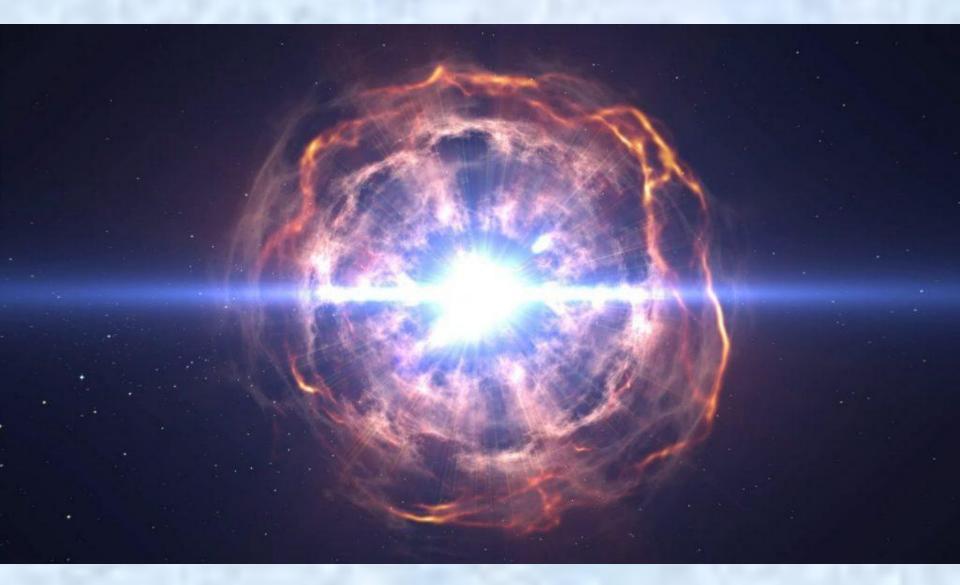
Сверхновые звезды: классификация и механизмы вспышек



Семенец Н.В. 23.08.2021г Астроклуб СПАГО, г.СПетербург

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 [

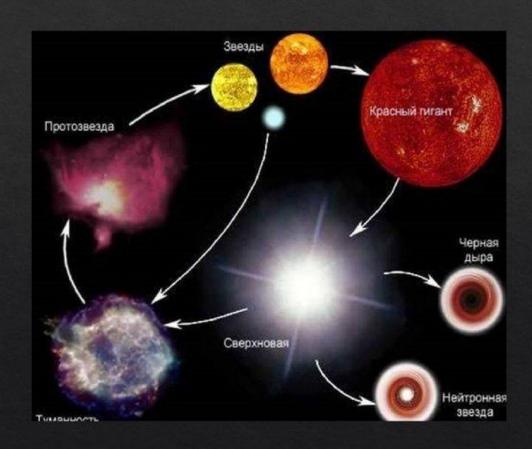
Взрыв сопровождается выбросом значительной массы вещества из внешней оболочки звезды в межзвёздное пространство, а из оставшейся части вещества ядра взорвавшейся звезды, как правило, образуется компактный объект — нейтронная звезда, если масса звезды до взрыва составляла более 8 солнечных масс ($\rm M_{\odot}$), либо чёрная дыра при массе звезды свыше 40 $\rm M_{\odot}$ (масса оставшегося после взрыва ядра — свыше 5 $\rm M_{\odot}$). Вместе они образуют остаток

СВЕЛУНОВОЙ

Остаток сверхновой RCW 103 с нейтронной звездой 1E 161348-5055 в центре

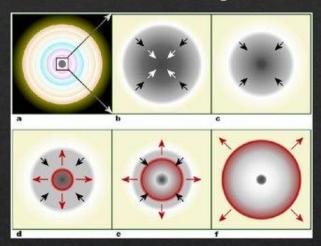
Сверхновые звёзды

Сверхновые похожи по принципу действия на новые, но в результате взрыва звезда преображается сильнее.



Причины возникновения сверхновые звёзд

Гравитационный коллапс ядра - быстрое сжатие и распад межзвездного облака или звезды под действием собственной силы тяготения.



Термоядерный взрыв – резкое увеличение массы вещества, участвующего в термоядерном горении. Происходит в двойных системах в результате поглощения одной звезды другой.

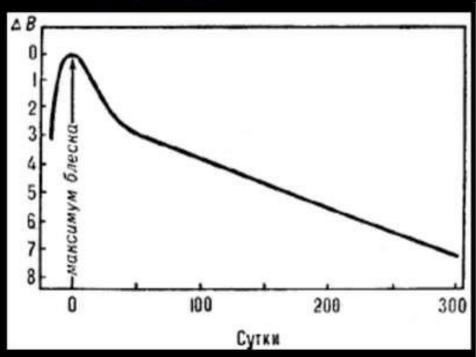


Современная	классификация све	рхновы	x	
Класс			Механизм	
I Линии водорода отсутствуют	Сильные линии ионизированного кремния (Si II) на 6150	lax В максимуме блеска имеют меньшую светимость и		Термоядерны й взрыв
		меньшую же в сравнении la		
	Линии кремния слабые или отсутствуют	lb Присутствуют линии гелия (He I).		
		lc Линии гелия слабые или отсутствуют		
II Присутству ют линии водорода	II-P/L/N Спектр постоянен	II-P/L Нет узки х лини й	II-Р Кривая блеска имеет плато	Гравитационн ый коллапс
			II-L Звёздная величина линейно уменьшается со временем	
		lln Присутствуют узкие линии		
	IIb Спектр со временем меняется и становится похожим на спектр lb.			

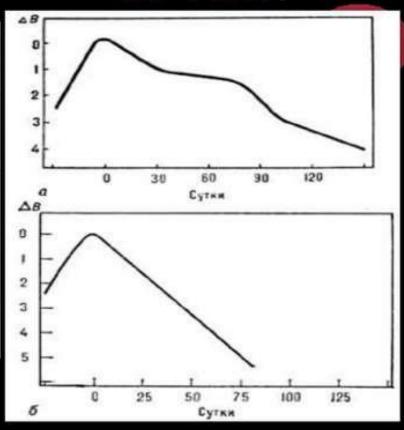
Классификация.

Кривые блеска.

І тип:



II тип:



Кривые блеска для I типа в высокой степени сходны: 2—3 суток идёт резкий рост, затем его сменяет значительное падение (на 3 звёздные величины) 25—40 суток с последующим медленным ослаблением, практически линейным в шкале звёздных величин. Абсолютная звёздная величина максимума в среднем для вспышек la составляет M{B}=-19.5m, для lb/c —M{B}=-18m.

Кривые блеска типа II достаточно разнообразны. Для некоторых кривые напоминали оные для I типа, только с более медленным и продолжительным падением блеска до начала линейной стадии. Другие, достигнув пика, держались на нём до 100 суток, а затем блеск резко падал и выходил на линейный «хвост». Абсолютная звёздная величина максимума варьируется в широком пределе от -20m до -13m. Среднее значение для IIp — M{B}=-18m, для II-L M{B}=-17m.

Природа сверхновых Іа отлична от природы остальных вспышек. Об этом ясно свидетельствует отсутствие вспышек Іb\с и ІІ типов в эллиптических галактиках. Из общих сведений о последних известно, что там мало газа и голубых звёзд, а звездообразование закончилось 10¹⁰ лет назад. Это значит, что все массивные звёзды уже завершили свою эволюцию, и из непроэволюционировавших остались только звёзды с массой меньше солнечной. Из теории эволюции звёзд известно, что звёзды подобного типа взорвать невозможно, и, следовательно, нужен механизм продления жизни для звёзд масс 1-2М_о.

Отсутствие линий водорода в спектрах Ia\lax говорит о том, что в атмосфере исходной звезды его крайне мало. Масса выброшенного вещества достаточно велика — 1М_о, преимущественно содержит углерод, кислород и прочие тяжёлые элементы. А смещённые линии Si II указывают на то, что во время выброса активно идут ядерные реакции. Всё это убеждает в том, что в качестве звездыпредшественника выступает белый карлик, скорее всего углеродно-кислородный. Тяготение к спиральным рукавам сверхновых Ib\с и II типов свидетельствует, что звездой-прародителем являются короткоживущие О-звёзды с массой 8-10М_о.

NGC 4666 in Virgo

Сверхновая типа Іа

Частота вспышек

Тип галактики	Ia	Ib/c	II
<u>спиральные</u>	0,2	0,25	0,65
<u>эллиптические</u>	0,31	нет	нет

сверхновые lb/c и ll чаще встречаются в спиральных рукавах.

- Каноническая схема молодого остатка следующая:
- .Возможный компактный остаток; обычно это пульсар, но возможно и чёрная дыра.
- .Внешняя ударная волна, распространяющаяся в межзвёздном веществе.
- .Возвратная волна, распространяющаяся в веществе выброса сверхновой.
- .Вторичная, распространяющаяся в сгустках межзвёздной среды и в плотных выбросах сверхновой.



Крабовидная туманность (изображение в рентгеновских лучах), хорошо видна внутренняя ударная волна, свободно распространяющийся ветер, а также полярное струйное течение (джет) За фронтом внешней ударной волны газ нагрет до температур $T_S \ge 10^7$ К и излучает в рентгеновском диапазоне с энергией фотонов в 0,1—20 кэВ, аналогично газ за фронтом возвратной волны образует вторую область рентгеновского излучения. Линии высокоионизированных Fe, Si, S и других элементов указывают на тепловую природу излучения из обоих слоёв.

Оптическое излучение молодого остатка создаёт газ в сгустках за фронтом вторичной волны. Так как в них скорость распространении выше, а, значит, газ остывает быстрее, и излучение переходит из рентгеновского диапазона в оптический. Ударное происхождение оптического излучения подтверждает относительная интенсивность линий.

Волокна в Кассиопее A дают понять, что происхождение сгустков вещества может быть двояким. Так называемые быстрые волокна разлетаются со скоростью 5000—9000 км/с и излучают только в линиях O, S, Si — то есть это сгустки, сформированные в момент взрыва сверхновой. Стационарные конденсации же имеют скорость 100—400 км/с, и в них наблюдается нормальная концентрация H, N, O. Вместе это свидетельствуют, что это вещество было выброшено задолго до вспышки сверхновой и позже было нагрето внешней ударной волной.

Синхротронное радиоизлучение релятивистских частиц в сильном магнитном поле является основным наблюдательным признаком для всего остатка. Область его локализации — прифронтовые области внешней и возвратной волн. Наблюдается синхротронное излучение и в рентгеновском диапазоне

Типы сверхновых звезд

Сверхновые первого типа

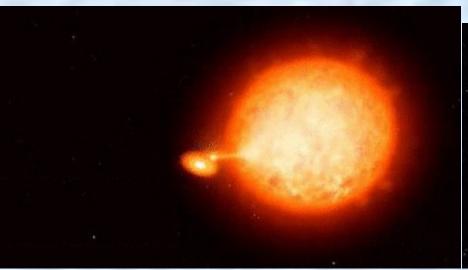
Взрыв белого карлика, входящего в двойную систему за счет нарушения баланса из-за перетекания вещества.

Карлик быстро сжимается (КОЛЛАПС) до размеров

нейтронной звезды.

Сверхновые второго типа

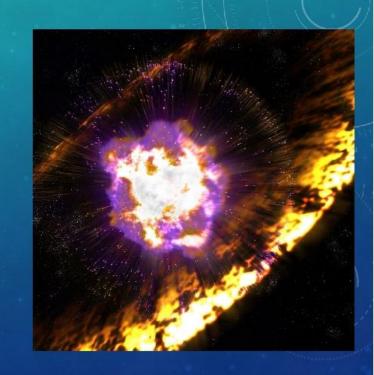
Взрыв массивной звезды на стадии гигантов и сверхгигантов, в результате чего происходит коллапс ядра и «разброс» частей звезды с большими скоростями





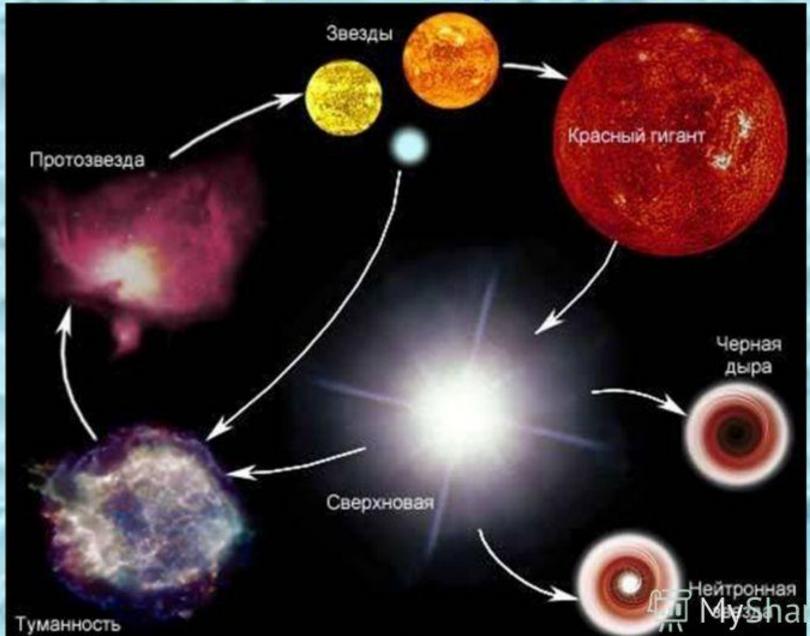
«механизм» взрыва сверхновой звезды

- Звезда живет за счет энергии термоядерных реакций (водород превращается в гелий);
- При окончании водорода верхние слои звезды начинают обрушиваться к центру;
- При достижении критической отметки вещество взрывается сильно сжимая ядро;
- Оболочка звезды разносится ударной волной и выбрасывается в космос, образуя туманность;
- Ядро становится либо нейтронной звездой, либо черной дырой.



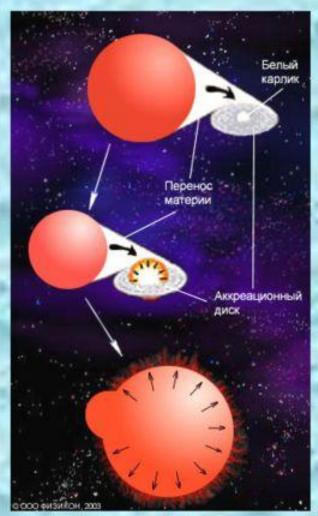


Эволюционные пути звезд



Типы сверхновых

По характеру спектра вблизи эпохи максимума различают два типа сверхновых. Только четверть всех сверхновых связана с коллапсом ядер массивных звезд (вспышки ІІ типа и типа Іb). Многие сверхновые образуются при коллапсе (или взрыве) белых карликов (вспышки Іа).



Сверхновые I типа вблизи максимума отличаются непрерывным спектром, в котором не видно никаких линий. Позднее появляются в спектре линии поглощения, сильно расширенные.

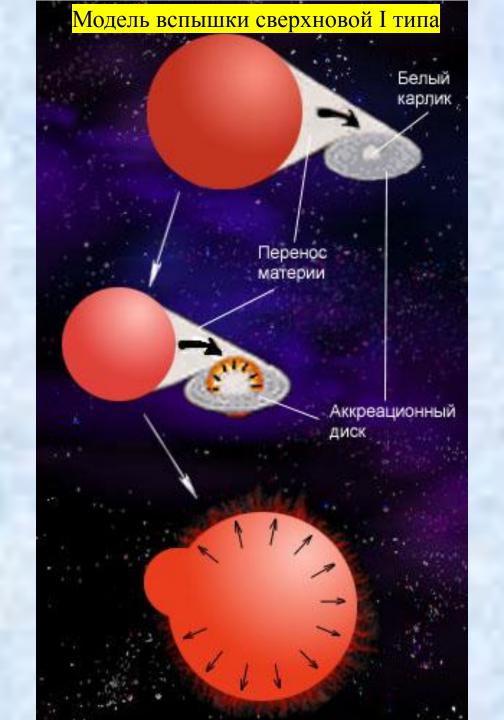
Сверхновые II типа характеризуются спектром, богатым водородными линиями. Их светимость меняется в широких пределах, а после максимума падает более резко, чем у сверхновых I типа.

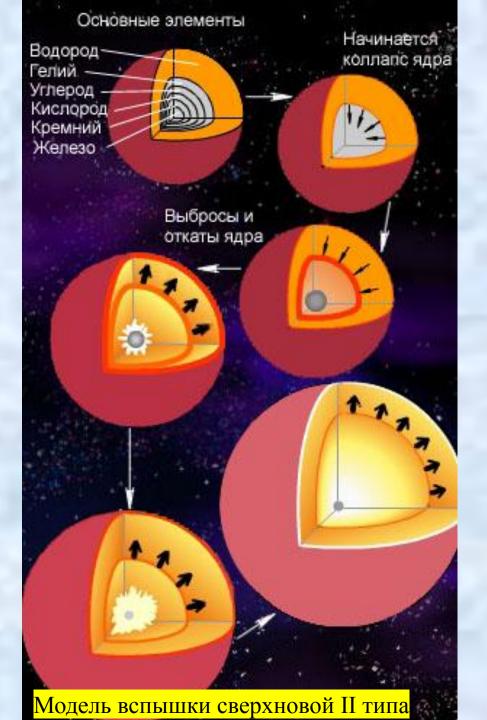
В эллиптических галактиках, состоящих из небольших красных звезд, вспыхивают сверхновые І типа, а в спиральных, где в рукавах много молодых массивных горячих сверхгигантов, вспыхивают сверхновые ІІ типа



Сверхновые Ітипа

Сверхновые ІІ типа

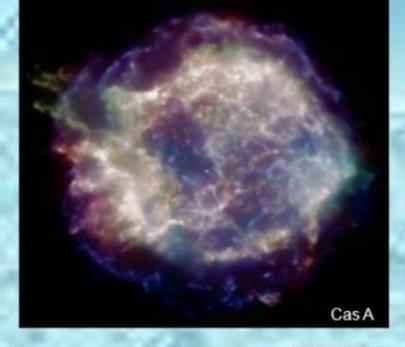


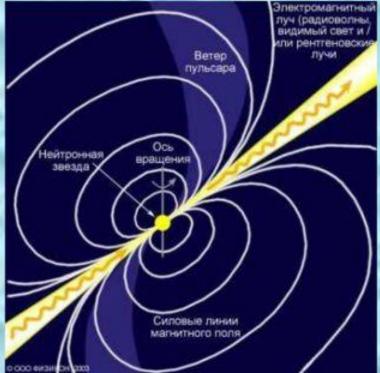




Взрывы сверхновых — основной источник пополнения межзвёздной среды элементами с атомными номерами больше (или, как говорят, *тяжелее*) Не. Однако процессы, их породившие, для различных групп элементов и даже изотопов свои.

- .Практически все элементы тяжелее He и до Fe результат классического термоядерного синтеза, протекающего, например, в недрах звёзд или при взрыве сверхновых в ходе p-процесса. Тут стоит оговориться, что крайне малая часть всё же была получена в ходе первичного нуклеосинтеза.
- .Все элементы тяжелее 209 Bi это результат r-процесса.
- .Происхождение же прочих является предметом дискуссии, в качестве возможных механизмов предлагаются <u>s-</u>, r-, v-, и <u>rp-процессы</u>

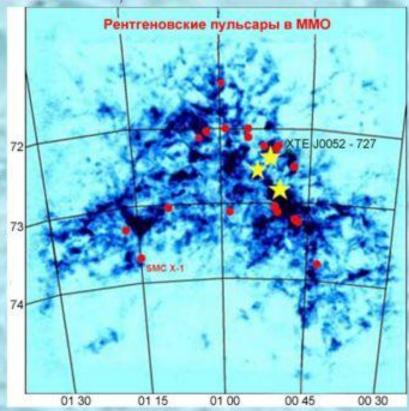




Пульсар

Остаток сверхновой в центре образованной туманности - нейтронная звезда (*пульсар*), обнаруживаемый по его радиоизлучению. Массы не превосходящей трех солнечных и размером в 20-30 км, плотность ~ 2×10¹⁴ г/см³

Саs A – Кассиопея А туманность, мощный источник радиоизпучения, Внутри пульсар.

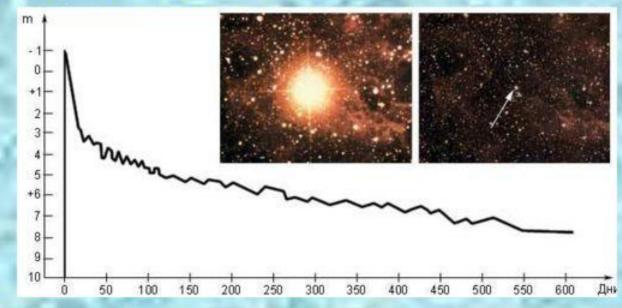


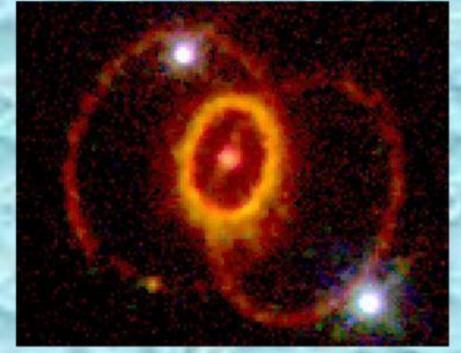
Нейтронные звезды рентгеновских пульсаров обладают очень сильным магнитным полем, достигающим значений 108–109 Тл (в 1011–1012 раз больша 3 и п отного поля Солнца). Рентгеновские пульсары располагаются преимущественно в диске Галактики.

Сверхновая 1987А

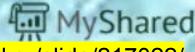


Сверхновая 1987А через 4 года после вспышки. Кольцо светящегося газа в 1991 году достигло 1,37 светового года в поперечнике. Внизу через 12 лет.

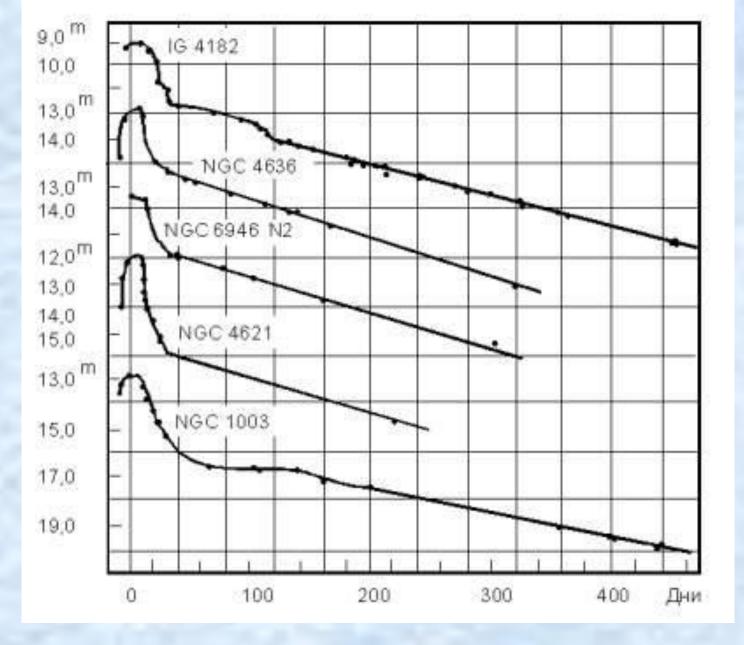




Сверхновая 1987А в Большом Магеллановом Облаке расположена там, где на старых фотографиях была лишь звездочка 12-й величины. Ее величина в максимуме достигла 2,9^m, что позволяло легко наблюдать сверхновую невооруженным глазом



http://www.myshared.ru/slide/217022/



Изменение блеска сверхновых I типа. (Из книги И.С. Шкловского "Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы".

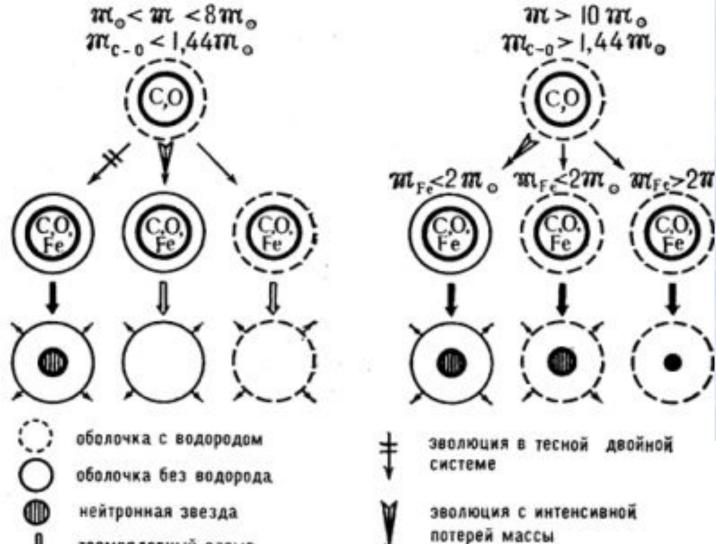


Схема возможных путей образования сверхновых звезд.

- масса звезды на главной - масса звезды н последовательности,

- масса углероднокислородного ядра,

- масса железного ядра.

гравитационный коллапс

термоядерный взрыв

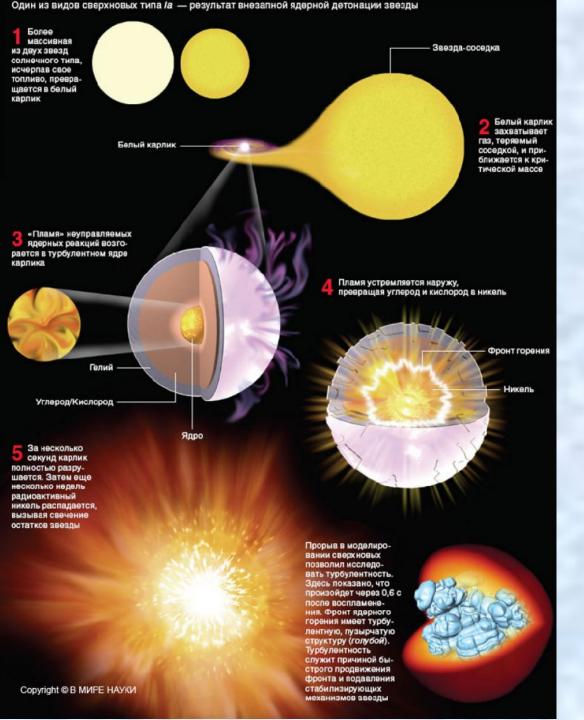
черная дыра

ышка сверхновой ії типа

потерей массы

зволюция с умеренной

спышка сверхновой і типа.



Механизм взрыва сверхновых Іа типа

Сверхновые другого рода образуются при сжатии звезд с массами более 8 масс Солнца. Они относятся к типам Ib, Ic или II, в зависимости от наблюдаемых особенностей Массивная звезда в конце жизни имеет 2 млн. км Copyright © В МИРЕ НАУКИ слоистую структуру Железо не участвует в ядерном синтезе, поэтому в ядре не выделяется тепло. Газовое давление падает, и лежащее выше вещество устремляется вниз 200 KM За секунду ядро сжимается и превращается в нейтронную звезду. Нейтронная Падающее вещество отзвезда скакивает от нейтронной Водород звезды и создает ударную Гелий **Ударная** Кремний Углерод волна Железо Кислород Нейтрино вырывается из новорожденной нейтронной звезды, неравномерно подталкивая наружу ударную волну Ударная волна Нагретый нейтрино газовый пузырь Ударная волна проносится по звезде, Холодный газ прорывается внутрь разрывая ее на части 10 млн. км Современные модели способны детально проследить хаотические движения в процессе взрыва. Здесь показана внутренность звезды через 5,5 ч после начала взрыва. Движущиеся вверх крупные пузыри поддерживают ударную волну до расстояния 300 млн. км. Нейтрино, вообще-то очень слабо взаимодействующие частицы, устремляются наружу в таком количестве и с такой энергией, что начинают играть главную роль. Турбулентность перемешивает углерод, кислород, кремний и железо из глубоких слоев (голубой, бирюзовый) с лежащими выше гелием (зеленый) и водородом (красный)

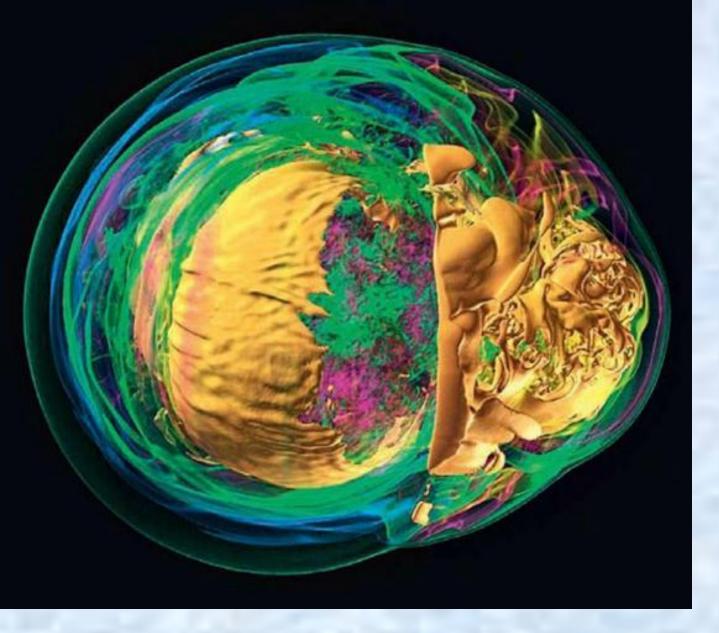
Механизм взрыва сверхновых II, Ib/с типов





Взрывы сверхновых звезд это движущая сила круговорота материи. Они извергают «галактические фонтаны» потоки газа, из которого формируются новые звезды.





как показывают компьютерные модели, вещество внутри взрывающейся звезды бурлит и перемешивается, разогревая ее до 50 млрд градусов по шкале Кельвина.

много споров вызывает механизм взрыва.

Чаще всего модели можно разделить по следующим группам:

- •Мгновенная детонация.
- •Отложенная детонация.
- •Пульсирующая отложенная детонация.
- •Турбулентное быстрое горение.

По крайней мере для каждой комбинации начальных условий перечисленные механизмы можно встретить в той или иной вариации. Но этим круг предложенных моделей не ограничивается. В качестве примера можно привести модели, когда детонируют сразу два белых карлика. Естественно, это возможно только в тех сценариях, когда оба компонента проэволюционировали.

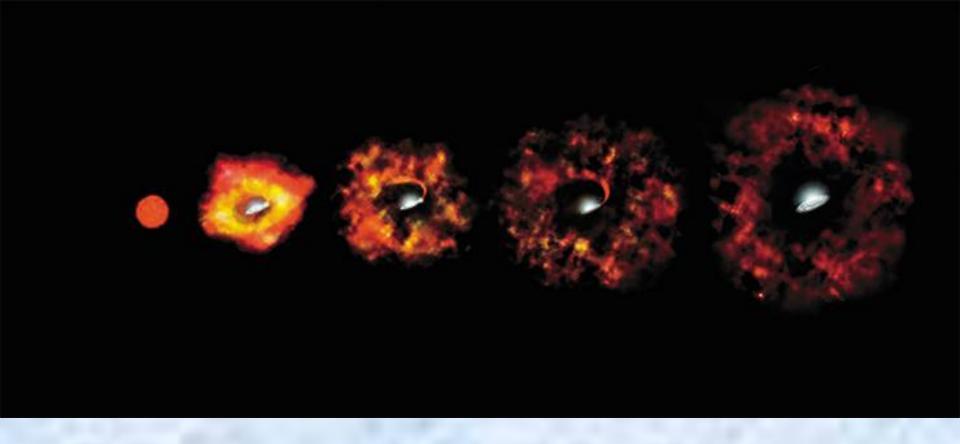


Гигантская Крабовидная туманность в созвездии Тельца образовалась в результате взрыва сверхновой. Ее вспышка наблюдалась в 1054 году даже днем. Это газовое облако, расширяющееся со скоростью 1500 километров в секунду, светится в двух диапазонах: оптическом (фото слева) и инфракрасном (в середине). В его центре находится нейтронная звезда - сжатое ядро первоначального светила. Оно испускает энергонасыщенное рентгеновское излучение (справа).

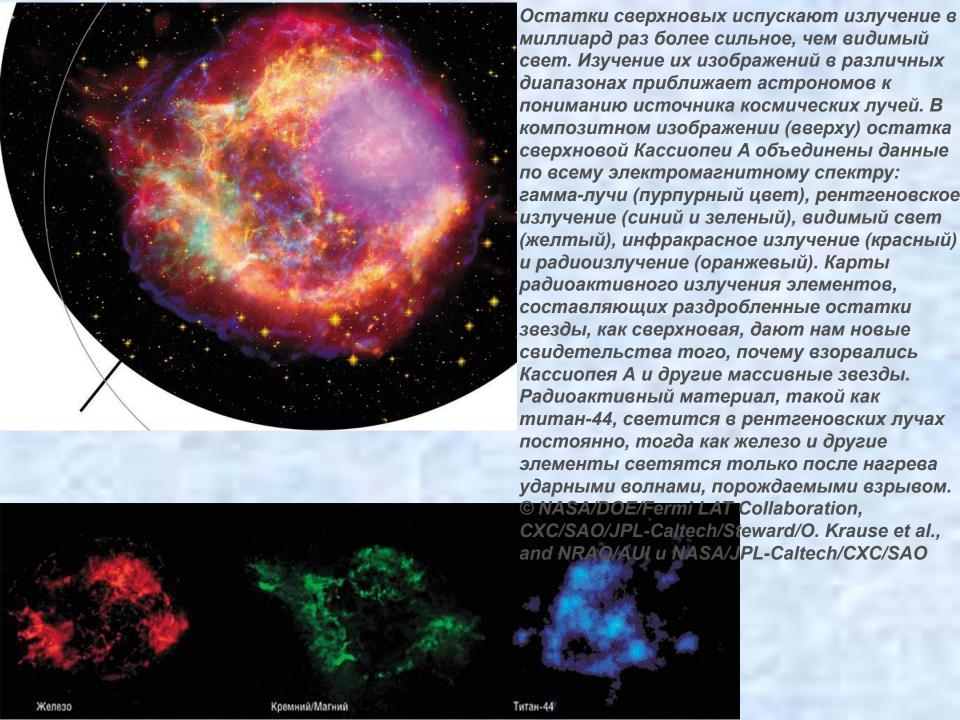


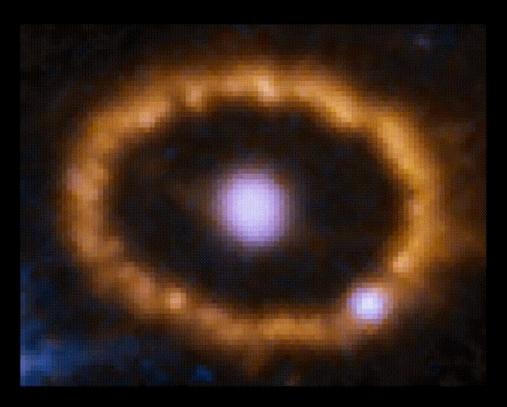


В спиральных рукавах галактики Южное Цевочное Колесо (М83) мириады новорожденных звезд «вылупляются» из пылевых коконов, вызывая красное свечение окружающих облаков водорода. При взрывах сверхновых в пространстве вокруг них распространяется ударная волна, которая уплотняет межзвездный газ и ускоряет формирование новых звезд.



Каждые две секунды во Вселенной взрывается сверхновая. Но некоторые чрезвычайно массивные звезды не могут взорваться как сверхновая: взрываясь, они заканчивают свою жизнь с образованием черной дыры. На рисунке показаны последние этапы жизни такой сверхмассивной звезды. Пример — звезда N6946-BH1, которая была в 25 раз массивнее нашего Солнца. В 2009 г. она начала слабо светиться, но уже в 2015 г. ее не удалось обнаружить. В итоге исследователи пришли к выводу, что она должна стать черной дырой. Такая судьба ожидает во Вселенной многие слишком массивные звезды. © NASA/ESA/P. Jeffries (STScI)





Feb 1994

Hubble Chronicles Brightening of Ring around Supernova 1987A (1994-2016)



https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B0

https://ppt-online.org/45977

https://spacegid.com/sverhnovyie-zvezdyi.html

https://infourok.ru/prezentaciya-po-astronomii-na-temu-novie-i-sverhnovie-zvezdi-klass-3271415.html

http://www.myshared.ru/slide/217022/

http://www.astronet.ru/db/msg/1196579/node1.html

http://www.astronet.ru/db/msg/1188703

http://www.astro.spbu.ru/sites/default/files/Doronina_SN_Mech-2013.pdf

http://galspace.spb.ru/indvop.file/72.html

https://scfh.ru/papers/zvezdnye-vzryvy-ili-rozhdenie-novykh/