

крытий, и можно было бы предсказывать явления, а затем их находить. Происходит же обратное: новые наблюдаемые явления ставят перед теоретиками сложные и непредвиденные задачи. По-видимому, кардинальные проблемы космогонии — проблемы происхождения звезд и галактик — не могут сегодня получить уверенного решения. Они получают решение лишь после того, как будут подробно исследованы новые недавно открытые классы объектов и другие значительные явления космоса, к открытию которых астрономия, быть может, уже приблизилась.

Новые удивительные объекты — пульсары

В октябре 1967 г. группа астрономов Кембриджского университета, возглавляемая Хьюишем, проводила при помощи нового радиотелескопа исследование явления мерцания радиоволн. Подобно тому как мерцает свет звезд из-за того, что мы рассматриваем их сквозь атмосферу Земли, должны мерцать и радиоволны, испускаемые далекими дискретными точечными источниками излучения: ведь они приходят к нам, пересекая объем Солнечной системы, заполненный электрически заряженными частицами. Эти электрически заряженные частицы непрерывно выбрасываются Солнцем и заполняют все межпланетное пространство.

Теория предсказывает, что мерцание должно быть тем сильнее, чем больше длина волны. Поэтому наблюдения велись на длине волны 3,7 м, тогда как обычно радиоастрономы работают на сантиметровых радиоволнах.

После того как радиотелескоп обозрел значительную часть неба и автоматическое записывающее устройство нанесло на ленту стометровой длины наблюденные радиосигналы, просматривать эту ленту привелось студентке-практикантке Хоселин Белл; она первая обратила внимание на то, что наряду с радиосигналами, которые неправильно, случайным образом, как это должно быть при мерцании, меняют свою интенсивность, обнаруживаются радиосигналы в виде частых периодически повторяющихся всплесков.

Нужно сказать, что подобного рода периодические радиовсплески обычно бывают результатом разного рода причин чисто земного происхождения. Их могут, например, вызывать электрические замыкания в неисправных,

находящихся поблизости стиральных машинах, холодильниках и других бытовых приборах. Они могут быть следствием неисправности коробки зажигания автомобиля где-нибудь по соседству.

Но проверка показала, что эти всплески приходят из одной и той же точки неба каждый раз, как радиотелескоп наводится на нее. Значит, всплески имеют неземное происхождение. Это — новое астрономическое явление, какой-то новый объект неистощимой на выдумки природы.

Так как наиболее характерная особенность нового объекта — радиоизлучение в виде правильно чередующихся отдельных импульсов, решено было (и удачно) назвать его пульсаром. Первый пульсар получил обозначение CP 1919 (Cambridge Pulsar; прямое восхождение = $19^h 19^m$).

Вскоре при помощи того же радиотелескопа были открыты еще три пульсара. А после этого, когда поисками занялись другие радиообсерватории, в том числе и находящиеся в южном полушарии Земли, число открываемых пульсаров стало быстро расти и в настоящее время количество известных пульсаров стало больше трехсот.

Кажется удивительным, что объекты, дающие о себе знать столь определенным, отличным от других объектов образом, были обнаружены только в 1967 г., когда радиоастрономия уже имела 20-летний опыт интенсивных наблюдений.

Объяснение состоит в том, что, как мы уже указывали, радиоастрономические наблюдения ведутся обычно в сантиметровых волнах, а излучение пульсаров в этих длинах волн намного слабее, чем в метровых. Кроме того, промежутки времени между сигналами пульсаров малы и для их обнаружения необходимо, чтобы большой радиотелескоп обладал записывающим устройством, способным разделять сигналы, следующие друг за другом через короткие промежутки времени.

Именно при исследовании мерцания радиоволн потребовалось создать условия наблюдения, которые оказались благоприятными для открытия пульсаров.

Наиболее поразительная черта пульсаров — строгое постоянство промежутков времени между радиовсплесками. Для первого пульсара CP 1919 этот промежуток времени равен 1,33730113 секунды. На рис. 110 показан вид записи на ленте радиосигналов этого пульсара. Мы ви-

дим, что амплитуды всплесков различны, но промежутки времени между ними одни и те же.

Если промежуток времени между двумя последовательными тиканьями ваших часов, читатель, выдерживается с точностью до одной тысячной доли самого промежутка, то часы можно считать хорошими. При правильной регулировке они не будут отклоняться за сутки больше, чем на четверть минуты.

Промежуток времени между двумя последовательными радиовсплесками у пульсара CP 1919, равный

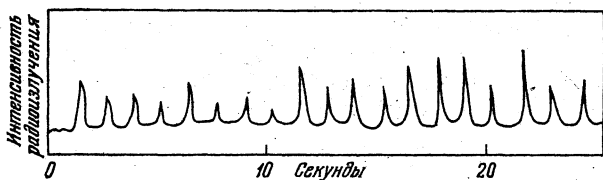


Рис. 110. Радиосигналы пульсара CP 1919.

приблизительно одной с третьей секунды, выдерживается с точностью до стомиллионной доли секунды! Именно поэтому продолжительность периода записана с восемью цифрами после запятой. Но при этом необходимо сделать оговорку. Современные технические средства не позволяют измерить один промежуток времени с точностью до стомиллионной доли секунды. Нельзя поэтому категорически утверждать, что точность — стомиллионная доля секунды — соблюдается для каждого периода между двумя радиовсплесками. Для измерения периода пульсар непрерывно наблюдают в течение длительного промежутка времени и считают на ленте число состоявшихся всплесков. Если теперь разделить этот длительный промежуток времени на число сосчитанных всплесков, то получится период между всплесками с большой точностью. Легко подсчитать, что пульсар CP 1919 за полгода посылает более ста миллионов радиовсплесков. Важно то, что число всплесков, подсчитанных в два отдельных полугодия, оказывается в точности одинаковым. Можно предполагать, что периодичность пульсаров еще более строгая; что через десять лет в числе, обозначающем период пульсара CP 1919, можно будет приписать еще одну цифру после запятой. Но строго говоря, написанный период — это средний период. Если бы, например, у пуль-

сара промежутки времени между всплесками были попеременно на тысячную долю секунды длиннее и короче, то обнаружить это явление было бы пока невозможно.

Сделаем еще одну оговорку. На самом деле при наблюдении пульсара периоды между его всплесками в течение года систематически изменяются. Это изменение происходит от того, что вследствие орбитального движения Земли скорость наблюдателя относительно пульсара закономерно то возрастает, то уменьшается. А поэтому согласно эффекту Доплера должен меняться и промежуток времени между всплесками, совершенно по тому же закону, по которому меняется промежуток времени между максимумами напряжения в электромагнитной волне. Когда Земля в своем орбитальном движении приближается к пульсару, наблюдаемый период между радиовсплесками пульсара должен уменьшаться, а при удалении увеличиваться. Этот эффект можно точно рассчитать и учесть. Строгое постоянство периодов у пульсара получается именно тогда, когда учтено влияние орбитального движения Земли.

Если изучать радиовсплески пульсара в различных длинах волн, то обнаруживается интересное явление. Моменты максимума всплеска в разных длинах волн не совпадают. По мере постепенного перехода ко все более коротким волнам момент максимума всплеска наступает все раньше и раньше. При этом ослабевает интенсивность всплеска. Можно сказать, что длинноволновое радиоизлучение запаздывает по сравнению с коротковолновым.

Это явление находит простое объяснение. Неправильно было бы считать, что какой-то физический процесс, происходящий с пульсаром, дает сначала всплеск в коротких радиоволнах, а потом последовательно во все более длинных. Такое предположение было бы очень искусственным, физически маловероятным. Всплеск пульсара во всех длинах волн происходит одновременно. Но на пути к нам радиоволны движутся не в абсолютной пустоте, а в межзвездном пространстве, заполненном заряженными частицами — свободными электронами. Известен физический закон, согласно которому скорость радиоволн должна при этом уменьшаться, причем замедление пропорционально плотности электронов и пропорционально длине волны радиоизлучения. Поэтому длин-

ные радиоволны, сильнее замедляясь, достигают Земли позднее, чем короткие радиоволны. Отставание максимума в длинных радиоволнах от максимума в коротких радиоволнах различно для различных пульсаров. Например, для CP 1919 (теперь этот пульсар называется PSR 1919 + 21; числа означают, что его прямое восхождение равно $19^h 19^m$, а склонение $+21^\circ$) всплеск самых длинных регистрируемых радиоволн (7,5 м) приходит через 8 секунд после всплеска самых коротких (10 см), а у PSR 329 + 54 промежуток времени между этими событиями достигает почти 17 секунд. Чем может вызываться это различие? Ответ прост. Расстояние до PSR 0329 + 54 более чем в два раза превышает расстояние до PSR 1919 + 21, поэтому для него отставание длинноволнового радиоизлучения во времени возрастает более чем вдвое.

Какова же физическая природа новых удивительных небесных тел, приковавших к себе внимание и наблюдателей и теоретиков, заслонивших на некоторое время другие важные астрономические открытия и сделавших 1968 год в астрономии годом пульсаров?

Строго периодические или почти строго периодические явления достаточно широко распространены во Вселенной. Таковы пульсации цефеид, переменность блеска у затменных звезд, обращения планет вокруг Солнца и спутников планет вокруг планет, вращения звезд. Однако периодическое явление со столь малым периодом встретилось впервые. Были даже высказаны интригующие предположения, что всплески излучения пульсаров — это сигналы, посылаемые внеземными цивилизациями. Но почему эти сигналы так однообразны? Насколько естественнее было бы ожидать от разумных существ, освоивших метод посылки мощных сигналов, не простой периодичности, а более сложного содержащего информацию ритма. Кроме того, пока развитие цивилизации можно представить только на планете, которая обращается около звезды. Если сигналы посылаются с движущейся по орбите планеты, то вследствие эффекта Доплера периоды между всплесками должны соответственно систематически изменяться, что не наблюдается. Эффект Доплера не сказывался бы в том случае, если бы плоскость орбиты была перпендикулярна лучу зрения. Но невероятно, чтобы это редкое условие выполнялось для всех пульсаров.

Таким образом волнуящее предположение, что обнаружены вземные цивилизации, должно быть отклонено.

Больше всего явление пульсаров напоминает явление пульсации цефеид. Но у цефеид периоды исчисляются часами и сутками. А у открываемых один за другим пульсаров они редко превосходили две секунды.

Теория, разработанная для цефеид, показывает, что период пульсации сжимающегося и раздувающегося свободного газообразного шара независимо от его размеров обратно пропорционален корню квадратному из его плотности. Следовательно, если пульсар действительно сжимается и раздувается как цефеида, то для того, чтобы период пульсации равнялся одной секунде, необходима чрезвычайно высокая плотность. Какие тела имеют такую плотность? Прежде всего на ум приходят звезды — белые карлики. Но даже огромная плотность белых карликов — десять тонн вещества в кубическом сантиметре — оказалась недостаточной. Она может обеспечить период пульсации только в 8 секунд, не меньше. Для обеспечения периода колебаний, например, в 0,8 с (такие пульсары уже были известны) нужна плотность в 100 раз бóльшая, чем у белых карликов.

Осталась единственная возможность — нейтронные звезды. Но это гипотетические, никогда еще не наблюдавшиеся звезды, реализующиеся, как думали, лишь в воображении теоретиков, которые, как это впервые в 1936 г. сделал Гамов, показали, что может существовать устойчивое состояние вещества при очень высоких плотностях, основным компонентом которых является вырожденная нейтронная жидкость. Теоретики подробно рассчитали модель нейтронной звезды. Она должна иметь радиус всего около 10 км при массе, близкой к массе Солнца. Температура ее поверхности — несколько тысяч градусов. При такой температуре внешний слой нейтронной звезды является твердой кристаллической корой толщиной около километра. К центру же звезды температура резко возрастает, достигая фантастического значения, превышающего 10 миллиардов градусов! Плотность материи в центральных областях нейтронной звезды также необычайно высока: в кубическом сантиметре содержатся сотни тонн вещества.

Нейтронная звезда, если она существует, может пульсировать с периодом в 2 секунды. Но к моменту,

когда за объяснением феномена пульсаров обратились к гипотезе нейтронных звезд, уже были открыты самые короткопериодические из известных ныне пульсаров PSR 0835 — 45 с периодом 0,089 секунды, а также пульсар, находящийся в Крабовидной туманности, — PSR 0531 + 21, имеющий наименьший из известных ныне периодов — 0,033 секунды. Столь малые периоды изменения блеска невозможно объяснить пульсацией даже нейтронной звезды.

Но появилась другая возможность объяснения. Теория показывает, что вращающаяся нейтронная звезда должна быть окружена пронизывающей ее магнитосферой — чрезвычайно мощным магнитным полем, синхронно вращающимся вместе с ней. Магнитное поле направляет поток заряженных частиц и ограничивает его областью одного или двух своих полюсов. Энергия, освобождаемая в соответствующем месте нейтронной звезды, над ее поверхностью, стимулирует излучение. Близ поверхности звезды образуется яркое пятно, посылающее излучение в направлении сравнительно узкого телесного угла. Нейтронная звезда действует как вращающийся радиомаяк. Расчет показывает, что вследствие чрезвычайно высокой плотности она может вращаться с огромной скоростью, не разрываясь и почти не деформируясь под влиянием центробежной силы даже при периоде вращения в 0,001 секунды. Белый карлик при таких периодах вращения, какие имеют пульсары PSR 0835 — 45 и PSR 0531 + 21, разлетелся бы на части.

Нет иной возможности физического объяснения явления пульсаров, кроме вращающихся нейтронных звезд. И все-таки такого рода удивительное объяснение, сопровождающееся материализацией, открытием ранее представлявшихся только теоретически допустимыми образований, требует подтверждений. В противном случае сомнение останется.

Прежде всего, поскольку принята гипотеза вращения, необходимо исследовать его подробнее. Период быстрого вращающегося тела не может в течение долгого времени сохраняться совершенно строго. Вследствие любого взаимодействия с окружающей звезду средой, вращение должно замедляться. При выбрасывании из звезды каких-либо частиц или в результате излучения, угловая скорость вращения также должна изменяться. Изменится она также в том случае, если хоть немного

увеличится или уменьшится в ходе эволюции радиус звезды.

Выше мы писали, что у открываемых пульсаров обнаруживалась строгая периодичность пульсаций. Это утверждение, как вскоре выяснилось, не является совершенно верным. Благодаря тому, что период пульсаров можно определять с очень высокой степенью точности, достаточно точно можно определять и ничтожно малые вековые, т. е. постепенно накапливающиеся, изменения периода.

Впервые это удалось сделать для самого быстро вращающегося пульсара PSR 0531 + 21. Измерения, проведенные в октябре 1968 г. и в феврале 1969 г., показали, что в течение этого времени период пульсара увеличивался каждые сутки на 365 наносекунд (наносекунда — одна миллиардная доля секунды). В настоящее время уже более чем у 90 пульсаров измерены вековые изменения периодов вращения. Все они показывают постепенное увеличение периодов. По-видимому, это результат взаимодействия с окружающей средой.

Правда, в нескольких случаях зарегистрированы и небольшие скачкообразные уменьшения периодов, которые тоже находят любопытное и в то же время естественное объяснение. Когда период вращения нейтронной звезды постепенно увеличивается, ее форма должна соответственно немного изменяться. Этому препятствует твердая кора звезды. Нарастает напряжение, которое завершается взламыванием коры и скачкообразным изменением формы, — происходит «звездотрясение». Согласно механическим свойствам вращающихся тел новая форма всегда в таких случаях сообщает телу меньший момент инерции относительно оси вращения, что должно привести к увеличению (небольшому, конечно) угловой скорости вращения.

В таблице 25 для примера приведены данные о двенадцати пульсарах. Мы видим, что пульсары — это сравнительно близкие объекты (далекие обнаружить трудно). Большая часть периодов не превосходит одной секунды. Изменения периодов за сутки очень сильно различаются между собой.

Надо полагать, что в прошлом у каждого пульсара увеличение периода за сутки происходило не медленнее, чем в настоящее время, а быстрее. Поэтому если поделить период пульсара в секундах на увеличение периода

за сутки в секундах, то будет получен верхний, со значительным запасом, предел возраста пульсара, выраженный в сутках. Для пульсара PSR 0531 + 21 это дает $\frac{0,033}{36,5 \cdot 10^{-9}} \approx 9,0 \cdot 10^5$ суток ≈ 2470 лет. Он самый молодой из наблюдаемых пульсаров. В космогонии это чрезвычайно малый возраст. На самом деле пульсар еще существенно моложе, ведь в момент «рождения» его период

Т а б л и ц а 25. Периоды и расстояния двенадцати пульсаров

Название по каталогу	Период, с	Увеличение периода в наносекундах за сутки	Расстояние, пс
0153+61	2,352	16,358*	60
0329+54	0,715	0,177	26,8
0355+54	0,156	0,379	57,0
0531+21	0,033	36,526	56,8
0628-28	1,224	0,217	34,4
0823+26	0,531	0,145	19,4
0835-45	0,089	10,823	69,2
1133+16	1,188	0,323	4,8
1749-28	0,563	0,711	50,9
1919+21	1,337	0,116	12,4
1946+35	0,717	0,607	129,1
2106+44	0,414	0,005	129

уже должен был быть равен какой-то положительной величине. Если сопоставить все эти данные с тем, что пульсар PSR 0531 + 21 наблюдается в Крабовидной туманности, находится на том же расстоянии, что и она, и следовательно, погружен в эту туманность, а Крабовидная туманность образовалась в результате вспышки Сверхновой 1054 г., то нужно заключить, что и пульсар образовался в результате вспышки этой Сверхновой.

Дополнительные теоретические исследования показали, что материя нейтронных звезд может сформироваться только в условиях чрезвычайно высокого давления, когда под его нажимом электроны как бы вдавливаются в протоны, нейтрализуя их заряд. При нормальном спокойном течении эволюции звезды такой процесс произойти не может. Но условия, которые создаются во внутренних областях взрывающейся сверхновой звезды, как раз благоприятны для такого процесса. Нейтронные звезды должны образовываться после взрыва сверхновой, когда отделившаяся от звезды оболочка начинает рассеиваться

в окружающем пространстве. Это и есть рождение пульсара.

Обнажившаяся при рассеивании оболочки нейтронная звезда сначала имеет горячую поверхность: температура ее исчисляется миллионами градусов. Но затем происходит довольно быстрое охлаждение поверхности и поток направляющих электронов тоже теряет скорость, излучение индуцируется в основном длинноволновое, пульсар наблюдается только в радиочастотах. Однако у очень молодого пульсара охлаждение поверхности может быть еще не полным, соответственно излучение его может содержать коротковолновую часть — оптические и даже рентгеновские лучи. Это рассуждение замечательным образом находит подтверждение в том, что пульсар Крабовидной туманности является пока единственным наблюдаемым и оптически и в рентгеновских лучах. Период его пульсации в этих диапазонах длин волн тот же — 0,033 секунды.

И последнее подтверждение всей построенной картины. Именно пульсар PSR 0531+21 окружен яркой Крабовидной туманностью. Около еще двух сравнительно молодых пульсаров обнаруживаются туманности — остатки сверхновых звезд. У остальных пульсаров, значительно более старых, выброшенные оболочки сверхновых звезд успели уже рассеяться, раствориться в межзвездном пространстве.

Для того чтобы оценить общее число пульсаров в Галактике, нужно учесть, что те из них, которые удалены больше чем на 100—150 пс, пока не могут быть обнаружены вследствие слабости их излучения. Но и среди близких пульсаров более 80% остаются незамеченными, так как вследствие «неудачной» ориентации их оси вращения посылаемое ими направленное излучение минует Землю. Если все это учесть, то можно прийти к выводу, что в Галактике имеется около 300 тысяч пульсаров.

Загадочные «черные дыры»

Обнаружение нейтронных звезд спустя 30 лет после того, как теоретически была предсказана возможность их существования, является триумфом теории и аргументом, подтверждающим тезис Гегеля, что все разумное существует.