1968 г. Май *Том 95, вып. 1*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

523.164

ОТКРЫТИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ КОСМИЧЕСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СО СТРОГО ПЕРИОДИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПОТОКА

В настоящее время внимание астрономов приковано к выдающемуся открытию, сделанному недавно английскими радиоастрономами. Речь идет об открытии так называемых «пульсаров»— импульсных источников космического радиоизлучения со *строго периодическим* изменением потока. Это открытие было сделано после того, как на Маллардской радиоастрономической обсерватории был введен новый радиотелескоп, работающий на частоте 81,5 *Мгц*, предназначенный для исследования сцинтилляций потока радиоизлучения от источников малых угловых размеров, обусловленных межпланетной плазмой. При помощи этого большого радиотелескопа еженедельно проводились систематические обзоры неба в зоне склонений $-08^\circ < \delta < 44^\circ$. В процессе таких наблюдений и были обнаружены 4 источника, свойства которых оказались беспрецедентными. Более или менее подробные данные пока опубликованы только по одному такому источнику [1].

Систематические наблюдения этого источника, начавшиеся в ноябре прошлого года, дали следующие результаты. Сигнал представляет собой серию регулярно повторяющихся импульсов, длительностью $\sim 0{,}3$ *сек*, причем интервал времени между двумя импульсами строго постоянен и равен 1,337 *сек*. Наблюдения в течение ряда месяцев позволили уточнить этот период, который равен $t_0 = 1{,}3372795 \pm 0{,}0000020$ *сек*. Столь высокая точность достигается тем, что момент импульса оказалось возможным предвычислить с точностью до 0,1 *сек* на несколько месяцев вперед. Хотя переменность потока от некоторых источников космического радиоизлучения в последние годы наблюдалась часто, с фактом *строго периодических* изменений потока радиоастрономия столкнулась впервые.

Дальнейшие наблюдения показали, что амплитуды импульсов меняются в довольно значительных пределах. Максимальное значение спектральной плотности потока радиоизлучения (усредненной по полосе приемника шириною в 1 *Мгц*) достигает $\sim 20 \cdot 10^{-26}$ *вт/м²·гц*, между тем как усредненное за время ~ 1 минуты, $\sim 1{,}0 \times 10^{-26}$ *вт/м²·гц*. Наблюдается квазипериодичность в амплитуде импульсов: в течение $\sim 1^m$ импульсы идут «один за другим», хотя амплитуды их несколько меняются (что скорее всего объясняется сцинтилляциями из-за прохождения сигнала через межпланетную плазму). Затем в течение 3—4 минут амплитуды резко уменьшаются, и сигнал зачастую ненаблюдаем. После этого опять следует серия из 40—50 импульсов, без всякого «сбоя» фазы.

Для исследования спектрального состава сигналов были применены два приемника с одинаковыми ширинами полос пропускания, но центрированные на слегка различающиеся частоты: 81,5 и 80,5 *Мгц*. Было обнаружено, что в более «низкочастотный» приемник сигнал поступает с опозданием в 0,2 *сек*. Отсюда следует, что сигнал должен быть сравнительно монохроматичен, причем частоты в полосе сигнала дрейфуют со скоростью около 5 *Мгц*. Дополнительные исследования показали, что ширина «дрейфующей» с указанной выше скоростью полосы сигнала равна 80 ± 20 *кгц*.

Выполненные на радиоастрономической обсерватории Аресибо (о. Пуэрто-Рико) наблюдения показывают, что излучение «пульсара» охватывает широкую спектральную область от 40 до 240 *Мгц**), причем максимум спектрального распределения находится около 110 *Мгц* [2]. Наблюдаемое запаздывание излучения от одного импульса на частоте 40 *Мгц* по отношению к частоте 240 *Мгц* составляет около 10 *сек*. Имеются

*) По другим американским данным, излучение «пульсара» прослеживается по крайней мере до частоты 1600 *Мгц*.

сведения, что радиоизлучение «пульсара» исследовалось также в Канаде и в Австралии.

В настоящее время координаты источника этого загадочного излучения определены с высокой точностью: $\alpha = 19^h19^m37^s$, $\delta = 21°47'02''$ (эпоха 1950,0). Источник находится в созвездии Лисички, в Млечном Пути. Вблизи него наблюдается слабая голубая звездочка 18-й величины.

Таковы в основном те немногие сведения, которыми мы располагаем в настоящее время (30.III 1968 г.) об этом удивительном источнике. Что можно сказать о его природе? Отсутствие информации о трех других аналогичных источниках, открытых англичанами, еще более затрудняет, хотя бы предварительным образом, проанализировать этот вопрос. Все же кое-что сказать можно. Прежде всего, источник расположен далеко за пределами Солнечной системы. Из наблюдений следует, что параллакс его меньше 2'; следовательно, расстояние до этого источника по крайней мере в 1000 раз больше, чем расстояние от Земли до Солнца [1]. Из наблюдаемой ширины полосы сигнала ($\sim$80 *кгц*) и скорости дрейфа ($-$5 *Мгц/сек*) следует, что длительность процесса излучения на фиксированной частоте не превышает 0,016 *сек*. Линейные размеры источника излучения поэтому не могут превышать $\sim 5\cdot 10^8$ *см* (т. е. 5000 *км*, $\sim$ радиус земного шара!).

Наблюдаемый дрейф полосы сигнала и сравнительная узость последней естественнее всего можно объяснить явлением группового запаздывания в межзвездной плазме [1]. Как известно, групповая скорость радиоволн в плазме $v_{гр} = nc$, где $n(\nu) < 1$ — показатель преломления (см. [3]). Если расстояние до источника, в котором излучается широкополосный импульс, равно r, то после подстановки $n(\nu)$ легко получить выражение для запаздывания сигнала на двух близких частотах, отличающихся на величину $\Delta\nu$:

$$\Delta t \approx \frac{2\cdot 10^8 r N_e}{c}\,\frac{\Delta\nu}{\nu^3},$$

где N_e — средняя концентрация свободных электронов в межзвездном пространстве (при этом считается, что запаздывание в самом источнике сравнительно невелико, что, по-видимому, соответствует действительности). В [1] принималось, что $N_e = 0{,}2$ *см*$^{-3}$, откуда $r \approx 65$ парсек. Мы считаем, что в действительности в этом направлении Галактики $N_e \approx 10^{-2}$ *см*$^{-3}$, откуда $r \sim 1000$ парсек. Некоторым подтверждением столь большого расстояния до источника является расположение его в Млечном Пути, хотя с вероятностью $\sim$10% оно может быть случайным. Вопрос сразу же станет ясным, когда будут опубликованы координаты других «пульсаров».

Принимая расстояние до источника $\sim 10^3$ парсек, можно найти, что энергия, излученная за время одного импульса (в предположении, что источник изотропен) $\sim 3\cdot 10^{29}$ *эрг*, в то время как мощность в импульсе $\sim 3\cdot 10^{31}$ *эрг/сек*, что составляет $\sim$1% мощности солнечного излучения на всех частотах.

Зная верхнюю границу размеров и расстояние до источника, можно оценить его так называемую «яркостную температуру». Угловые размеры источника $< 10^{-7}$ секунды дуги (пожалуй, рекордные), а яркостная температура на частоте 81,5 *Мгц* ($\lambda \approx 3{,}5$ *м*) $T_b > 3\cdot 10^{25}$ градусов!

Кроме тривиального вывода, что радиоизлучение «пульсара» не может быть тепловым, можно еще сказать, что оно не может быть синхротронным (так как энергия каждой из релятивистских частиц должна быть $> 3\cdot 10^{21}$ *эв*, а магнитное поле неправдоподобно мало́).

Если не рассматривать заманчивой возможности искусственного происхождения сигнала, только когерентные механизмы излучения (типа плазменных колебаний) могут объяснить радиоизлучение «пульсаров». Известно, что такие механизмы являются определяющими в случае радиоизлучения активного Солнца. В этом случае, однако, максимальная зарегистрированная яркостная температура была $\sim 10^{16}$ °К.

Пожалуй, основным вопросом является выяснение причины удивительно правильной периодичности импульсов. Могут быть три естественные причины такой строгой периодичности:

а) орбитальное движение источника в двойной системе с периодом обращения, равным t_0;

б) вращение источника вокруг своей оси с периодом t_0 при наличии сравнительно малой радиоизлучающей области на его поверхности;

в) пульсации источника (типа пульсаций цефеид) с периодом t_0.

Первая возможность представляется нам крайне маловероятной, хотя бы по причине весьма малого значения t_0. Возможность б) (предложенная в виде гипотезы Я. Б. Зельдовичем [4]) требует довольно высокой направленности излучения: конус, в котором сосредоточена основная часть излучения, должен иметь угол $< 1°$. Такую возможность, конечно, исключить нельзя, хотя трудности при разработке соответствующей теории будут весьма велики. Значение $t_0 \approx 1^s$ означает, что размеры вращающегося тела должны быть очень малы (нейтронная звезда?).

Гипотеза в) была в самом общем виде предложена в [1]. Согласно недавно выполненным теоретическим исследованиям у белых карликов минимальный период пульсаций ~ 8 *сек*. Это будет при средней плотности звезды $\sim 10^7$ *г/см*^{3}. При увеличении плотности период начинает расти. С другой стороны, период пульсаций $\sim 1^s$ можно ожидать у нейтронных звезд со средней плотностью $\sim 10^{13}$ *г/см*^{3}. Следует, однако, иметь в виду, что эти расчеты носят весьма предварительный характер. Одно ясно: если считать, что первопричиной излучения являются пульсации звезд, эти звезды должны быть маленькими и очень плотными, т. е. должны иметь свойства, промежуточные между «обычными» белыми карликами и гипотетическими нейтронными звездами.

Можно предложить механизм генераций радиоволн при таких пульсациях. Допустим, что пульсирующая звезда является компонентом тесной двойной системы. При таких условиях на пульсирующую звезду может падать струя газа.

Такие струи наблюдаются у многих двойных звезд, близко расположенных друг к другу. При падении такой струи на пульсирующую звезду в газе будут непрерывно возникать сильные ударные волны, энергия которых берется за счет энергии пульсации.

При формировании «свежей» ударной волны (ближайшей к поверхности пульсирующей звезды) могут возникнуть мощные плазменные колебания, которые с достаточно высокой эффективностью трансформируются в электромагнитные волны. Из факта, что излучаются преимущественно метровые волны, следует, что в струе $N_e \gtrsim 10^8$ *см*$^{-3}$. Оценка показывает, что энергетически такой механизм оказывается достаточно эффективным. С другой стороны, ударные волны могут возникать в пульсирующей атмосфере звезды и без всякой «внешней» газовой струи.

Не подлежит сомнению, что в самом скором времени объем информации о «пульсарах» существенно увеличится и вопрос об их природе прояснится.

И. С. Шкловский

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Hewish, S. Bell, J. Pilkington, P. Scott, R. Collins, Nature **217**, 709 (1968).
2. W. Sullivan, «New York Times», 10.III 1968.
3. В. Л. Гинзбург, Теория распространения радиоволн в ионосфере, М., Гостехиздат, 1949.
4. Я. Б. Зельдович, «Известия», 22.III 1968.

Успехи физических наук, т. 95. вып. 1

Редакторы *В. В. Власов, И. М. Дремин*

Техн. редактор *И. Ш Аксельрод* Корректоры *Е. Я. Гороховская, Т. С. Плетнева*

Сдано в набор 28/II 1968 г. Подписано к печати 19/IV 1968 г. Бумага 70 × 108 1/16. Физ. печ. л. 15,75 + 1 вкл. Условн. печ. л. 22,22. Уч.-изд. л. 20.49. Тираж 5170 экз. Т-00170. Цена 1 р. 20 к. Заказ № 123

Издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Московская типография № 16 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Москва, Трехпрудный пер., 9.