

ПОТЕРЯ ЭНЕРГИИ ВРАЩЕНИЯ И РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ПУЛЬСАРОВ

В. В. Виткевич, С. А. Сулейманова

Радиоизлучение пульсаров, как известно, состоит из импульсов, следующих один за другим с высокой стабильностью. Ранее обсуждались две точки зрения на механизм их образования. Первая исходила из того, что импульсное радиоизлучение связывалось с радиальными колебаниями звезды (имелся ввиду белый карлик). При этом энергия излучения черпалась за счет энергии ядерных реакций, происходящих внутри звезды.

Вторая точка зрения, которая в настоящее время может считаться общепринятой, состоит в том, что импульсы пульсаров вызываются радиоизлучением некоторой активной области вращающейся звезды; когда пучок радиоволн направлен на наблюдателя, принимается импульс. Таким образом, период образования импульсов равен периоду вращения звезды.

Однако при этом первоначальная трудность состояла в том, что не видно было, каким образом пополняется энергия, необходимая для излучения. Одна из попыток ее преодоления была предложена Дрейком и Крафтом¹. Они обнаружили у двух пульсаров — CP 1919 и AP 2016 короткопериодические колебания второго класса со значениями $P_2 \approx 10$ мсек и $P_2 \approx 15$ мсек и приписали их радиальным колебаниям нейтронной звезды, и, таким образом, как будто нашли источник пополнения энергии излучения. Однако, дальнейшие исследования колебаний второго класса у пульсаров выявили такие их особенности, которые исключают подобную трактовку.

Во-первых, период у некоторых пульсаров оказался весьма велик: для пульсара CP 0808 $P_2 = 54$ мсек², для CP 0834 $P_2 = 100$ мсек³.

Во-вторых, была выявлена большая нестабильность указанных колебаний (например, у CP 1919 P_2 уменьшается на 25% в год⁴).

В настоящее время можно считать несостоятельным предположение о колебаниях второго класса как радикальных колебаниях нейтронной звезды.

В связи с этим так же сомнительна точка зрения, согласно которой энергия излучения поступает изнутри пульсара наружу. Обнаружение увеличения периода первого класса дало основание для объяснения поступления энергии излучения за счет торможения вращения пульсара^{5,6}. Расчеты показывают, что кинетической энергии, теряемой вследствие замедления, с избытком хватает для обеспечения наблюдаемых светимостей⁷. Действительно, для типичных пульсаров потеря кинетической энергии за счет замедления вращения составляет $10^{31} + 10^{33}$ эрг/сек, а на радиоизлучение соответственно на 3 порядка меньше.

С целью возможного подтверждения этой точки зрения нами был рассмотрен вопрос о том, в какой мере потеря кинетической энергии вращения пульсаров - dW/dt коррелирует с радиосветимостью S . Были взяты пульсары, для которых одновременно были известны S и скорости замедления dP_1/dt ⁸. Таких пульсаров оказалось 10 медленно вращающихся ($P_1 > 0,1$ сек.) и 2 - быстро вращающихся ($P_1 \leq 0,1$ сек.) В таблице 1 для указанных пульсаров приведены величины S и dW/dt , а также величина $\eta = S/(dW/dt)$. Для нахождения S использовалось выражение

$$S = 4\pi r^2 F_{408} \theta \Delta f.$$

Здесь r - расстояние до пульсара, F_{408} - плотность потока импульса на частоте 408 мггц, $\theta = \Delta t/P_1$ - раствор диаграммы излучения; эффективная полоса Δf излучения была принята $\Delta f = 10^9$ гц. Величины

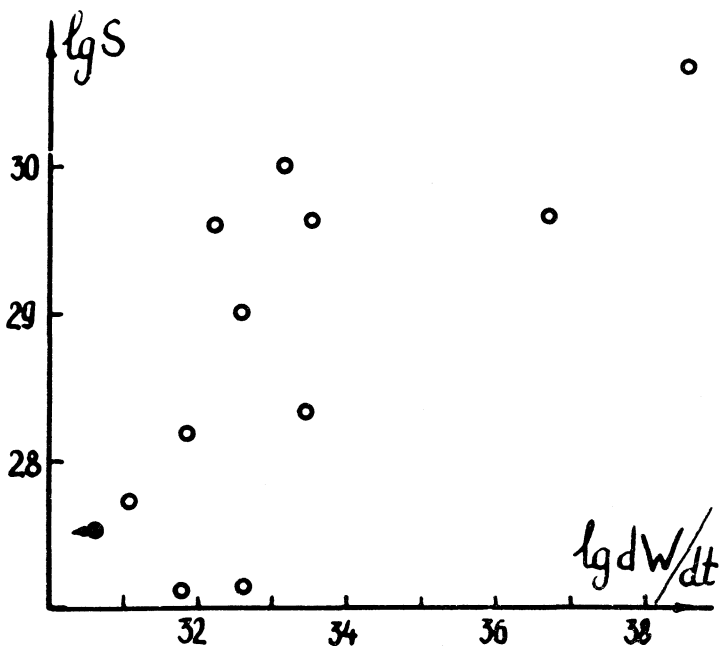
расстояний до пульсаров взяты из работы⁹. При расчете величины dW/dt принималось $M = M_{\odot}$, $R = 10$ км.

Таблица 1

Пульсар	Период P_1 , сек	dP_1/dt , 10^{-15} сек	dW/dt , эрг/сек	S , эрг/сек	η
CP 0329	0,714	2,06	$1,8 \cdot 10^{32}$	$3,9 \cdot 10^{29}$	$22 \cdot 10^{-4}$
NP 0531	0,033	423,0	$3,7 \cdot 10^{38}$	$4,7 \cdot 10^{30}$	$1,3 \cdot 10^{-8}$
CP 0808	1,292	$< 0,3$	$4,4 \cdot 10^{30}$	$3,2 \cdot 10^{27}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$
PSR 0833	0,089	125,0	$5,6 \cdot 10^{36}$	$4,5 \cdot 10^{29}$	$8 \cdot 10^{-8}$
CP 0834	1,274	5,0	$7,6 \cdot 10^{31}$	$1,4 \cdot 10^{28}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
CP 0950	0,253	0,229	$4,4 \cdot 10^{32}$	$1,7 \cdot 10^{27}$	$0,04 \cdot 10^{-4}$
CP 1133	1,188	3,74	$7,0 \cdot 10^{31}$	$1,7 \cdot 10^{27}$	$0,24 \cdot 10^{-4}$
MP 1508	0,739	5,3	$4,1 \cdot 10^{32}$	$8,7 \cdot 10^{28}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
MP 1642	0,387	6,2	$3,4 \cdot 10^{33}$	$4,4 \cdot 10^{29}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
PSR 1749	0,562	8,23	$1,5 \cdot 10^{33}$	$9,9 \cdot 10^{29}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$
CP 1919	1,337	1,0	$1,3 \cdot 10^{31}$	$4,7 \cdot 10^{27}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
PSR 1929	0,227	1,16	$3,1 \cdot 10^{33}$	$2,3 \cdot 10^{28}$	$0,07 \cdot 10^{-4}$

На рис. 1 данные таблицы представлены графически. Из таблицы и рисунка видна хорошая корреляция между S и dW/dt для медленных пульсаров. Более

внимательное рассмотрение показывает, что для восьми из указанных пульсаров: CP 0808, CP 1919, CP 0834, CP 1133, HP 1508, PSR 1749, MP 1842 и CP 0329



Р и с. 1. Соотношение между потерей энергии вращения (эрг/сек) и энергией радиоизлучения (эрг/сек) пульсаров.

в среднем $\eta = 6 \cdot 10^{-4}$. Эти пульсары с точки зрения указанного подхода образуют весьма однородную систему.

Большое отклонение по η имеют пульсары CP 0950 и PSR 1929, для которых $\eta = 0,04 \cdot 10^{-4}$ и $0,07 \cdot 10^{-4}$ соответственно, что не может быть, вероятно, объяснено ошибками светимости или расстояния. Возможно, что отличие η для них от среднего вызывается особенностями их физических параметров. Следует отметить, что хотя в дальнейшем величина η может изменяться главным

образом за счет уточнения светимости в радиодиапазоне (уточнения расстояния, спектра, интенсивности излучения), однако уже сейчас из рис. 1 следует наличие надежной корреляции между dW/dt и S .

Особое место, как видно из рис. 1, занимают короткопериодические молодые пульсары. Энергия торможения их весьма велика и ее с избытком хватает не только для радиоизлучения, но также (NP 0531) для наблюдаемого оптического и рентгеновского излучения. Для этого пульсара

$$\eta_p = 10^{-8}, \quad \eta_{\text{опт}} = 10^{-6}, \quad \eta_x = 10^{-4}$$

Из этих данных следует, что, по-видимому, трудно ожидать оптического и тем более рентгеновского излучения у медленно вращающихся пульсаров, поскольку, если для них принять такие же значения $\eta_{\text{опт}}$, η_x , как для NP 0531, то их соответствующие потоки будут ничтожно малы. Этим обстоятельством в какой-то степени могут быть объяснены неудачные поиски оптического и рентгеновского излучения подавляющей части пульсаров.

Поступила в редакцию
6 октября 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. F. D. Drake, H. D. Craft. *Nature*, 220, 231 (1968).
2. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов. ДАН, 191, 553 (1970).
V. V. Vitkevich, Yu. P. Shitov. *Nature*, 226, 1235 (1970).
3. E. H. Sutton, D. H. Staelin et al. *Astroph. J.*, 159, 2 (1970).

4. В. В. Виткевич, Ю. П. Шитов. Изв. ВУЗов "Радио-физика" (в печати).
5. T. Gold. *Nature*, 218, 731 (1968).
6. F. C. Michel, W. H. Tucker. *Nature*, 223, 279 (1969).
7. T. Gold. *Nature*, 221, 25 (1969).
8. P. E. Reichley, G. S. Downs, G. A. Morris. *Astroph. J.*, 159, L 35 (1970).
9. A. J. R. Prentice, D. Ter-Haar. *Nature*, 222, 964 (1969).