Введение

На протяжении веков единственным источником сведений о звездах и Вселенной был для астрономов видимый свет. Наблюдая невооруженным глазом или с помощью телескопов, они использовали только очень небольшой интервал волн из всего многообразия электромагнитного излучения, испускаемого небесными телами. Астрономия преобразилась с середины нашего века, когда прогресс физики и техники предоставил ей новые приборы и инструменты, позволяющие вести наблюдения в самом широком диапазоне волн – от метровых радиоволн до гамма-лучей, где длины волн составляют миллиардные доли миллиметра. Это вызвало нарастающий поток астрономических данных, в том числе и открытие пульсаров.

##### Открытие

Летом 1967 г. в Кембриджском университете (Англия) вошел в строй новый радиотелескоп, специально построенный Э. Хьюишем и его сотрудниками для одной наблюдательной задачи - изучения мерцаний космических радиоисточников. Новый радиотелескоп позволял производить наблюдения больших участков неба, а аппаратура для обработки сигналов была способна регистрировать уровень радио-потока через каждые несколько десятых долей секунды. Эти две особенности их инструмента и позволили кембриджским радиоастрономам открыть нечто совершенно новое - пульсары. Открытие пульсаров отмечено Нобелевской премией по физике в 1978 г.

##### Интерпретация: нейтронные звезды

В астрономии известно немало звезд, блеск которых непрерывно меняется, то возрастая, то падая. Имеются звезды, их называют цефеидами со строго периодическими вариациями блеска. Усиление и ослабление яркости происходит у разных звезд этого класса с периодами от нескольких дней до года. Но до пульсаров никогда еще не встречались звезды со столь коротким периодом, как у первого «кембриджского» пульсара.

Вслед за ним в очень короткое время было открыто несколько десятков пульсаров, и периоды некоторых из них были еще короче. Сейчас известно около четырех сотен пульсаров. Очень короткие периоды пульсаров послужили первым и самым веским аргументом в пользу интерпретации этих объектов как вращающихся нейтронных звезд. Происхождение быстрого вращения нейтронных звезд-пульсаров несомненно вызвано сильным сжатием звезды при ее превращении из «обычной» звезды в нейтронную. Когда звезда сжимается, ее вращение убыстряется. Здесь действует один из основных законов механики - закон сохранения момента импульса. Из него следует, что при изменении размеров вращающегося тела, изменяется и скорость его вращения. Более быстрое исходное вращение дает и еще более короткие периоды. Сейчас известны не только пульсары, излучающие в радиодиапазоне, - их называют радиопульсарами, но и рентгеновские пульсары, излучающие регулярные импульсы рентгеновских лучей. Но и радиопульсары, и рентгеновские пульсары отличаются от барстеров в одном принципиальном отношении: они обладают очень сильными магнитными полями, которые вместе с быстрым вращением и создают эффект пульсаций, хотя и действуют эти поля по-разному в радиопульсарах и пульсарах рентгеновских.



##### Рентгеновские пульсары

Рентгеновские пульсары — это тесные двойные системы, в которых одна из звезд является нейтронной, а другая — яркой звездой-гигантом. Известно около двух десятков этих объектов. Первые два рентгеновских пульсара — в созвездии Геркулеса и в созвездий Центавра. Пульсар в Геркулесе посылает импульсы с периодом 1,24 с. Это период вращения нейтронной звезды. Между прочим, наблюдение рентгеновских затмений для барстеров до последнего времени не удавалось. Пульсар в созвездии Центавра имеет период пульсаций 4,8 с. В большинстве случаев компаньоном нейтронной звезды в рентгеновских пульсарах является яркая голубая звезда-гигант. Этим они отличаются от барстеров, которые содержат слабые звезды-карлики. Есть все основания полагать, что нейтронные звезды рентгеновских пульсаров обладают очень сильным магнитным полем, достигающим значений магнитной индукции *B∈ 108 – 109 Тл*, что в 1011- 1012 раз больше среднего магнитного поля Солнца. Но такие поля естественно получаются в результате сильного сжатия при превращении обычной звезды в нейтронную.

По своей структуре, т. е. по геометрии силовых линий, магнитное поле пульсара похоже, как можно ожидать, на магнитное поле Земли или Солнца: у него имеются два полюса, из которых в разные стороны расходятся силовые линии. Такое поле называют дипольным.

От рентгеновских пульсаров никогда не наблюдали вспышек, подобных вспышкам барстеров. С другой стороны, от барстеров никогда не наблюдали регулярных пульсаций. Магнитное поле нейтронных звезд в барстерах заметно слабее, чем в пульсарах. Различие в магнитном поле связано, вероятно, с различием возраста барстеров и пульсаров. Следовательно, барстеры - это старые системы, в которых магнитное поле успело со временем в какой-то степени ослабнуть, а пульсары - это относительно молодые системы и потому магнитные поля в них сильнее.

##### Радиопульсары

Распределение радиопульсаров на небесной сфере позволяет заключить прежде всего, что эти источники принадлежат нашей Галактике: они очевидным образом концентрируются к ее плоскости служащей, экватором галактической координатной сетки. Если радиопульсары располагаются вблизи галактической плоскости, среди самых молодых звезд Галактики, то разумно полагать, что и сами они являются молодыми. Строгая периодичность следования импульсов, расположение в плоскости Галактики и молодость - все это сближает радиопульсары с рентгеновскими пульсарами. Но во многих других отношениях они резко отличаются друг от друга. Дело не только в том, что одни испускают радиоволны, а другие рентгеновские лучи. Важнее всего то, что радиопульсары - это одиночные, а не двойные звезды. Физика радиопульсаров должна быть совсем иной, чем у барстеров или рентгеновских пульсаров. Принципиально иным должен быть источник их энергии. Излучение пульсара Крабовидной туманности регистрируется во всех диапазонах электромагнитных волн - от радиоволн до гамма-лучей. Больше всего энергии он испускает именно в области гамма-лучей:

*E ≈ 10-11 Вт / м2*

Но большинство радиопульсаров регистрируются благодаря излучению в радиодиапазоне. Расстояние до Крабовидной туманности: *d* = 6\*1019 м, следовательно, можно найти светимость пульсара:



##### Источник энергии

Периодичность импульсов радиопульсара выдерживается с удивительной точностью. Это самые точные часы в природе. Характерное время изменения периода составляет для большинства пульсаров приблизительно миллион лет.

Вращение замедляется со временем, следовательно, тратится энергия вращения. Кинетическую энергию вращения звезды можно получить по формуле:



где М — масса звезды, V — характерная скорость вращения. При типичном периоде 1 с и радиусе нейтронной звезды 10000 м:

*E* = 3\*1039 Дж.

Таков запас энергии вращения. Кинетическая энергия вращения нейтронной звезды достаточно велика и она способна служить резервуаром, из которого излучение черпает свою энергию.

##### Магнитно-дипольное излучение

Нейтронная звезда может обладать очень значительным магнитным полем. Скорее всего, поле имеет дипольный характер, а его ось наклонена к оси вращения нейтронной звезды, как и у рентгеновского пульсара. Магнитно-дипольное излучение давно изучено в электродинамике. Итак, вращающаяся нейтронная звезда с наклонным магнитным полем способна излучать электромагнитные волны. При этом энергия ее вращения преобразуется в энергию излучения.

##### Магнитосфера

Магнитосфера – вращающееся облако заряженных частиц, окружающее нейтронную звезду. Возможность и даже необходимость существования такого облака доказали американские астрофизики-теоретики П. Голдрайх и В. Джулиан. Рождение и ускорение частиц, образующих магнитосферу, требует значительной энергии, которая черпается из кинетической энергии вращения нейтронной звезды. Теоретический анализ, проделанный П. Голдрайхом и В. Джулианом, показывает, что на это тратится приблизительно столько же энергии, сколько и на магнитно-дипольное излучение.

Основная доля энергии вращения, теряемой нейтронной звездой, преобразуется не в наблюдаемое излучение пульсара, а в энергию частиц, ускоряемых в магнитосфере нейтронной звезды. Радиопульсары являются, таким образом, мощным источником частиц высоких энергий. С течением времени пульсар теряет свою энергию вращения и магнитную энергию, так что постепенно и частота вращения, и магнитное поле нейтронной звезды убывают. Радиопульсары - это одиночные нейтронные звезды, а не члены тесных двойных систем. И тем не менее свечение, хотя и довольно слабое, все же может возникать:

*L = 1024 Вт*

##### Пульсары и космические лучи

Еще в 1934г. В. Бааде и Ф. Цвикки указали на возможную связь между вспышками сверхновых, нейтронными звездами и космическими лучами - частицами высоких энергий, приходящими на Землю из космического пространства. Наибольшая энергия частицы, зарегистрированная в космических лучах:

*E = 1020 эВ ≈ 10 Дж*

Средняя концентрация частиц космических лучей в межзвездном пространстве нашей Галактики оценивается величиной:

*n ≈ 10-4 м3*

Средняя энергия частицы:

*E ≈ 10-9 Дж ≈ 1010 эВ*

Плотность энергии космических лучей, т. е. энергия частиц в единице объема:

*ρE ≈ 10-13 Дж / м3*

Основной же вопрос физики космических лучей с самого начала ее развития — природа их высокой энергии. Он до сих пор еще не решен. Открытие пульсаров, анализ их электродинамики, данные о частицах высокой энергии в Крабовидной туманности — все это указывает на пульсары как на эффективный источник космических лучей.

##### Заключение

За открытие пульсаров Энтони Хьюишу в 1974 году была присуждена Нобелевская премия по физике. Открытие действительно было выдающемся, и лишь название оказалось не точным. Пульсары вовсе не пульсируют. Это название дали им тогда, когда еще полагали, что это звезды, которые, подобно цефеидам, периодически расширяются и сжимаются. Теперь мы знаем, что пульсары - это вращающиеся нейтронные звезды. Однако название прижилось.