[:: www.RANDRS.ru

Белые карлики.

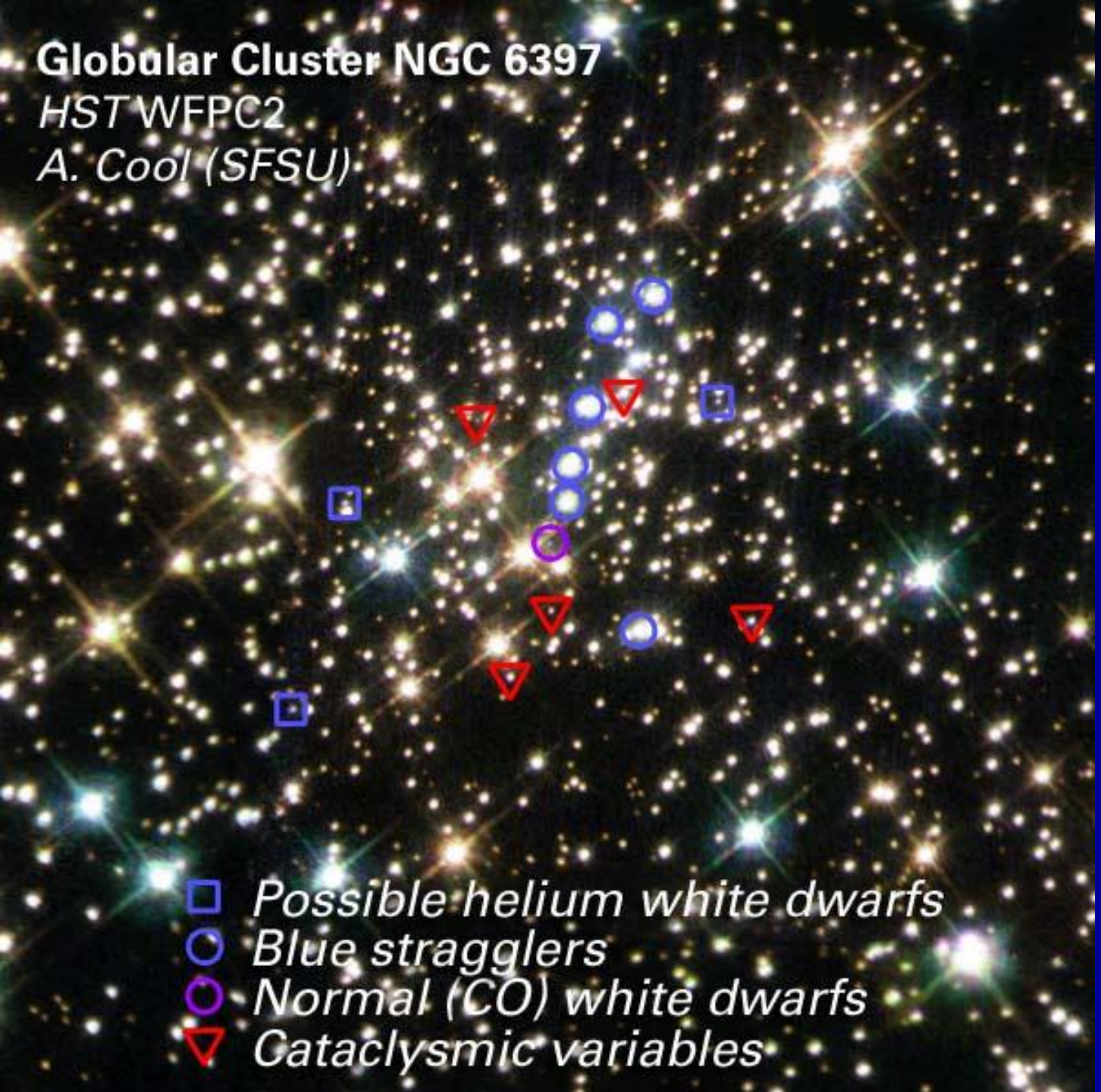
Пульсары.

Нейтронные звёзды.

Белые карлики

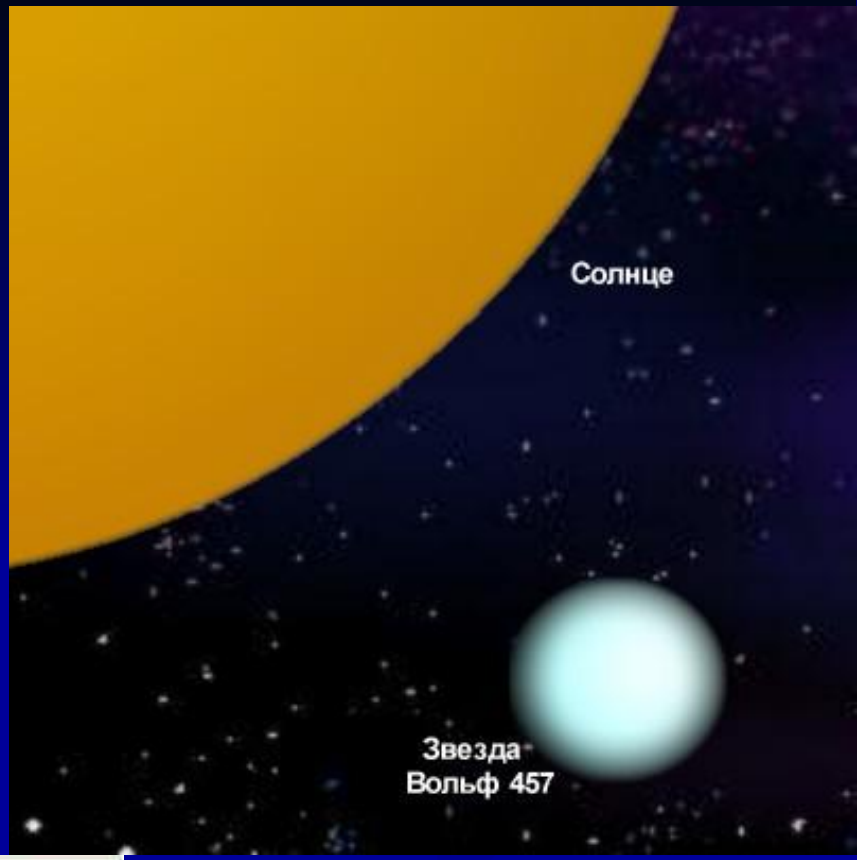
Белые карлики - конечная стадия звездной эволюции после исчерпания термоядерных источников энергии звезд средней и малой массы. Они представляют собой очень плотные горячие звезды малых размеров из вырожденного газа. Ядерные реакции внутри белого карлика не идут, а свечение происходит за счет медленного остывания. Масса белых карликов не может превышать некоторого значения - это так называемый предел Чандрасекара, равны примерно 1,4 массы Солнца.

Солнце в будущем - это белый карлик.



Популяция белых карликов в шаровом звёздном скоплении NGC 6397. Синие квадраты — гелиевые белые карлики, фиолетовые кружки — «нормальные» белые карлики с высоким содержанием углерода.

Сравнение свойств белого карлика Сириус В с Землей и Солнцем



Свойства	Земля	Сириус В	Солнце
масса (M_{sun})	$3\ 10^{-6}$	0.94	1.00
радиус (R_{sun})	0.009	0.008	1.00
светимость (L_{sun})	0.00	0.0028	1.00
поверхностная температура (К)	287	27,000	5770
средняя плотность (г/см^3)	5.5	$2.8\ 10^6$	1.41
центральная температура (К)	4200	$2.2\ 10^7$	$1.6\ 10^7$
центральная плотность (г/см^3)	9.6	$3.3\ 10^7$	160

Астрономические феномены с участием белых карликов

Рентгеновское излучение белых карликов

Температура поверхности молодых белых карликов — изотропных ядер звёзд после сброса оболочек, очень высока — более 2×105 К, однако достаточно быстро падает за счёт нейтринного охлаждения и излучения с поверхности. Такие очень молодые белые карлики наблюдаются в рентгеновском диапазоне (например, наблюдения белого карлика HZ 43 спутником ROSAT).

Температура поверхности наиболее горячих белых карликов — 7×104 К, наиболее холодных — ~5×103 К (см. например Звезда ван Маанена).

Особенностью излучения белых карликов в рентгеновском диапазоне является тот факт, что основным источником рентгеновского излучения для них является фотосфера, что резко отличает их от «нормальных» звёзд: у последних в рентгене излучает корона, разогретая до нескольких миллионов кельвин, а температура фотосферы слишком низка для испускания рентгеновского излучения

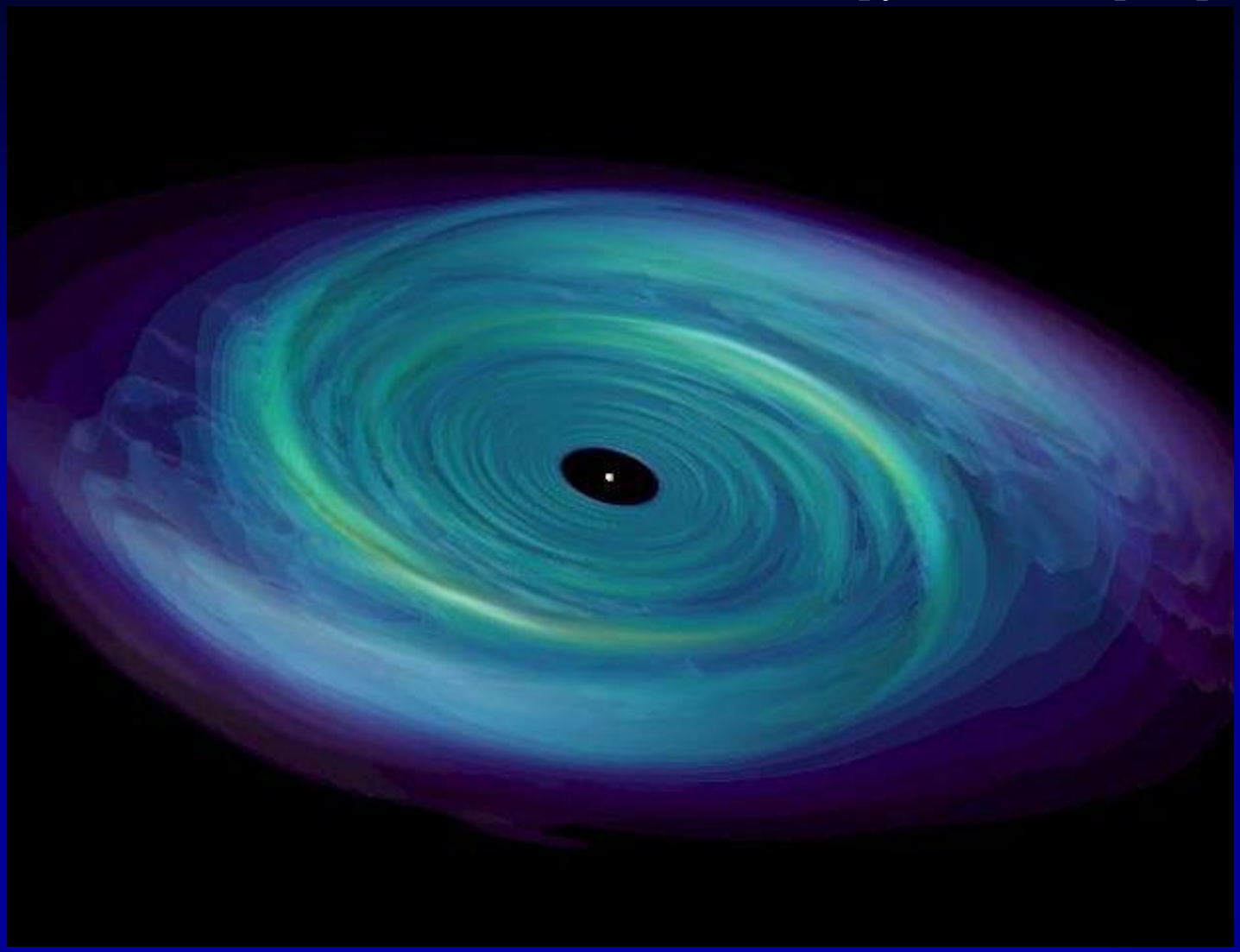
В отсутствие аккреции источником светимости белых карликов является запас тепловой энергии ионов в их недрах, поэтому их светимость зависит от возраста. Количественную теорию остывания белых карликов построил в конце 1940-х годов С. А. Каплан.

Аккреция на белые карлики в двойных системах

При эволюции звёзд различных масс в двойных системах темпы эволюции компонент неодинаковы, при этом более массивный компонент может проэволюционировать в белый карлик, в то время как менее массивный к этому времени может оставаться на главной последовательности. В свою очередь, при сходе в процессе эволюции менее массивного компонента с главной последовательности его переходе на ветвь красных гигантов размер эволюционирующей звезды начинает расти до тех пор, пока она не заполняет свою полость Роша. Поскольку полости Роша компонент двойной системы соприкасаются в точке Лагранжа L1, то на этой стадии эволюции менее массивного компонента чего через точку L1 начинается переток материи с красного гиганта в полость Роша белого карлика и дальнейшая аккреция богатой водородом материи на его поверхность,что приводит к ряду астрономических феноменов:

- Нестационарная аккреция на белые карлики в случае, если компаньоном является массивный красный карлик, приводит к возникновению карликовых новых (звёзд типа U Gem (UG)) и новоподобных катастрофических переменных звёзд.
- Аккреция на белые карлики, обладающие сильным магнитным полем, направляется в район магнитных полюсов белого карлика, и циклотронный механизм излучения аккрецирующей плазмы в околополярных областях магнитного поля карлика вызывает сильную поляризацию излучения в видимой области (поляры и промежуточные поляры).
- Аккреция на белые карлики богатого водородом вещества приводит к его накоплению на поверхности (состоящей преимущественно из гелия) и разогреву до температур реакции синтеза гелия, что, в случае развития тепловой неустойчивости, приводит к взрыву, наблюдаемому как вспышка новой звезды.
- Достаточно длительная и интенсивная аккреция на массивный белый карлик приводит к превышению его массой предела Чандрасекара и гравитационному коллапсу, наблюдаемому как вспышка сверхновой типа Ia.

Аккре́ция (лат. *accrētiō* «приращение, увеличение» от *accrēscere* «прирастать») — процесс падения вещества на космическое тело из окружающего пространства.

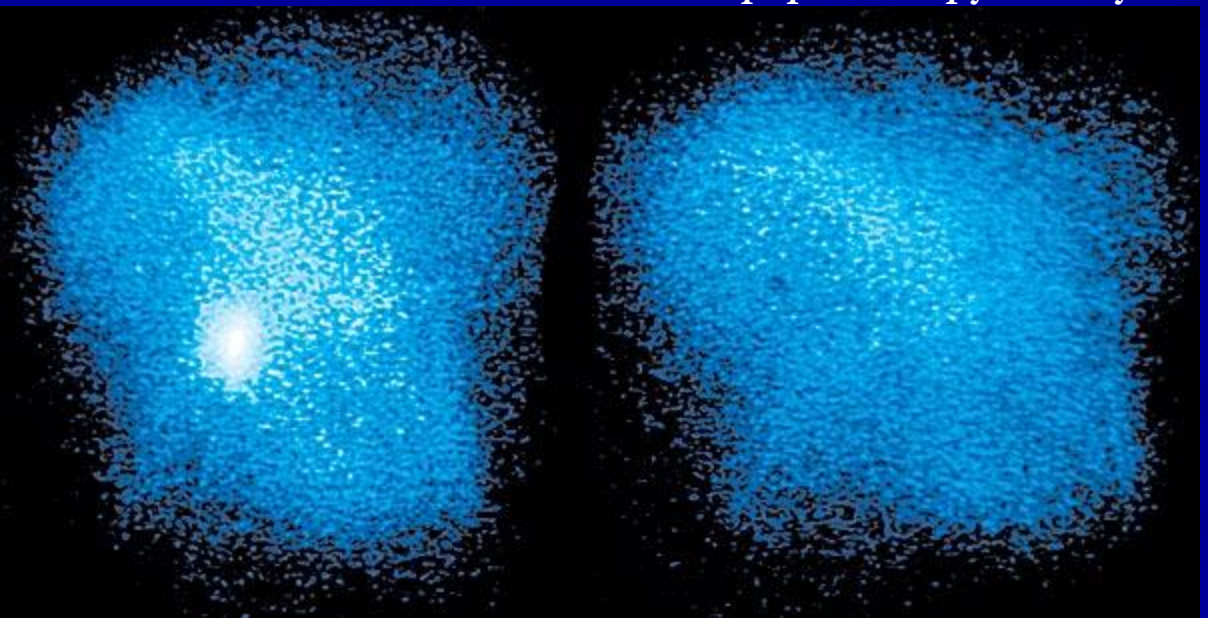


На этом изображении показаны спиральные ударные волны, возникающие при трехмерном моделировании аккреционного диска - вещества, падающего по спирали на компактный центральный объект, который может быть белым карликом, нейтронной звездой или черной дырой. Такие аккреционные диски питают энергией источники рентгеновского излучения в нашей Галактике.

Пульсары

Физика пульсара

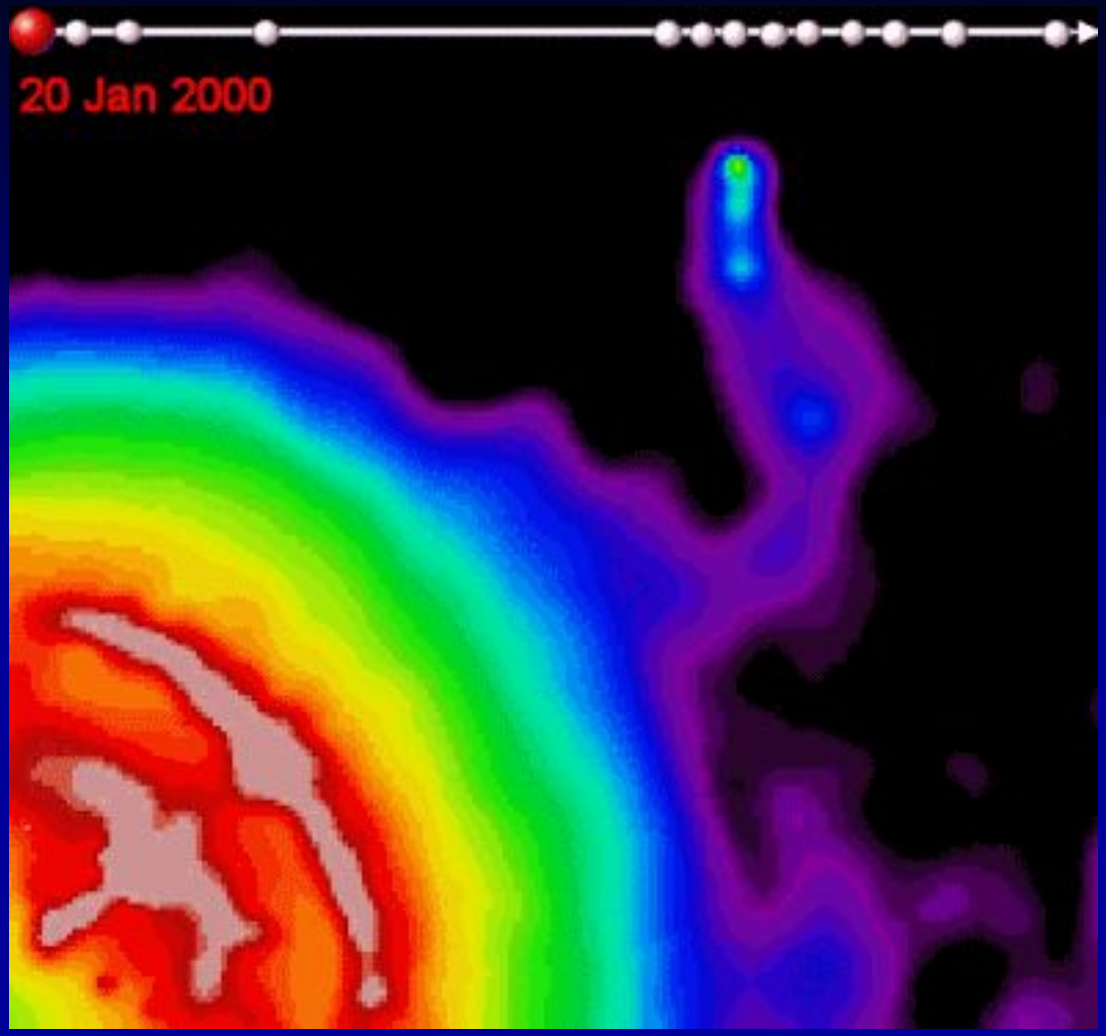
Пульсар — это просто огромный намагниченный волчок, крутящийся вокруг оси, не совпадающей с осью магнита. Если бы на него ничего не падало и он ничего не испускал, то его радиоизлучение имело бы частоту вращения и мы никогда бы его не услышали на Земле. Но дело в том, что данный волчок имеет колоссальную массу и высокую температуру поверхности, да и вращающееся магнитное поле создает огромное по напряженности электрическое поле, способное разгонять протоны и электроны почти до световых скоростей. Причем все эти заряженные частицы, носящиеся вокруг пульсара, зажаты в ловушке из его колоссального магнитного поля. И только в пределах небольшого телесного угла около магнитной оси они могут вырваться на волю (нейтронные звезды обладают самыми сильными магнитными полями во Вселенной, достигающими 1010—1014 гаусс, для сравнения: земное поле составляет 1 гаусс, солнечное — 10—50 гаусс). Именно эти потоки заряженных частиц и являются источником того радиоизлучения, по которому и были открыты пульсары, оказавшиеся в дальнейшем нейтронными звездами. Поскольку магнитная ось нейтронной звезды необязательно совпадает с осью ее вращения, то при вращении звезды поток радиоволн распространяется в космосе подобно лучу проблескового маяка — лишь на миг прорезая окружающую мглу.



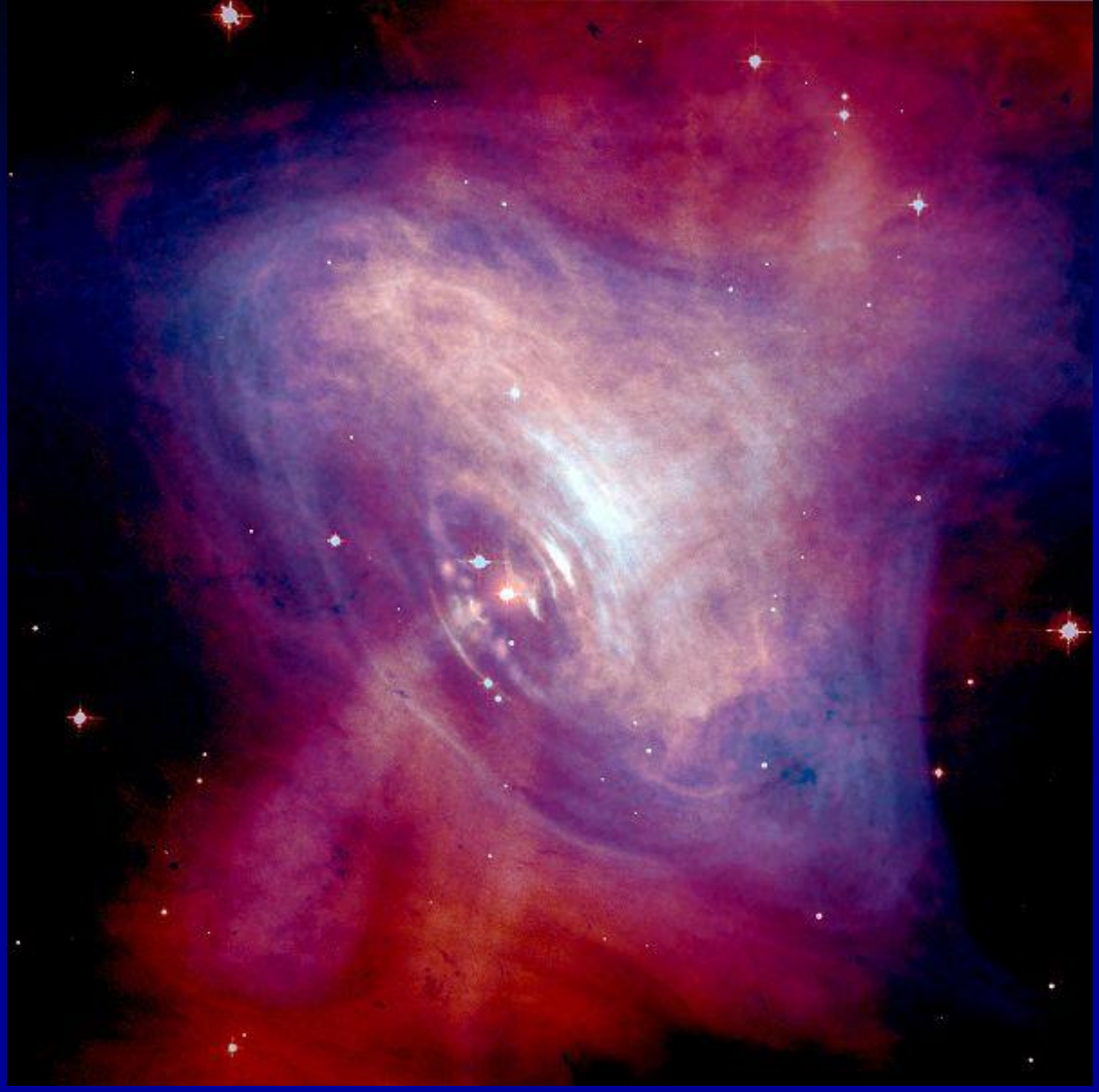
Рентгеновские изображения пульсара Крабовидной туманности в активном (слева) и обычном (справа) состояниях

Ближайший сосед

Данный пульсар находится на расстоянии всего 450 световых лет от Земли и является двойной системой из нейтронной звезды и белого карлика с периодом обращения 5,5 дня. Мягкое рентгеновское излучение, принимаемое спутником ROSAT, испускают раскаленные до двух миллионов градусов полярные шапки PSR J0437-4715. В процессе своего быстрого вращения (период этого пульсара равен 5,75 миллисекунды) он поворачивается к Земле то одним, то другим магнитным полюсом, в результате интенсивность потока гамма-квантов меняется на 33%. Яркий объект рядом с маленьким пульсаром — это далекая галактика, которая по каким-то причинам активно светится в рентгеновском участке спектра.

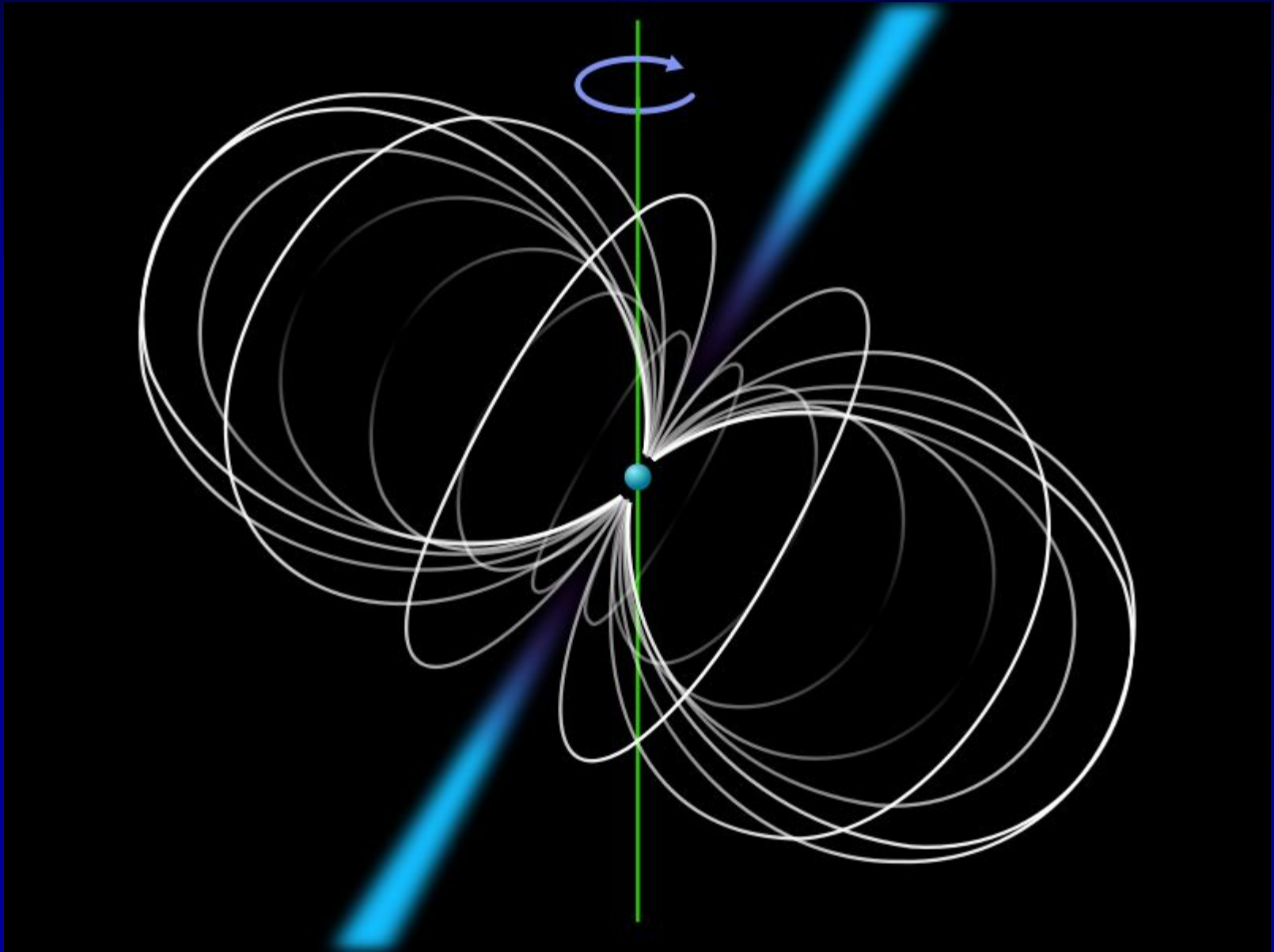


Пульсар **Vela**

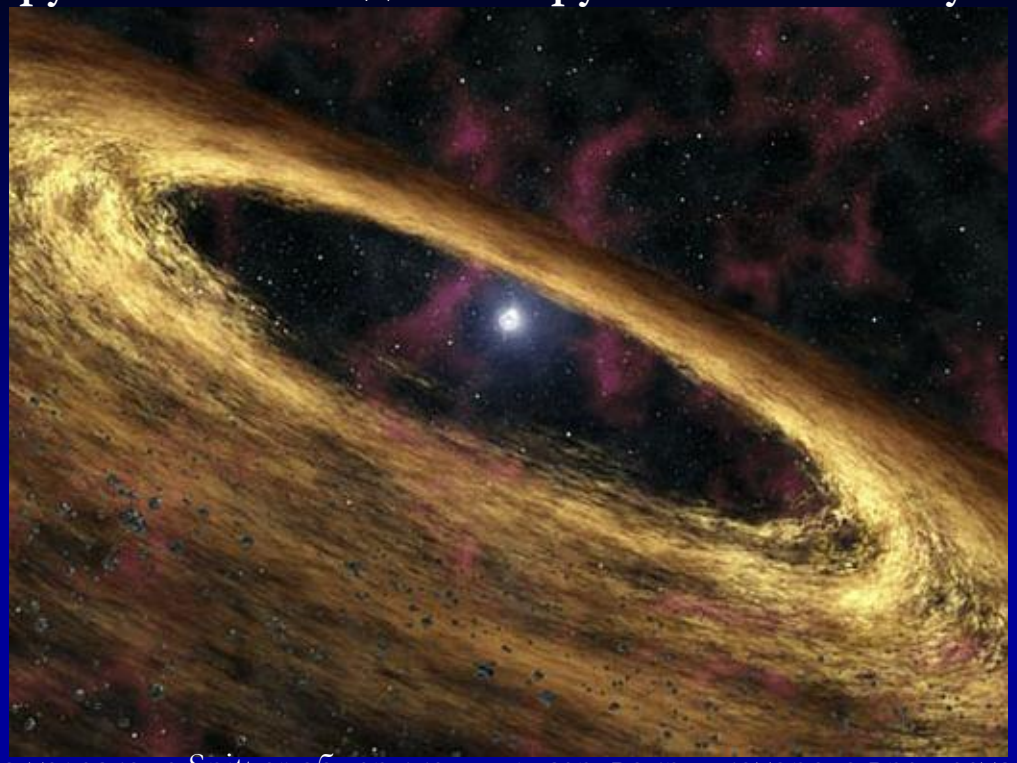


Изображение Крабовидной туманности в условных цветах (синий — рентгеновский, красный — оптический диапазон). В центре туманности — пульсар

Схематическое изображение пульсара. Сфера в центре изображения — нейтронная звезда, кривые линии обозначают линии магнитного поля пульсара, голубые конусы — потоки излучения пульсара



Обнаружен пылевой диск вокруг аномального пульсара



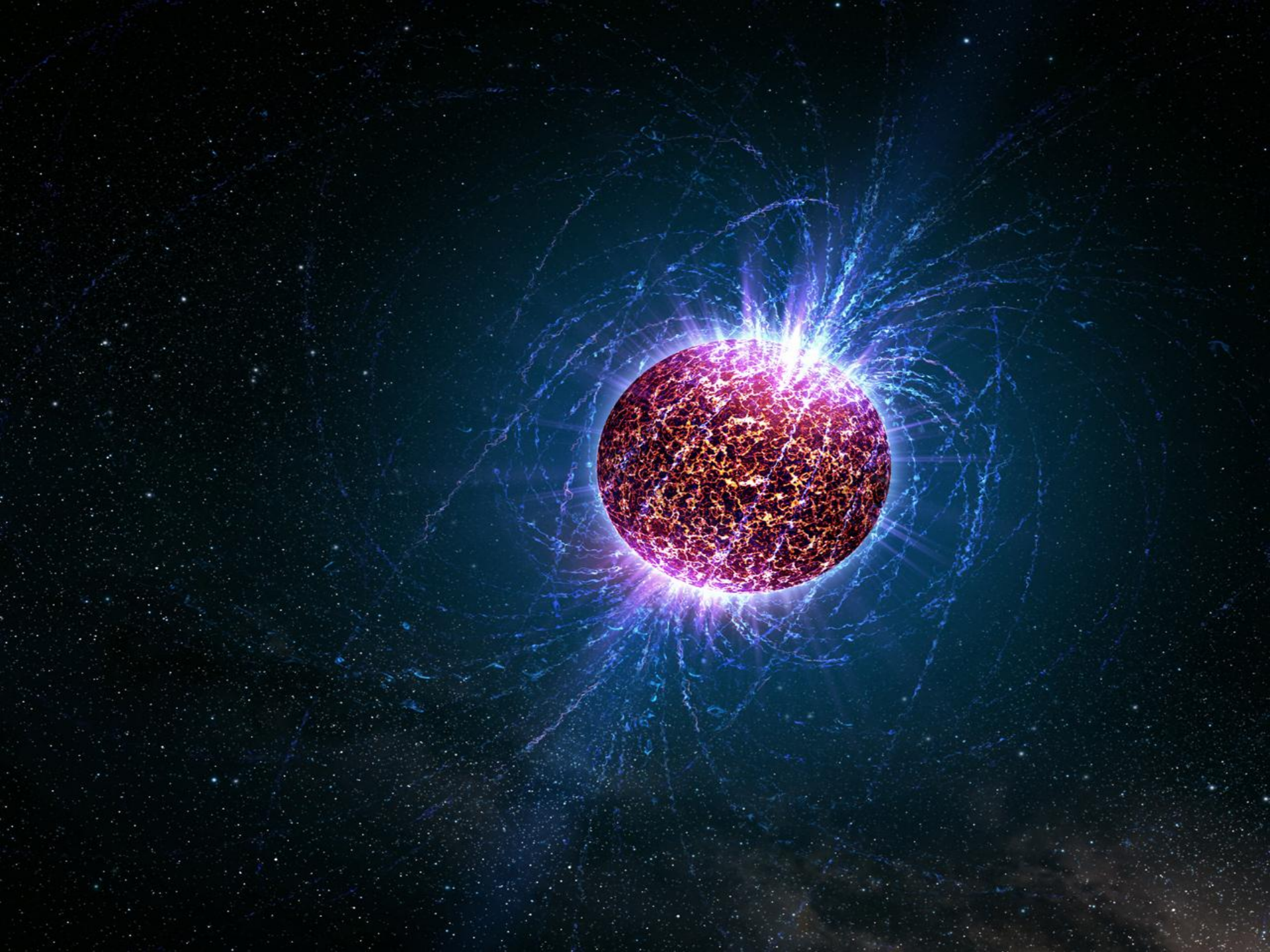
С помощью инфракрасного телескопа Spitzer обнаружен пульсар, вокруг которого вращается пылевой диск, состоящий из обломков погибшей звезды. Этот "космический мусор", с точки зрения астрономов, является идеальным строительным материалом для формирования планет. Диск достаточно далеко отстоит от нейтронной звезды: внутренний радиус границы диска составляет несколько радиусов Солнца, то есть более миллиона километров (радиус самой нейтронной звезды - лишь около 10 км). Такие диски естественным образом должны возникать в процессе так называемой "обратной аккреции" (fallback) после взрыва сверхновой, когда часть вещества не покидает звезду, а ли- бо выпадает обратно на нейтронную звезду, либо остается вращаться вокруг нее в виде диска. Аномальные рентгеновские пульсары считаются кандидатами в магнитары - нейтронные звезды с сильным магнитным полем, расходующие энергию этого поля. То есть основные наблюдательные проявления таких пульсаров (рентгеновское излучение, вспышки) связывают с выделением энергии магнитного поля нейтронных звезд. Открытие столь маломассивного диска во многом поддерживает эту гипотезу, так как окончательно закрывает одну из альтернатив - теорию, в которой роль источника энергии играет мощный диск вокруг нейтронной звезды.

Нейтронные звёзды

Нейтронные звезды – звезды размером 15-20 км и плотностью порядка миллиардов тонн на кубический сантиметр. Они состоят из нейтронов – нейтральных частиц, входящих в состав ядра. По мере того как масса железного ядра возрастает, оно сжимается все сильнее и сильнее. Сила притяжения в ядре становится настолько большой, что происходит коллапс – ядро под действием притяжения за считанные секунды катастрофически сжимается до размеров нескольких тысяч километров, его плотность в результате достигает гигантских величин.

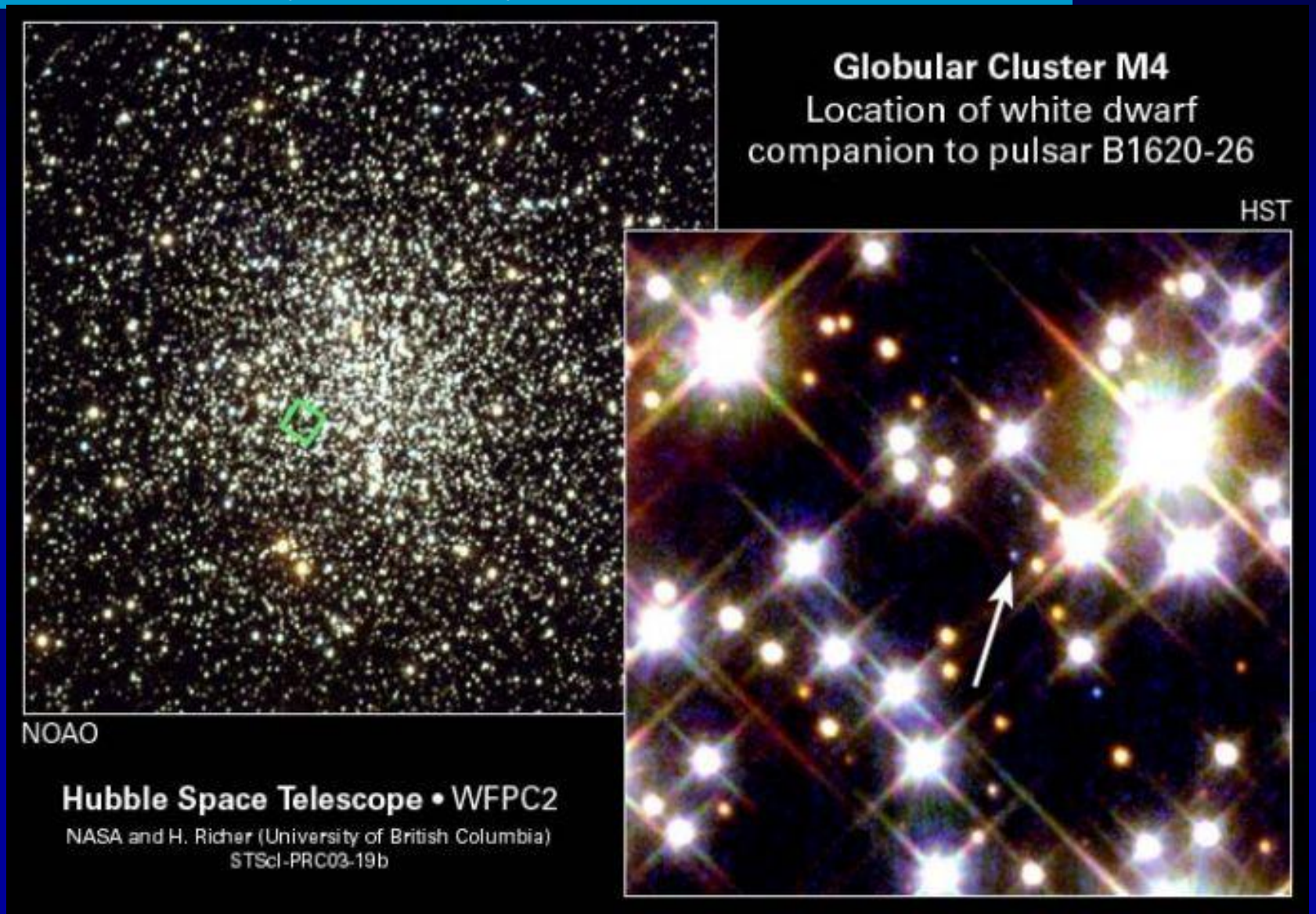
В течение нескольких секунд сжатия большое железное ядро звезды превращается в нейтронное: электроны, приобретая большие скорости, сталкиваются с протонами ядер железа с образованием нейтронов. Внешние слои звезды, состоящие из более легких элементов, начинают падать на нейтронное ядро. Вещество при этом разгоняется до скорости, близкой к скорости света, и, ударившись о поверхность сверхплотного ядра, отскакивает от него. Поверхность звезды начинает расти, ее температура достигает 5000-10000 К. Из-за расширения оболочки плотность звезды сильно уменьшается, так что нейтроны спокойно покидают внутренние области звезды.

Затем скорость расширения оболочки звезды увеличивается до тысяч км в секунду, но температура поверхности не уменьшается, зато пропорционально растет светимость. Через несколько часов она уже так велика, что вещество звезды плавится. В максимуме она достигает нескольких миллиардов светимостей Солнца. Неожиданное появление такой яркой звезды и есть явление сверхновой. В течение первых ста дней светимость звезды убывает. Затем она распадается на отдельные сгустки. По прошествии нескольких сотен лет расширяющаяся оболочка сверхновой становится прозрачной для излучения ядра. Ядро теперь представляет собой быстро вращающуюся нейтронную звезду. Нейтронные звезды очень быстро вращаются (один оборот за время порядка одной секунды) и обладают мощнейшими магнитными полями (в миллиарды раз больше, чем на Солнце).



В нашей Галактике, по предположениям астрономов, находится около миллиарда нейтронных звезд, которые при незначительных размерах (1–5 километров) обладают значительной массой (0,01 – 2 солнечных масс), огромной скоростью вращения вокруг своей оси и сильным магнитным полем (1011-1012 Гс). Астрономам удалось обнаружить в нашей Галактике пока только 700 нейтронных звезд (пульсаров), узконаправленное радиоизлучение которых попадает непосредственно на Землю. Остальные старые и погасшие нейтронные звезды зафиксировать очень сложно, так как они почти не излучают электромагнитных волн в оптическом диапазоне, а у «потухших» нейтронных звезд отсутствует и радиоизлучение.

Нейтронные звёзды — одни из немногих астрономических объектов, которые были теоретически предсказаны до открытия наблюдателями. Ещё в 1933 году В. Бааде и Ф. Цвикки высказали предположение, что в результате взрыва сверхновой образуется нейтронная звезда. Но первое общепризнанное наблюдение нейтронной звезды состоялось только в 1968 году, с открытием пульсаров.



Пояснение: В гигантском шаровом звездном скоплении M4, на расстоянии 5600 световых лет от Земли, найдена планета в двойной системе, состоящей из белого карлика и нейтронной звезды. Белый карлик хорошо виден на снимке космического телескопа им.Хаббла, а нейтронная звезда, обнаруженная по радиоизлучению, представляет собой пульсар. Ранее было известно, что в двойной системе из пульсара и белого карлика присутствует третье тело. Детальный анализ данных космического телескопа им.Хаббла показал, что это действительно планета, масса которой в 2,5 раза больше массы Юпитера. Возраст планеты в такой двойной системе должен быть порядка 13 миллиардов лет. По сравнению с нашей солнечной системой (примерный возраст 4,5 миллиарда лет) и планетами, открытыми у ближайших звезд, новая планета является самой старой, почти такой же древней, как сама Вселенная. Открытие планеты в системе с нейтронной звездой и белым карликом указывает на то, что формирование планет во Вселенной происходило на всем протяжении ее существования. Вновь открытая планета, по-видимому, лишь одна из многих в густонаселенных окрестностях шаровых звездных скоплений.