

Белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры, двойные и переменные звезды



Параграф
ы 24 и 25

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Размеры белых карликов небольшие, всего лишь тысячи и десятки тысяч километров, т. е. сравнимы с размерами Земли. Но их массы близки к массе Солнца, и поэтому их средняя плотность — сотни килограммов в кубическом сантиметре.

Термоядерные реакции в недрах белых карликов не протекают. Их недра состоят из ядер гелия и других тяжёлых элементов.

Эти звёзды светят за счёт запасов тепловой энергии, выработанной в процессе предыдущих этапов эволюции. Через миллиарды лет запасы такой энергии иссякнут, белые карлики остынут и перестанут светиться.

Эти звёзды были названы белыми карликами, так как сначала среди них были обнаружены звёзды белого цвета, а значительно позже — жёлтого и других цветов



Спутник Сириуса – Сириус В. (температура $\approx 25\,000$ К, диаметр чуть превышает диаметр Земли, а масса равна солнечной)

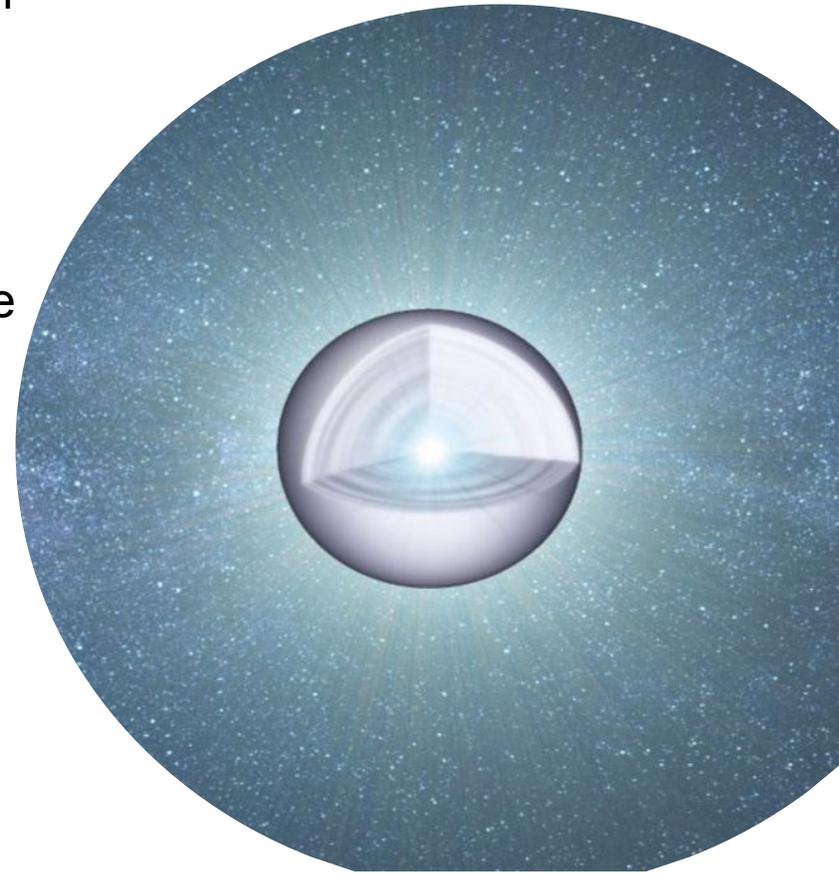
Как обычные звезды превращаются в белых карликов?

Равновесие обычных звезд поддерживается силой давления раскаленной плазмы, которая противостоит силе гравитации. Чтобы оно сохранялось, необходимы внутренние источники энергии, иначе звезда, теряя энергию на излучение света пространство, не выдержит противоборства с гравитацией. Этими источниками являются H и He, а точнее превращение водорода в гелий.

Когда He внутри выгорает, равновесие нарушается, и звезда начинает постепенно сжиматься под действием собственной силы тяжести.

Электроны остаются лишенными пространства и начинают сопротивляться дальнейшему сжатию.

Состояние звезды стабилизируется, и она превращается в белого карлика. Этот карлик продолжает выделять в пространство оставшееся тепло до того момента, когда полностью не остынет и не перестанет светиться.



БЕЛЫЕ КАРЛИКИ

Звезда	Расстояние, пк	Абсолютная звёздная величина, m	Масса, M_{\odot}	Радиус, R_{\odot}
Ван Маанена	4,22	14,24	0,630	0,012
40 Эридана В	4,98	11,01	0,363	0,017
Сириус В	2,66	11,30	0,977	0,025
Не 3398	16,39	10,95	0,501	0,015
Процион В	3,44	13,10	0,426	0,013



Сравнительные размеры Солнца и белого карлика Вольф 457



Сравнительные размеры Земли и белых карликов

Нейтронные звезды

В 1967 году в Кембриджской обсерватории Джоселин Белл и Энтони Хьюиш изучали звезды и нашли нечто совершенно экстраординарное. Это был очень похожий на звезду объект, который как бы излучал быстрые импульсы радиоволн. Его назвали **пульсаром**.

Вещество звезды состоит из плотно упакованных нейтронов. По этой причине такие звёзды получили название нейтронных звёзд.
(радиусы около 10 км и массы, сравнимые с солнечной).

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

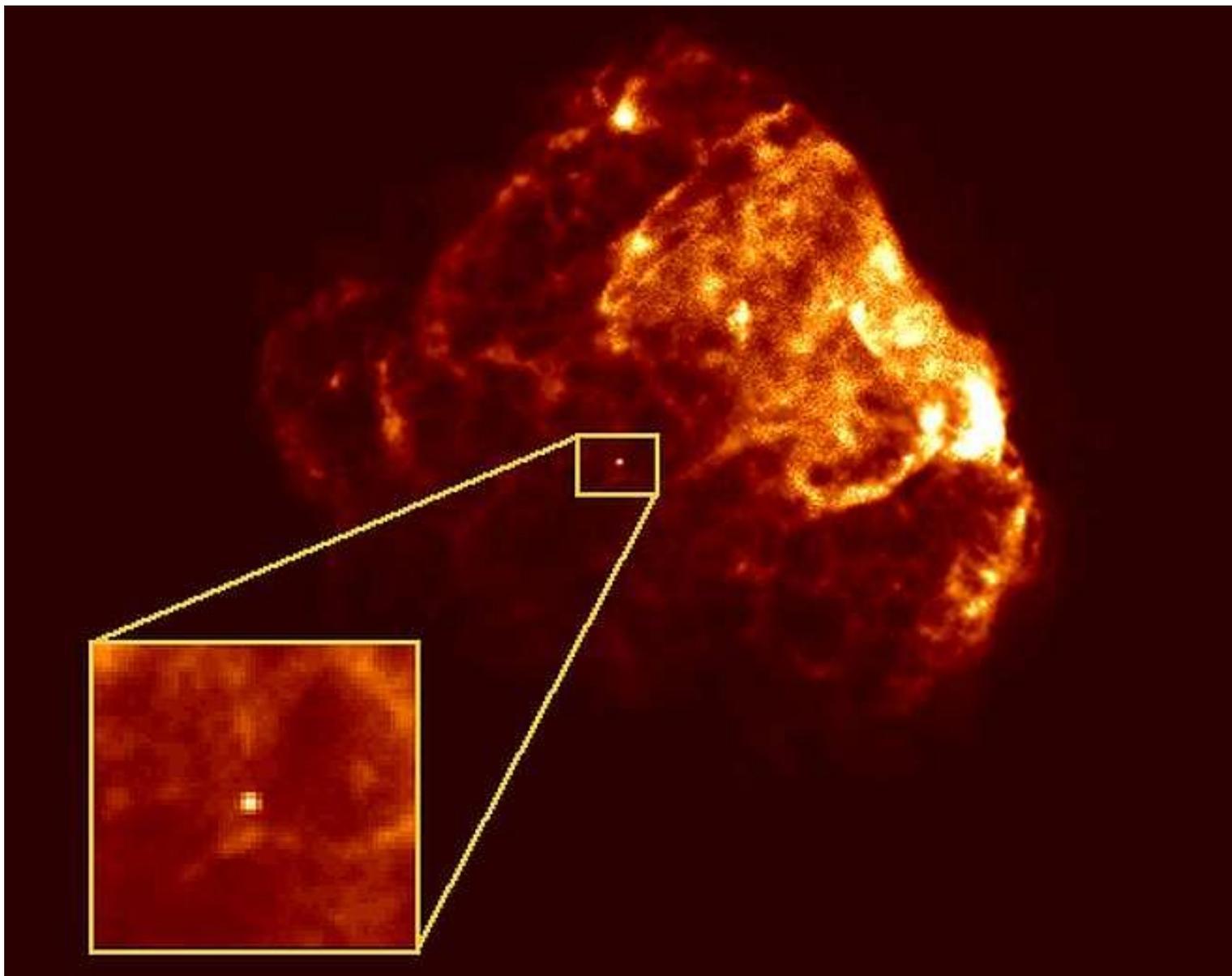
Высокая стабильность периода заставила вначале предположить, что астрономы имеют дело с сигналами, посылаемыми внеземными цивилизациями.



Пульсары – объекты, испускающие периодические импульсы радиоизлучения.

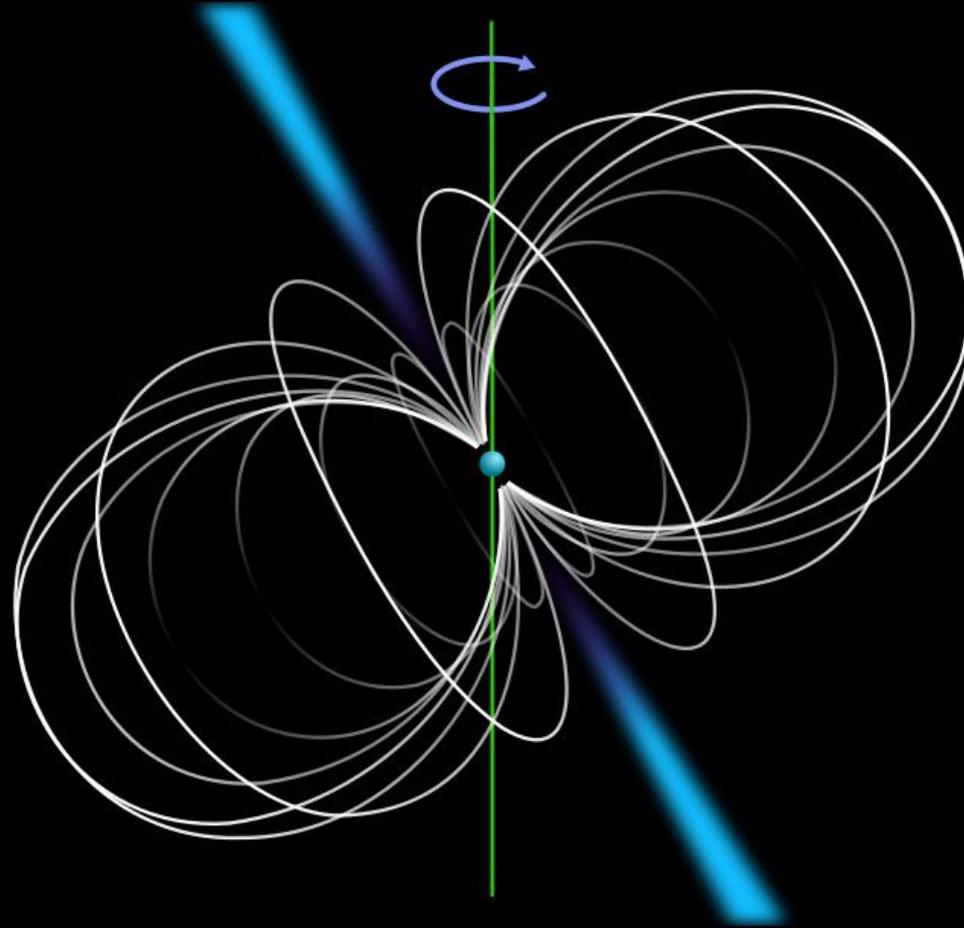
Особенности пульсаров:

- Эти объекты рождаются от некогда массивных звезд , которые больше Солнца в 4-8 раз, во время вспышки сверхновой.
- После взрыва её ядро остается, но её способность поддерживать ядерный синтез пропадает.
- У них невероятно высокая плотность ($4,8 \cdot 10^{17}$ км/м³), сравнимая с плотностью ядер атомов, и масса, но диаметр очень мал.
- В их составе находятся плотно сжатые нейтроны.
- Они обладают сверхсильным магнитным полем, гравитационным притяжением, гораздо большим, чем у Солнца.
- Напряжение, создающееся быстро вращающейся нейтронной звездой, в 30 млн раз > чем у молнии.
- Радиация, испускаемая звездой, видна как пульсирующий источник излучения, то есть пульсар.
- Период повторения – от 0,001 с до нескольких секунд.
- Период следования импульсов радиоизлучения равен периоду вращения нейтронной звезды.
- Если нейтронная звезда находится на близкой орбите вокруг нормальной звезды-компаньона, то она может **ЗАХВАТЫВАТЬ ВЕЩЕСТВО СВОЕЙ СОСЕДКИ**. Это называется **акцерирующей** нейтронной звездой в двойной звездной системе.



Остаток сверхновой Корма-А, в центре которой находится нейтронная звезда.

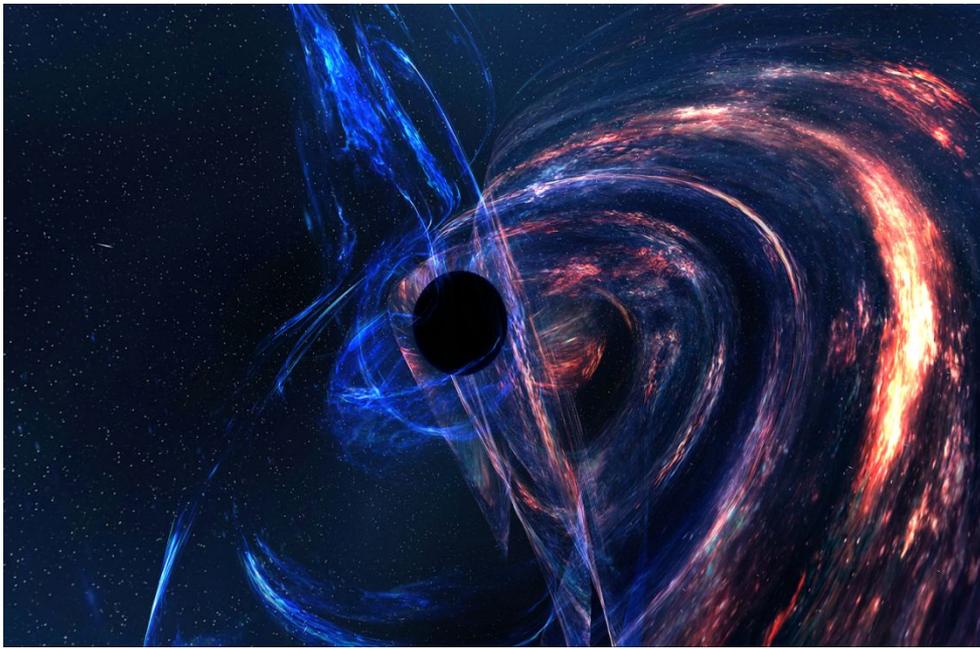
Схематическое изображение вращения пульсара



Пульсары были предсказаны Львом Ландау еще в 30-х годах 20-го века.



Акцерирующая нейтронная звезда



ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ

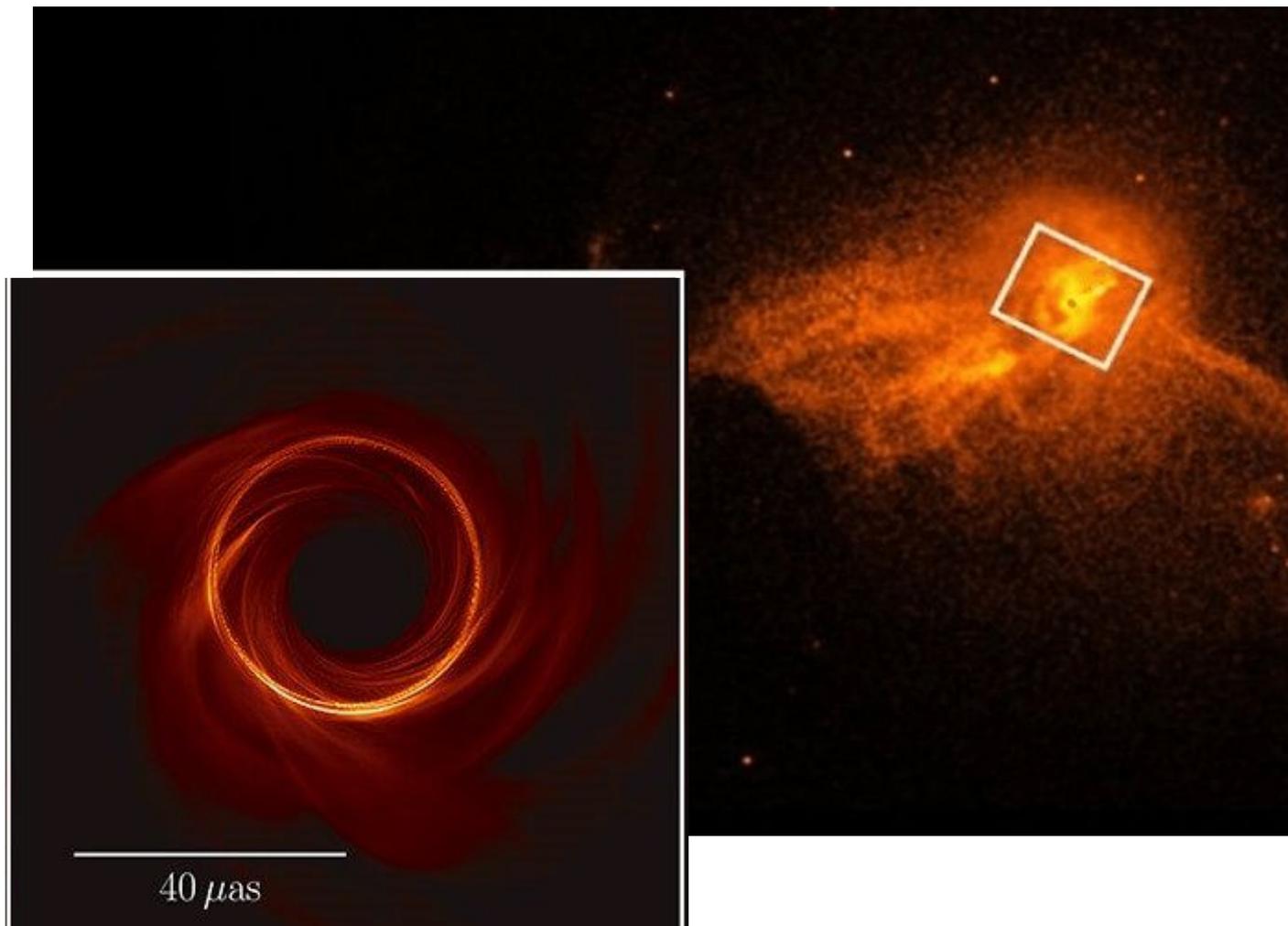
Это наиболее загадочные и из-за этого очень интересные объекты в космическом пространстве.

Они обладают настолько высокой плотностью и гравитационной силой, что даже свет не может вырваться из неё.

Впервые о черных дырах заговорил Альберт Эйнштейн в 1916 году, когда создал общую теорию относительности.

Сам термин возник в 1967 году благодаря Джону Уилеру. А первую черную дыру «заметили» в 1971 году.

Никто на данный момент не знает, что находится внутри. Сделан лишь вывод, что чёрные дыры- это области сильнейшего искривления пространства-времени.



Снимок черной дыры 2019

Если вы оказались внутри черной дыры, то гравитация будет вас растягивать. Но бояться не нужно, ведь вы умрете еще до того, как достигнете сингулярности.

Исследования 2012 года предположили, что квантовые эффекты превращают горизонт событий в огненную стену, сделавшую из вас кучку пепла.

Как обнаруживают черную дыру?

Существуют звезды, вращающиеся как кажется, вокруг определенного пространства, на самом деле они вращаются вокруг черной дыры.

Сама черная дыра ничего не излучает, но её можно обнаружить по поведению частиц газов, не дошедших до горизонта событий.



Размеры самой крупной, из уже известных, черной дыры

Двойные и кратные звезды

Телескопические наблюдения показали существование большого количества физически связанных двойных и кратных звёзд.

Невооружённым глазом можно увидеть несколько двойных звёзд.

Мицар — средняя звезда в «ручке ковша» созвездия Большая Медведица — имеет слабенький спутник 5^m Алькор на угловом расстоянии $5'$. Наблюдения в крупные телескопы показали, что эти две яркие звезды входят в состав шестикратной звёздной системы, все они связаны общим тяготением.



Большой интерес у астрономов вызывает изучение двойных звёзд. Длительные наблюдения за ними позволяют определить элементы эллиптических орбит, по которым они вращаются вокруг друг друга, а по ним определить массу каждой звезды в отдельности. Это пока единственный прямой метод определения масс звёзд.

Типы двойных (физически двойных) звезд:

- 1. Визуально-двойные** звезды, двойственность которых может быть видна в телескоп. К середине 20в известно около 60 000 визуально-двойных звёзд.
- 2. Спектрально- двойные** - выявляемые по периодическим колебаниям или раздвоению спектральных линий. Их периоды обычно составляют от нескольких дней до нескольких недель. Иногда компоненты двойных систем расположены так близко, что гравитация искажает сферическую форму звезд. Они могут обмениваться веществом и могут быть окружены общей газовой оболочкой. Когда потоки вещества устремляются к компактной вращающейся звезде двойной системы, может образоваться аккреционный диск. Освободившаяся энергия излучается в рентгеновском диапазоне.
- 3. Затменно-двойные** - звезды, изменяющие свой блеск вследствие затмения одного компонента двойной звезды. Это происходит, если орбиты двойной системы сориентированы в пространстве так, что при наблюдении с Земли одна звезда проходит перед другой. Такая система имеет переменную яркость, так как одна звезда периодически заслоняет свет другой. Сейчас известно более 5000 таких звезд.
- 4. Астрометрически двойные** – выявляются по отклонению в движении (колебаниям) главной звезды, вызванное орбитальным движением более слабого спутника. Если одна звезда намного слабее другой (невидимый спутник), ее присутствие можно обнаружить только по видимому движению более яркого компаньона.



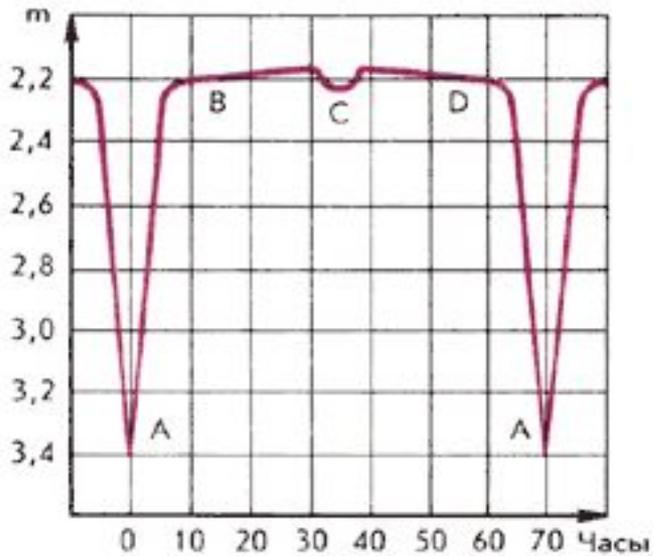
СИРИУС (α Большого Пса) - самая яркая звезда видимая у нас на небе. Это тройная звезда в 8,56св. годах от нас. Системы из более чем двух звезд называют кратными.

Сириус А -главная звезда в расцвете сил, $M_A = 2,14M_{\alpha}$, $R_A = 1,7R_{\alpha}$, $T = 10400\text{K}$, $L = 23,55L_{\alpha}$, $\rho_A = 0,36\text{г/см}^3$.

Сириус В (Щенок) -белый карлик, открыт в 1862г А.Кларк (США) $M_B = M_{\alpha}$, $R_B = 0,02R_{\alpha}$, $L = 0,002L_{\alpha}$, $\rho_B = 180\text{г/см}^3$. Период обращения 49,9 лет с удалением от Сириуса А от 8а.е до 32а.е. На фото справа маленькая светлая точка.

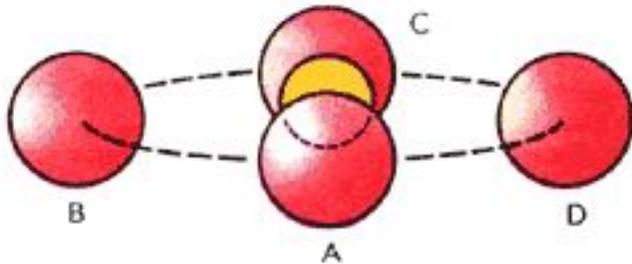
Сириус С -красно-коричневый карлик, открыт в 1995г $M_C = 0,05M_{\alpha}$, $T = 2000\text{K}$, период обращения 6,3 года с максимальным удалением от Сириуса А до 8а.е.

Затменно-переменные звезды



К таким звездам относится β Персея - Алголь, ее название в переводе с арабского означает «Глаз дьявола».

Изменения блеска этой звезды связаны с её двойственной природой. Большая по размерам холодная звезда периодически закрывает маленькую, но более яркую звезду, которая обращается вокруг неё. Период изменения блеска равен периоду обращения одной звезды вокруг другой.



Изучение характера изменения блеска и спектров звёзд, входящих в эти двойные системы, позволило определить их массы, радиусы и свойства атмосфер.

Пульсирующие переменные звезды

Особый класс переменных звезд составляют пульсирующие переменные звезды, которые меняют свой блеск при пульсациях и изменениях температуры поверхности. Пульсация возможна только у гигантов и сверхгигантов.



ЦЕФЕИДЫ

Самой известной пульсирующей переменной звездой является звезда δ Цефея, имеющая четкий период изменения блеска 5,4 суток.

Звезда красный сверхгигант Мира (Удивительная) в созвездии Кита.
($9,1^m - 3,5^m$)

Почему цефеиды называют маяками Вселенной?

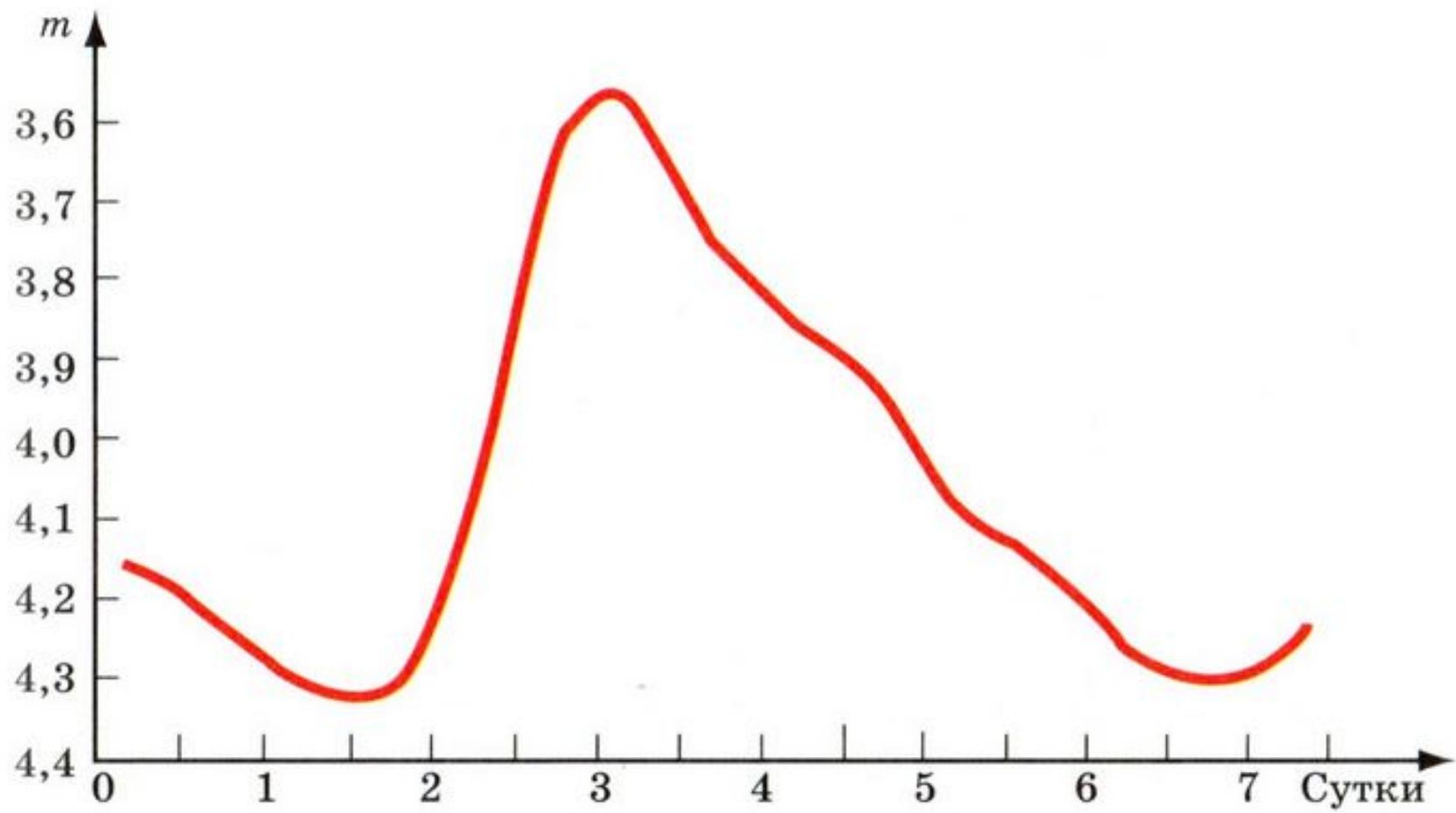
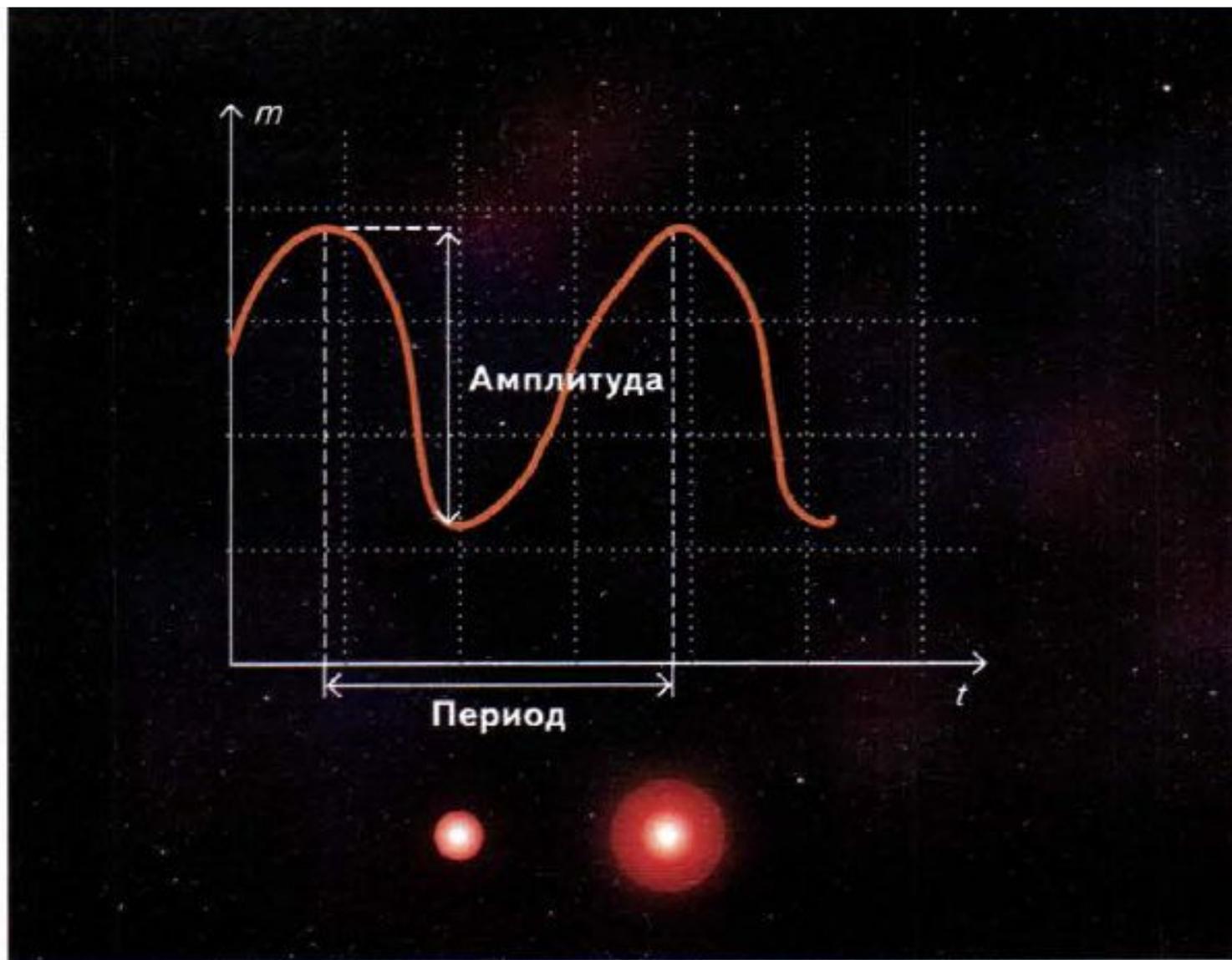


Рис. 92. Кривая блеска δ Цефея



Зависимость звёздной величины от времени для переменной звезды. Цефеида изменяет цвет и размер

1. Переменные звезды - звезды, блеск которых изменяется. Первая переменная открыта в 1596г Давидом Фабрициус (Германия) - о Кита (Мира Кита или Удивительная Кита).

Изменение блеска, происходящее по разным причинам, может происходить строго периодически (*правильные*), с нарушением периодичности (*полуправильные*) и хаотически (*неправильные*).

Так к строго периодическим (*правильным*) относятся уже изученные **затменно-переменные** звезды.

Но существуют различные типы **физически переменных** звезд, изменение блеска которых связано с происходящими на них физическими процессами. Принятые способы обозначения переменных звезд восходят, главным образом, к обозначениям Ф.В.А. Аргеландера, который использовал для девяти самых ярких переменных в каждой созвездии буквы от R до Z в соединении с названием созвездия. Для последующих переменных стали использовать пары букв, от RR до RZ, от SS до SZ и так далее, вплоть до ZZ (буква J опускается). Затем используются пары букв от AA до AZ, от BB до BZ и так далее, что доводит число доступных обозначений до 334. Однако во многих созвездиях число открытых переменных намного превысило предельное значение 334, так что эти звезды стали обозначать просто как V335, V336, и так далее.

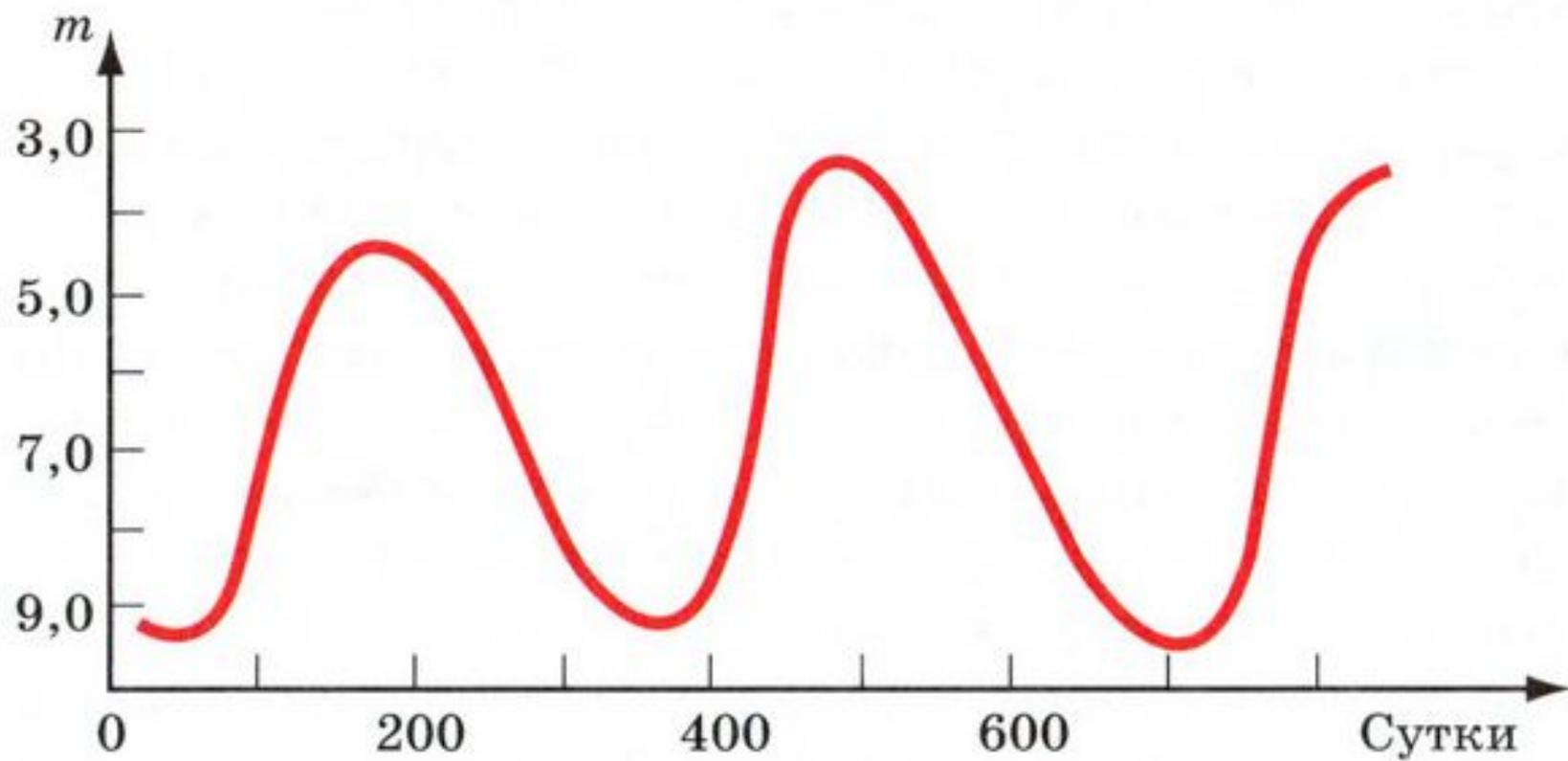
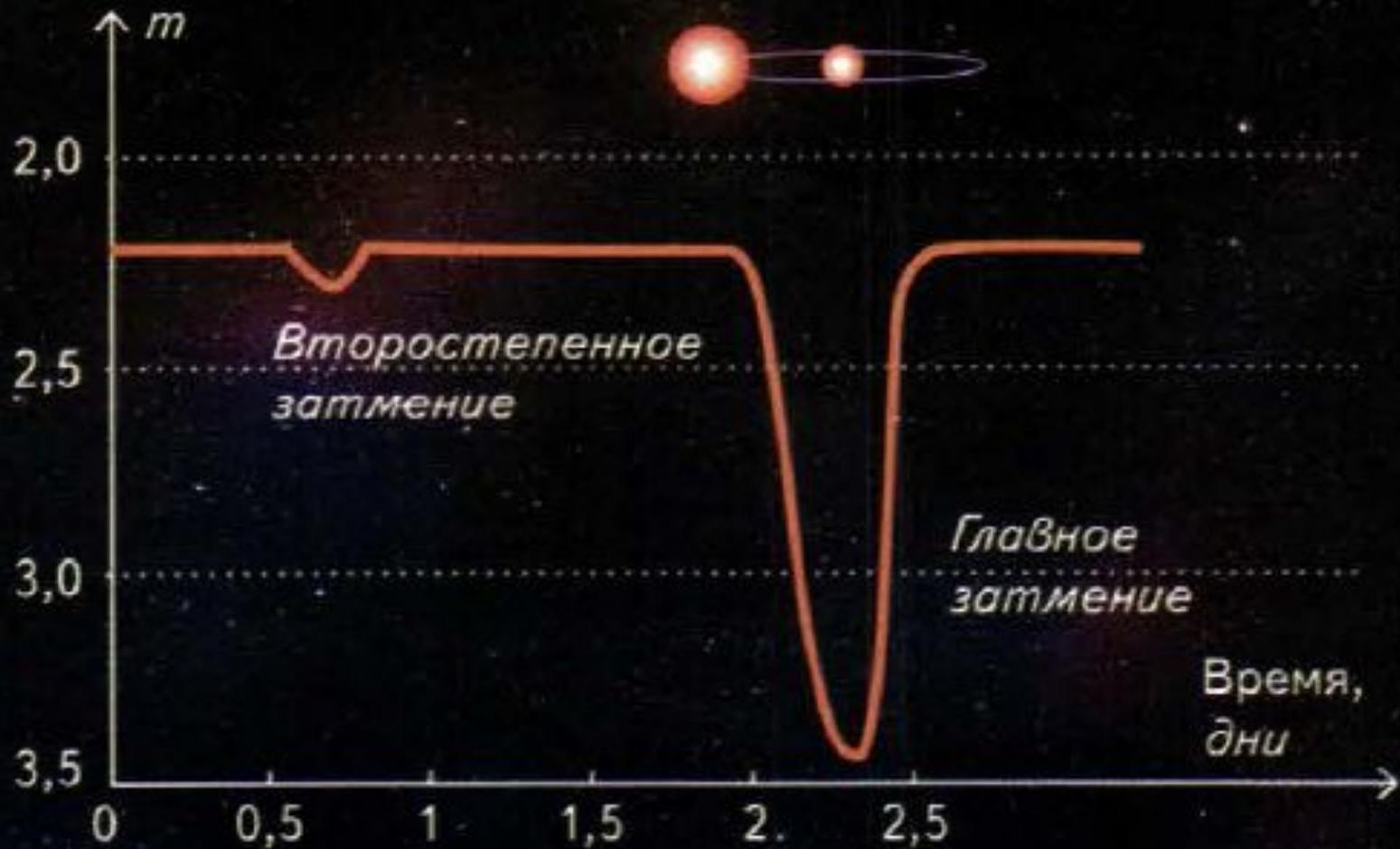


Рис. 94. Кривая блеска Миры Кита



Зависимость звёздной величины от времени для затменно-переменной звезды

2. Физически переменные звезды - на **короткопериодические** (период изменения блеска от 1 до 90 суток) и **долгопериодические** (период изменения блеска от 90 до 739 суток).

1) Цефеиды - весьма распространенные, вид строго периодических (правильных) физически переменных звезд с изменением блеска до $1,5^m$. Название получили от классической звезды **d Цефея** с $T = 5$ дней 8 часов 37 минут. Поскольку это яркие желтые гиганты, обладающие колоссальной светимостью, поэтому их называют “маяки Вселенной”.

2) Другие периодические (правильные). Вот некоторые:

а) Мириды – красные гиганты, $T = 90, 730$ суток. Прототип о Кита (Мира Кита или Удивительная Кита). Мира - гигант класса M ($R = 390R_{\odot}$, $M = 10M_{\odot}$), яркость которой изменяется от 2^m до $10,1^m$ с периодом 331,6 дней.

б) Лириды – гигантские белые и желтые звезды класса A и F с $T = 0,2, 1,2$ суток и изменением яркости от $0,2^m$ до $2,0^m$ (прототип RR Лиры, существует три подтипа Лирид)- старые звезды с пониженным содержанием тяжелых элементов.

2. Полуправильные – на определенный период накладываются более мелкие колебания.

а) Типа d Щита, класс F с изменением блеска на $0,25^m$, $T = 3, 14,6$ часа.

б) Типа RV Тельца с $T = 30, 150$ дней, или DF Лебедя с $T = 49,808$ дня.

И другие типы правильных, полуправильных и неправильных.

Переменные звезды

Звезда	Видимая звёздная величина, m		Период, сут.
	max	min	
Цфеиды			
ζ Близнецов	3,6	4,2	10,14
η Орла	3,5	4,4	7,17
δ Цефея	3,5	4,4	5,36
Звёзды типа RR Лиры			
RR Лиры	7,06	8,12	0,56
AR Персея	9,92	10,83	0,42
Переменные типа Миры Кита			
R Гидры	3,50	10,90	389
χ Лебедя	3,30	14,20	407
o Кита	2,00	10,10	332
Затменные переменные			
δ Весов	4,9	5,9	2,32
U Змееносца	5,8	6,5	1,67
β Лиры	3,34	4,34	12,934

4. Вспыхивающие звезды (новая) - звезда, яркость которой внезапно увеличивается примерно на десять звездных величин (обычно от 2^m до 8^m), а затем постепенно (в течение нескольких месяцев) падает. Новые представляют собой тесные двойные звезды, один из компонентов которых - белый карлик. В любой галактике, как правило, в год возникает несколько десятков новых в двойных системах. Считается, что четверть всех звезд вспыхивает. Зависимость между силой взрыва и длительностью периода установили П.П.Перенаго и Б.В.Кукаркин.

Вот некоторые:

А) тип UV Кита (открыл В.Люйтер (1948г, США), вспыхивает вследствие мощных магнитных изменений. За » 30 часов светимость изменяется в 100 раз. Известно > 100 звезд. Вспышки не регулярны, кратковременны.

Б) Тип U Близнецов (короткопериодические двойные системы- обычно обычная звезда и белый карлик, открыта 15.12.1855г Джоном Хайдом (Англия)) вспышки через 3-4 месяца, с изменением светимости \hat{a} 100 раз – карликовые новые.

В) Тип R Северной Короны – сверхгиганты, вспышки - подъем вещества из недр звезды на поверхность (выброс).

5. Взрывающиеся звезды (сверхновые)- катастрофический взрыв звезды, в ходе которого выделяется так много энергии, что по яркости она может превзойти всю галактику с ее миллиардами звезд. Кроме того, в десять раз больше энергии выделяется в виде кинетической энергии выброшенного взрывом вещества и еще в сто раз больше - в виде энергии нейтрино. Взрыв сверхновой происходит, когда старая массивная звезда (более 8 масс Солнца) истощает запас ядерного топлива. В этих условиях ядро становится неустойчивым и коллапсирует (меньше чем за секунду). Оставшееся ядро представляет собой **нейтронную звезду (пульсар)** с массой не превосходящей трех солнечных и размером в 20-30 км. Магнитное поле под действием мощной ударной волны усиливается, и скорость вращения остатка возрастает. Первый ПУЛЬСАР (нейтронная звезда) открыт в созвездии Лисичка в 1967 году Энтони Хьюиш (Англия). Сейчас известно >600 пульсаров. При более значимых массах взрыв сверхновой приводит к образованию черной дыры.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Как устроены нейтронные звёзды?
- Что представляют собой чёрные дыры?
- Наблюдения показали, что яркая звезда по спектру относится к звезде главной последовательности спектрального класса В8 и имеет массу $3,2M_{\odot}$. Вторая звезда относится к красным гигантам спектрального класса К. Расстояние между ними $0,062$ а. е., период обращения одной вокруг другой возьмите из кривой изменения блеска Алголя. Определите суммарную массу системы и массу второй звезды.
- Вокруг звезды Процион (α Малого Пса) на расстоянии 14 а. е. вращается слабый спутник с периодом около 41 г. Оцените суммарную массу двойной системы.