

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

МАЙ, 1978

ВЫПУСК 2

УДК 523.877

ФУНКЦИЯ СВЕТИМОСТИ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЛОТНОСТЬ ПУЛЬСАРОВ

О. Х. ГУСЕЙНОВ, Ф. К. КАСУМОВ, И. М. ЮСИФОВ

Поступила 24 июня 1977

Пересмотрена 24 марта 1978

Исследована функция светимости пульсаров (ФС) во всей области наблюдаемых светимостей. Показано, что ФС подчиняется степенному закону $dN/dL \sim L^{-\gamma}$, где $\gamma = 1.76 \pm 0.06$ в интервале светимостей $3 \cdot 10^{26} < L < 2 \cdot 10^{30}$ эрг/сек. При значениях $L < 3 \cdot 10^{26}$ эрг/сек ФС изменяет наклон и имеет вид $dN/dL \sim L^{-\gamma_1}$, где $\gamma_1 = 0.7 \pm 0.2$. На основе полученной функции светимости оценены полное число и частота рождения пульсаров в Галактике, равные соответственно $N_p = (5 \div 10) \cdot 10^4$ и $\gamma_p = 0.025 \pm 0.008$ год $^{-1}$ или один пульсар в 40^{+19}_{-10} лет.

Длительное время, после обнаружения и накопления информации о параметрах пульсаров, корректные статистические исследования пространственного распределения этих объектов, несмотря на ряд попыток [1—3], были невозможны. Главным образом это было связано с неопределенностями в оценках расстояний до них и малой чувствительностью радиопоисков. К настоящему времени ситуация изменилась, благодаря, в основном, систематическим поискам пульсаров с высокочувствительной аппаратурой, предпринятым в 1975 г. в обсерватории Джодрелл Бэнк [2, 4].

До 1975 г. было обнаружено 105 пульсаров. Опираясь на известные параметры этих пульсаров, Гроссу [5] удалось получить для них вид функции светимости (ФС). Поскольку наблюдательным параметром, характеризующим расстояние до пульсаров, является мера дисперсии DM , он построил зависимость $\lg N \div \lg DM$, приведенную в верхней части рис. 1 (точки). Анализ этой кривой на всем участке изменения DM позволил автору получить для ФС выражение $dN/dL \sim L^{-\gamma}$, L — светимость пульсара, $\gamma = 1.75$. Поскольку для данной статистической выборки корреляция потока от меры дисперсии не прослеживается и границы области

определения ФС с данным γ по DM отличаются на порядок, то светимость большинства пульсаров будет различаться не более чем на два порядка.

Появление работы [4], в которой были приведены результаты тщательного поиска пульсаров с высокой чувствительностью в области $42^\circ < l < 60^\circ$ и $|b| \leq 4^\circ$, позволило Робертсу [6] получить ФС пульсаров другим способом по данным этой работы (~ 40 пульсаров). Полученный им вид ФС почти тот же, что и в работе [5]. Область определения вида ФС в данной работе не более 3 порядков величины. Поскольку наблюдаемый разброс в значениях светимости отдельных пульсаров превышает пять порядков величины, ниже мы подробнее исследуем вид ФС во всей области наблюдаемых светимостей.

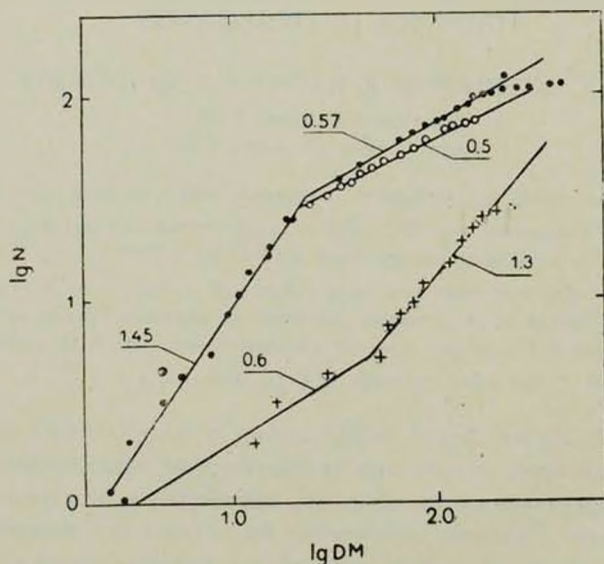


Рис. 1. Распределение пульсаров в функции от меры дисперсии (DM). Кривая, изображенная в верхней части рисунка, построена по данным работы [5]. Кривая, изображенная в нижней части рисунка, построена по данным [4].

Если для пульсаров справедлив вид ФС, найденный в [5, 6], то интегрируя его от некоторого значения L_1 до бесконечности, можно получить число пульсаров со светимостями $> L_1$, $\sim L_1^{-0.75}$. Поскольку в [7] для всех пульсаров получены значения L , то можно построить зависимость $\lg N \div \lg L$. Эта зависимость приведена на рис. 2. Как видно из рис. 2, при значении $L_0 = 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек имеется излом. Участок кривой с $L > 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек соответствует виду ФС, приведенному выше, в то время как для пульсаров с $L < 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек функция светимости как будто меняет свой вид. Однако это не так по следующей причине.

Так как предельный поток от пульсаров с $L > 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек равен $S_0 = 0.01$ ед. потока (1 ед. потока = 10^{-26} Вт/м²Гц), то они должны быть обнаружены на расстояниях до 16 кпс, т. е. вплоть до границы Галактики. Для пульсаров же с $L \leq 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек становятся существенны эффекты селекции: при заданной чувствительности поиска могут быть обнаружены пульсары только из ограниченного объема. Действительно, построим ФС для пульсаров с $L < 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек по методу, использованному в [5]. В этом случае зависимость $\lg N + \lg DM$ будет иметь вид, приведенный в верхней части рис. 1 (кружочки). Участок кривой в области $DM < 16$ пс·см⁻³ остался без изменения, а в области $16 \leq DM \leq 158$ пс·см⁻³ угол наклона изменился весьма незначительно. Соответствующее этому изменению показателя степени ФС $\Delta \gamma = 0.05$, т. е. относительное изменение вида ФС менее 3%. Поскольку верхняя граница светимости данного участка $\sim 3 \cdot 10^{28}$ эрг/сек, то следует принять, что ФС сохраняет свой вид вплоть до $L = 3 \cdot 10^{26}$ эрг/сек.

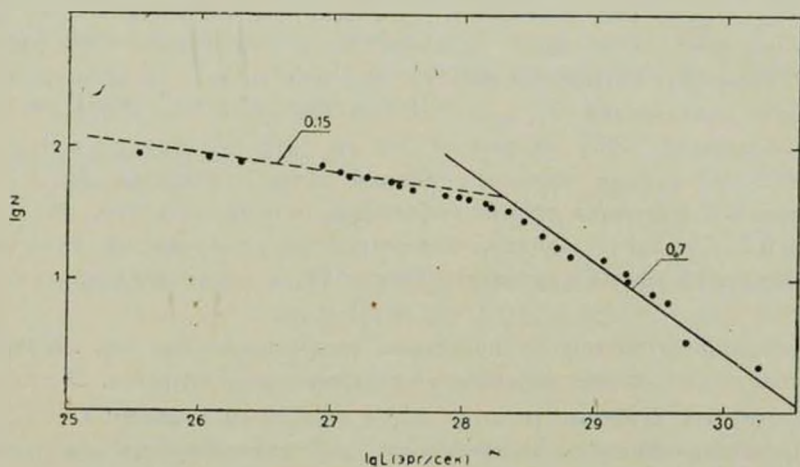


Рис. 2. Функция распределения пульсаров. Кривая построена по статистической выборке, включающей все известные до 1975 г. пульсары.

Аналогичным образом можно получить ФС на основе данных работы [4]. Так как в [4] чувствительность поиска была почти на порядок больше, чем в предыдущих, то излом кривой в этом случае наблюдается при $L_0 \approx 5 \cdot 10^{27}$ эрг/сек. График зависимости $\lg N + \lg DM$ в этом случае представлен на рис. 1 (нижняя кривая). На участке $50 \leq DM \leq 160$ пс·см⁻³ тангенс угла наклона равен 1.3. Поскольку в данной области распределение пульсаров близко к сферическому закону, то получаем $\gamma = 1.82$, т. е. опять относительное изменение вида ФС весьма незначительно.

($\sim 4\%$). В этом случае на участке кривой с $DM \leq 50 \text{ пс} \cdot \text{см}^{-3}$ содержится всего 4 пульсара, так что наклон 0.6 не должен нас смущать (статистика явно очень мала). Следовательно, и по данным этой статистической выборки следует, что вид ФС сохраняется вплоть до $L \sim 5 \cdot 10^{26} \text{ эрг/сек}$, поскольку верхняя граница $L_0 = 5 \cdot 10^{27} \text{ эрг/сек}$, а область определения ФС $\sim DM^2 \sim (160/50)^2$, т. е. один порядок.

Таким образом, следует принять справедливость функции светимости пульсаров, заданной степенным законом с $\gamma = 1.76 \pm 0.06$, почти во всей области изменения наблюдаемых светимостей от $3 \cdot 10^{26}$ до $2 \cdot 10^{30} \text{ эрг/сек}$.

Чтобы выявить поведение ФС при $L \leq 3 \cdot 10^{26} \text{ эрг/сек}$, поступим следующим образом.

Если ФС имеет вид $dN/dL \sim L^{-1.76 \pm 0.06}$ и если интервалы светимости $L_1 \div L_2$ и $L_2 \div L_3$ выбрать так, чтобы $L_3/L_2 = L_2/L_1 = 3.16$, то отношение чисел пульсаров, лежащих в данных интервалах, в единице объема будет равно $N_{12}/N_{23} = 3.16^{1.76 \pm 0.06} = 2.41 \pm 0.17$. Если пульсары с L' (нижняя граница интервала) могут быть обнаружены на расстоянии r' , то все остальные пульсары со светимостями из данного интервала обязательно должны быть обнаружены (при прочих равных условиях) на расстояниях $r < r'$. Отношение числа пульсаров, по данным наблюдений [7], с $L < 10^{26} \text{ эрг/сек}$ равно 0.5, а при $L > 10^{26} \text{ эрг/сек}$ больше 1. Это указывает на то, что ФС внутри интервала $5 \cdot 10^{26} \div 3 \cdot 10^{26} \text{ эрг/сек}$ изменяет наклон. Зная отношение N_{12}/N_{23} из наблюдений и учитывая эффект селекции, можно принять, что $\gamma_1 = 0.7 \pm 0.2$. Следует, однако, отметить, что полученный результат основан на небольшой статистике (всего 14) и носит предварительный характер.

В общепринятой модели пульсаров, рассматриваемых как наклонные магнитные ротаторы, светимость должна зависеть от возраста. В ряде работ [8—10] эта зависимость выражается степенным законом $L \sim C_1 t^{-\beta}$. Для определения значений параметров C_1 и β воспользуемся полученным выше видом ФС. Поскольку

$$N = C_2 \int_L^\infty L^{-\gamma} dL = (\gamma - 1)^{-1} C_2 L^{(1-\gamma)}, \quad (1)$$

то, выражая L через t , получим

$$N = (\gamma - 1)^{-1} C_2 C_1^{(1-\gamma)} t^{-\beta(1-\gamma)}, \quad (2)$$

с возрастом меньше t .

С другой стороны, если частота образования пульсаров равна ν_p , то число пульсаров с возрастом $< t$ будет равно $N_p = \nu_p t$. Сравнивая это с выражением (2), получаем $\beta = 1.32 \pm 0.12$. Для определения численного коэффициента C_2 следует пронормировать ФС. Так как в области светимостей $3 \cdot 10^{28} \leq L \leq 2 \cdot 10^{30}$ эрг/сек число пульсаров, с учетом коэффициента ориентации, равно $(1.7 \pm 0.6) \cdot 10^3$ [11], то, интегрируя ФС в данном интервале, получим $C_2 = (6 \pm 2) \cdot 10^{24}$. Далее, зная C_2 , из (1) найдем полное число пульсаров с $L > 3 \cdot 10^{26}$ эрг/сек в Галактике: $N_p = (5 \div 10) \cdot 10^4$ и при среднем возрасте $\bar{T}_p = 3 \cdot 10^6$ лет [3, 12] частоту рождения $\nu_p = 0.025 \pm \pm 0.008$ год $^{-1}$. Используя это значение ν_p , определим также величину параметра $C_1 = (4.3 \pm 2.6) \cdot 10^{34}$. Таким образом, изменение светимости с возрастом может быть представлено степенным законом

$$L = (4.3 \pm 2.6) \cdot 10^{34} t^{-1.32 \pm 0.12} \quad (3)$$

где L выражается в эрг/сек и t — в годах.

Из (3) следует, что средний возраст пульсаров со светимостями $L > 3 \cdot 10^{26}$ эрг/сек: $T_p = (2 \pm 1) \cdot 10^6$ лет, что находится в хорошем согласии с оценкой, полученной стандартной процедурой [13]. Для слабых пульсаров с $L < 3 \cdot 10^{26}$ эрг/сек это выражение не применимо, поскольку оно так же, как и (1) справедливо при $\gamma > 1$.

Шемахинская астрофизическая
обсерватория

THE LUMINOSITY FUNCTION AND THE SPATIAL DENSITY OF PULSARS

O. H. GUSEINOV, F. K. KASUMOV, I. M. JUSIFOV

The luminosity function of pulsars (LF) in the whole range of observed luminosity is studied. It is shown that the LF in the interval of luminosities $3 \cdot 10^{28} \leq L \leq 2 \cdot 10^{30}$ erg/sec follows to a power law $dN/dL \sim L^{-\gamma}$, where $\gamma = 1.76 \pm 0.06$. When L is $< 3 \cdot 10^{26}$ erg/sec, LF changes the slope, it has the form of $dN/dL \sim L^{-\gamma_1}$, where $\gamma_1 = 0.7 \pm 0.2$.

On the basis of the given luminosity function the whole number and birth rate of pulsars in Galaxy were estimated which are equal to $N_p = (5 \div 10) \cdot 10^4$ and $\nu_p = 0.025 \pm 0.008$ in a year or one pulsar in 40_{-10}^{+19} years.

ЛИТЕРАТУРА

1. *J. Gunn, P. Ostriker*, *Ap. J.*, 160, 979, 1970.
2. *R. A. Hulse, J. H. Taylor*, *Ap. J.*, 191, L 59, 1974.
3. О. Х. Гусейнов, Ф. К. Касумов, И. М. Юсифов, Труды III ЕАК, Тбилиси, 1975.
4. *R. A. Hulse, J. H. Taylor*, *Ap. J.*, 201, L 55, 1975.
5. *E. J. Groth*, *Neutron Stars, Black Holes and X-ray Sources*, Dordrecht, Reidel, 1975, p. 143.
6. *D. H. Roberts*, *Ap. J.*, 205, L 29, 1976.
7. *J. H. Taylor, M. Manchester*, *A. J.*, 80, 794, 1975.
8. *A. G. Lyne, R. T. Ritchings, F. G. Smith*, *M. N.*, 171, 579, 1975.
9. *J. Gunn, P. Ostriker*, *Ap. J.*, 158, 3, 1969.
10. О. Х. Гусейнов, Ф. К. Касумов, Цирк. Шемахинской обс., № 4, 11, 1973.
11. *O. H. Guseinov, F. K. Kasumov*, *Astrophys. Space Sci.*, 1978 (in press).
12. *K. Lande, W. E. Stephens*, *Astrophys. Space Sci.*, 49, 169, 1977.