезда данного типа «эжектирует» (выталкивает) релятивистские заряженные частицы, которые излучают в радиодиапазоне.

«Пропеллер» Скорость вращения уже недостаточна для эжекции частиц, поэтому такая звезда не может быть радиопульсаром. Однако скорость вращения всё ещё велика, и захваченная магнитным полем окружающая нейтронную звезду материя не может упасть, то есть аккреция вещества не происходит.

Аккректор (рентгеновский пульсар) Скорость вращения снижается настолько, что веществу теперь ничего не препятствует падать на такую нейтронную звезду. Падая, вещество, уже будучи в состоянии плазмы, движется по линиям магнитного поля и ударяется о твёрдую поверхность в районе полюсов, разогреваясь до десятков миллионов градусов. Вещество, нагретое до столь высоких температур, ярко светится в рентгеновском диапазоне. Область, в которой происходит столкновение падающего вещества с поверхностью тела нейтронной звезды, очень мала — всего около 100 метров. Это горячее пятно из-за вращения звезды периодически пропадает из вида, поэтому наблюдаются регулярные пульсации рентген-излучения.

Георотатор Скорость вращения таких нейтронных звёзд мала и не препятствует аккреции. Но размеры магнитосферы таковы, что плазма останавливается магнитным полем раньше, чем она будет захвачена гравитацией. Подобный механизм работает в магнитосфере Земли, из-за чего данный тип нейтронных звёзд и получил своё название.

Пульсар — космический источник радио- (радиопульсар), оптического (оптический пульсар), рентгеновского (рентгеновский пульсар) и/или гамма- (гамма-пульсар) излучений, приходящих на Землю в виде периодических всплесков (импульсов). Согласно доминирующей астрофизической модели, пульсары представляют собой вращающиеся нейтронные звёзды с магнитным полем, которое наклонено к оси вращения.



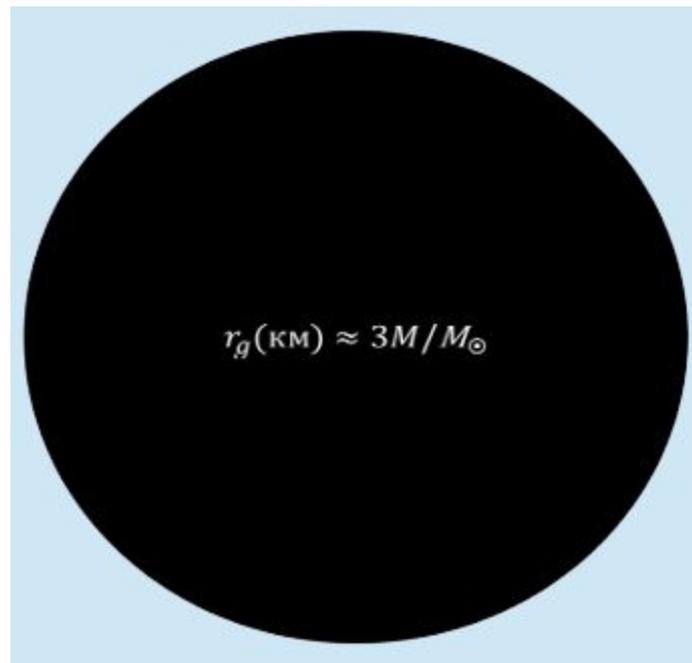
Метод периодических пульсаций (тайминга пульсаций) — метод обнаружения экзопланет около пульсаров, основан на выявлении изменений в регулярности импульсов. Особенностью радиопулсаров является очень точное и регулярное излучение импульсов, зависящих от скорости вращения звезды. Собственное вращение пульсара изменяется чрезвычайно медленно, поэтому его можно считать постоянной величиной, и небольшие аномалии в периодичности его радиоимпульсов могут использоваться для отслеживания собственного движения пульсара. У пульсара, обладающего планетной системой, будет наблюдаться небольшое движение по своей собственной орбите. Очень высокая точность метода определения движения пульсаров позволяет обнаружение планет гораздо меньшей массы, чем любой другой способ — вплоть до $1/10$ массы Земли.

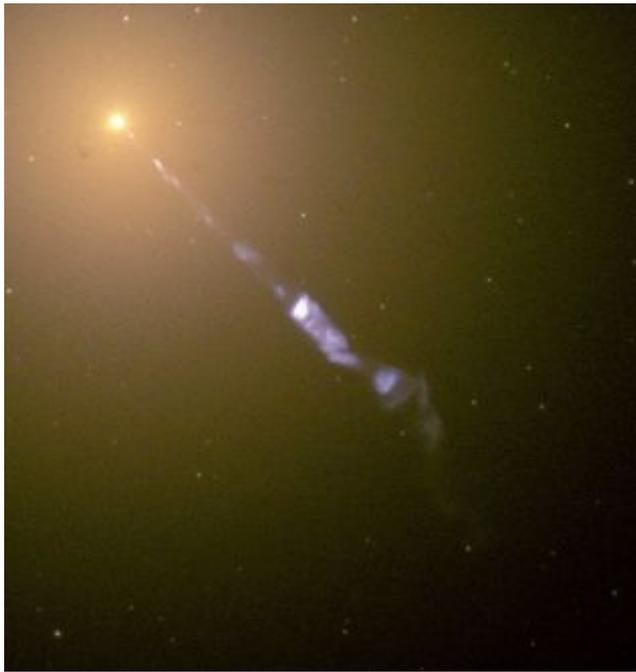
Черная дыра

Чёрная дыра — область пространства-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть её не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света, в том числе кванты самого света. Граница этой области называется горизонтом событий, а её характерный размер — гравитационным радиусом

Характеристики черной дыры

Масса черной дыры	Радиус горизонта событий
$10^{15}T$	13 А
1 масса Земли	0,8 см
1 масса Юпитера	2,8 м
1 масса Солнца	3 км
10 масс Солнца	30 км
100 масс Солнца	300 км
10^3 масс Солнца	3 000 км
10^6 масс Солнца	10 световых секунд
$3 \cdot 10^{12}$ масс Солнца (Млечный Путь)	350 свет. дней

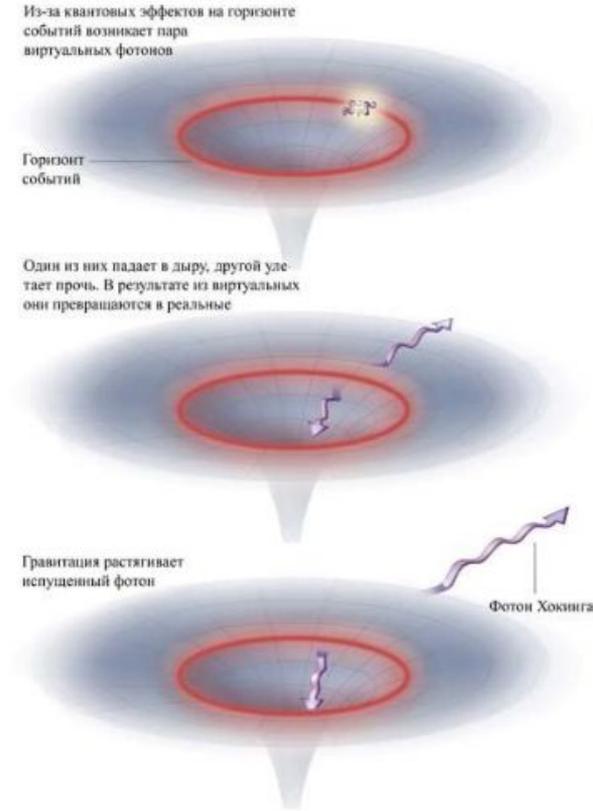




Изображение, полученное с помощью телескопа «Хаббл»: активная галактика M87. В ядре галактики, предположительно, находится чёрная дыра. На снимке видна релятивистская струя длиной около 5 тысяч световых лет.

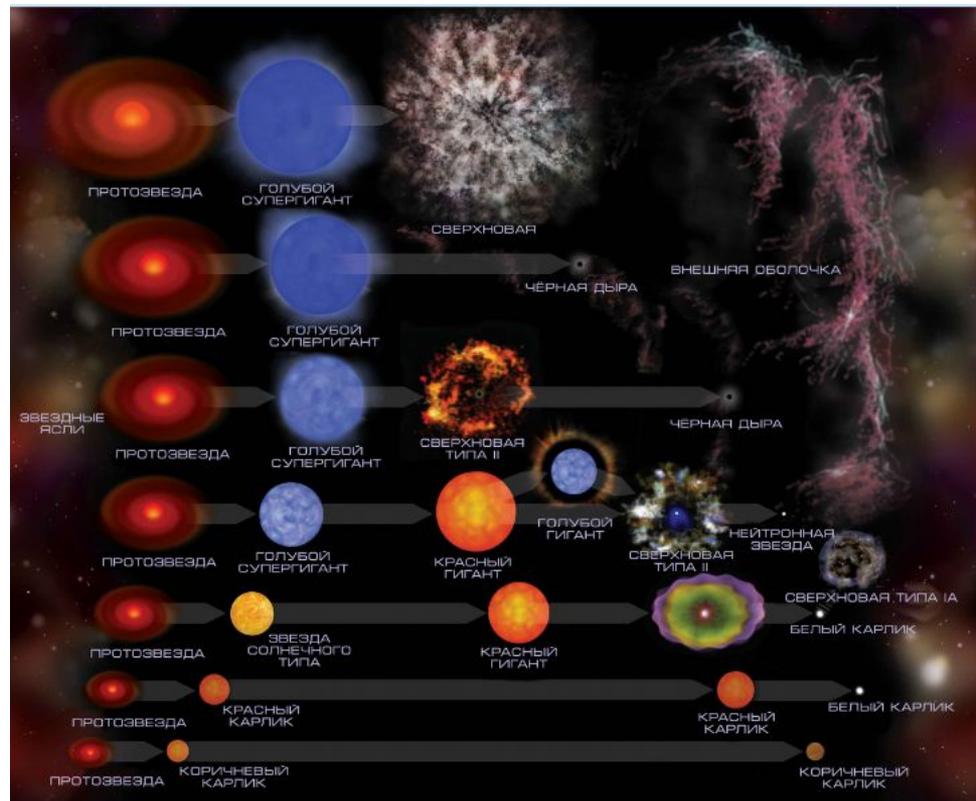
Излучение Хокинга.

гравитационное поле поляризует вакуум, в результате чего возможно образование реальных пар частица-античастица. Одна из частиц, оказавшаяся чуть ниже горизонта событий, падает внутрь ч.д., а другая, оказавшаяся чуть выше горизонта, улетает, унося энергию ч.д.

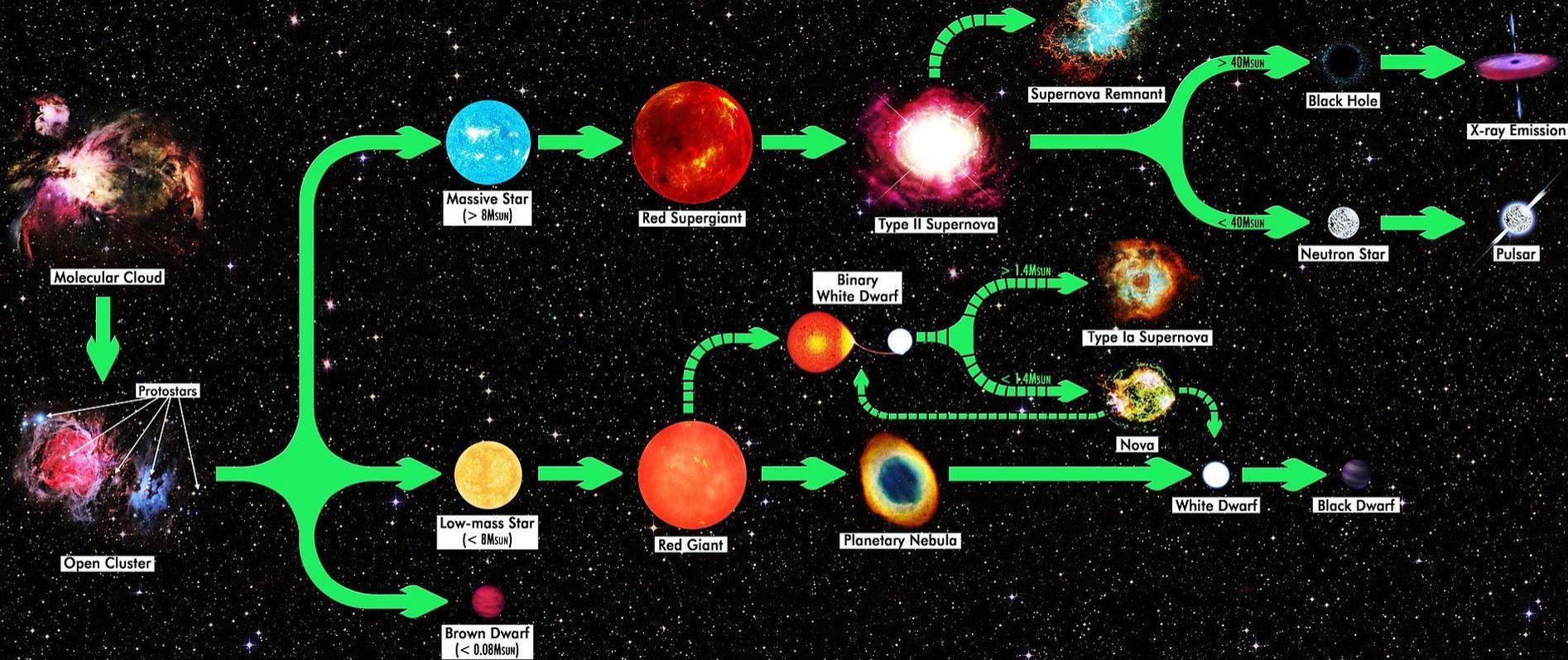


Прочие небесные тела

- Кugelблиц
- Белая дыра
- Барионная звезда
- Лептонная звезда
- Кварковая звезда



STELLAR LIFE CYCLE



Birth

Main Sequence

Old Age

Death

Remnant