

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

Преприят № 5

Л.М. Ерухимов

ЕСТЬ ЛИ СВЯЗЬ
МЕЖДУ ИНТЕГРАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ
ЭЛЕКТРОНОВ ДО ПУЛЬСАРОВ
И СКВАЖНОСТЬЮ ИХ ИЗЛУЧЕНИЯ?

г. Горький
1970 г.

В настоящее время принято считать, что измеряемая интегральная концентрация N_{tot} до пульсаров обусловлена целиком межзвездной средой [1], а вклад в N_{tot} областей, окружающих пульсары, пренебрежимо мал. Вместе с тем вопрос о вкладе этих областей в N_{tot} чрезвычайно важен как при оценке расстояний до пульсаров, так и для интерпретации экспериментальных данных о медленных вариациях радиоизлучения пульсаров (см. [2]). Для проверки этого положения можно попытаться найти связь между

N_{tot} и каким-либо параметром излучающей области, непосредственно не связанным с эффектами распространения радиоволн в межзвездной среде, но могущим быть индикатором состояния окружающей пульсар среды. Очевидно, что если такая связь и существует, то ее необходимо искать для сравнительно близких объектов или для объектов, расположенных вдали от Галактической плоскости, поскольку в противном случае увеличивается вклад в N_{tot} электронов межзвездного газа и увеличивается вероятность пересечения ионизованных HII областей. Если принять плотность электронов в межзвездном газе $\approx 10^{-2} \text{ см}^{-3}$ (что согласуется с поляризационными измерениями [3]), то

$N_{tot} \sim 10 \text{ пс/см}^3$ набегают на расстояниях $r \gtrsim 1 \text{ кпс}$. Пересечение (в среднем) приходящим на Землю излучением HII области с вероятностью, близкой к единице, происхо-

дит, по-видимому, также на расстояниях $r \sim 1$ кпс [3]. В связи с этим не исключено, что для пульсаров, удаленных от нас на расстояние $r \sim 100 + 500$ пс, основной вклад в N_{tot} могут вносить области, близлежащие к пульсарам. На рис.1 приведена зависимость величины τ/ρ обратной скважности излучения пульсаров (τ - длительность импульса, ρ - период повторения импульсов, данные τ и ρ взяты из [1]) от интегральной концентрации электронов N_{tot} . Вертикальными линиями указан среднеквадратичный разброс данных, крестиками - медианные значения τ/ρ . Нетрудно видеть, что при малых N_{tot} имеет место кажущийся рост τ/ρ при уменьшении интегральной концентрации. Заметим, что меньший разброс данных получается, если отобрать источники, расположенные вдали от Галактической плоскости^{*)}.

Представляет интерес в связи с рис.1 сравнить данные о τ/ρ с данными о радиусе частотной корреляции флуктуаций излучения пульсаров $\Delta\nu$, поскольку, согласно [5,6], $\Delta\nu \propto N_{tot}^{-n}$, $n \sim 1 + 2$. При этом, если принять, что флуктуации обусловлены только неоднородностями плазмы, окружающей пульсары, то можно ожидать заметно меньшего разброса точек в зависимости τ/ρ от $\Delta\nu$ по сравнению с рис.1, поскольку здесь исключается часть N_{tot} , обусловленная межзвездным газом. Результаты такого сравнения приведены на рис.2 (данные о τ/ρ взяты из [8]), а сведения о $\Delta\nu$ из [6]. О чем могут свидетельствовать данные, приведенные на рис.1 и 2

1. Совпадение случайное и необходим большой статистический материал для построения такого рода зависимостей. Именно эта точка зрения казалась автору более ве-

*) Обработка по единой методике приведенных в литературе записей радиоизлучения пульсаров показала, что хотя полученные таким образом данные о τ несколько отличаются от приведенных в [1], внесенные поправки не изменяют общего характера обсуждаемой зависимости.

роятной, когда он доложил об этих результатах в дискуссии на Всесоюзном совещании по пульсарам в декабре 1969 г.

2. Уменьшение τ/ρ с ростом N_{tot} происходит вследствие временной [7] фокусировки частотно модулированных сигналов пульсаров в межзвездной среде. Но известно, что длительность импульсов τ почти не зависит от частоты в широком диапазоне частот. Вместе с тем "сжатие" импульса определяется второй производной от фазы, которая пропорциональна ν^{-3} . Поэтому надо допустить, что параметры модуляции (в частности ширина спектра) зависят от частоты, как ν^3 , что маловероятно.

Возможна ситуация, когда принимаемый сигнал состоит из отдельных селективных уярчений размером $\Delta\nu_1$, разнесенных друг от друга по частоте на расстояние $\Delta\nu_2$. Уярчения могли бы быть вызваны дифракцией волн на неоднородностях среды. В этом случае, если полоса приемного устройства $\Delta\nu_0$ больше $\Delta\nu_1$, но меньше $\Delta\nu_2$ длительность импульса:

$$\tau \approx \frac{\partial \tau}{\partial \nu} \Delta\nu_1 \approx \frac{e^2}{\pi m c} \frac{N_{tot}}{\nu^3} \Delta\nu_1 \quad (I)$$

Если принять $\Delta\nu_1$ равным радиусу частотной корреляции $\Delta\nu$, то, учитывая, что $\Delta\nu \propto \nu^k N_{tot}^{-n}$, где $1 \leq n \leq 2$ а k изменяется от 2,3 до 3,4 со средним значением 2.8 [5], получаем, что длительность импульса $\tau \propto \nu^p / N_{tot}^3$, $p \approx 0,7$, а $0 \leq S \leq 1$, то есть τ довольно слабо зависит от частоты. Интересно, что оценка по (I) с использованием данных о $\Delta\nu$ дает значения $\tau \sim 10 \div 50$ мсек, что соответствует наблюдаемым значениям τ . Этот эффект, однако, должен исчезнуть, когда полоса приемника $\Delta\nu_0$ становится меньше $\Delta\nu_1$ или много больше $\Delta\nu_2$ (при $\Delta\nu_0 > \Delta\nu_2$ возможно появление субимпульсов, связанных с наличием в полосе нескольких уярчений). Вместе с тем анализ данных показывает, что в ряде экспериментов

заведомо $\Delta \gamma_2 < \Delta \gamma_1$. Кроме того, эта модель не может объяснить того факта, что с N_{tot} и $\Delta \gamma$ связана не длительность импульса τ , а параметр τ/ρ . Не меньшие трудности связаны и с предположением об изменении диаграммы направленности излучателя из-за рефракции в окружающей среде. При $\omega_L \ll \omega = 2\pi\nu$, где ω_L - плазменная частота, длительность импульса должна сильно зависеть от частоты. Вместе с тем, данные о мере дисперсии свидетельствуют о том, что в N_{tot} определяющий вклад вносят области с $\omega_L \ll \omega$ [1]. По этой же причине не проходит, по-видимому, предположение о вытеснении плазмы из диаграммы направленности излучателя высокочастотным полем ($\nu \sim 1 + 50$ мГц), поскольку плазма, как показывают оценки, не может быть вытеснена на расстояния R , существенно превышающие $10^{11} + 10^{13}$ см. Вместе с тем, для таких R необходимо брать аномально большие значения электронной концентрации $N \gg 10^6$ см⁻³ для обеспечения $N_{tot} \sim (1 + 3) 10^{19}$ см⁻² [1]. На существенно большие расстояния от пульсара холодная плазма, как показывают грубые оценки, могла бы быть вытеснена высокоэнергичными частицами, инжектируемыми пульсаром. Мы не будем касаться здесь этого сложного вопроса более подробно. Заметим только, что поскольку величина эффекта зависит от полной энергии инжектируемых частиц, которая в свою очередь пропорциональна параметру $\frac{\tau}{\rho} \cdot t_q$ (t_q - время жизни пульсара), можно ожидать связь между N_{tot} и этим параметром. В связи с этим может представлять интерес рис.3, иллюстрирующий возможное наличие такой связи (величина t_q получена из данных об относительном изменении периода радиопульсов [1,8]).

3. Можно считать, с другой стороны, что независимо от причин, изложенных в п.2, вследствие расширения оболочки сверхновой N_{tot} уменьшается. (Например, при расширении с сохранением полного числа частиц в оболочке

$N_{tot} \propto R^{-2} \alpha t^{-r^c}$, где δ - характерный размер расширения оболочки во время, $t' = \delta(t)$.) Таким образом, параметр N_{tot} мог бы в этом случае служить некоторой (конечно нелинейной) характеристикой возраста пульсара. Поэтому, если τ/ρ изменяется регулярным образом во времени, могла бы существовать косвенная связь между τ/ρ и N_{tot} . В недавней работе [10] было показано, что если при рождении пульсара магнитная ось m не совпадала с осью вращения, то в дальнейшем из-за магнитно-дипольного излучения звезды угол между этими осями χ может уменьшаться. При этом возможны решения типа $(\Omega \cos \chi)^2 = (\Omega_0 \cos \chi_0)^2$, $\eta \geq 1$ (Ω_0 , χ_0 - начальные значения угловой скорости вращения звезды Ω и угла χ). Если мы предположим, что излучение пульсара исходит из некоторых областей размером δ (рис.4), расположенных около магнитных полюсов звезды, то при $\xi \ll$

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{\delta \left(1 - \left(\frac{\xi}{r} \right)^2 \right)^{1/2}}{\sin \chi(t)}$$

(обозначения см. на рис.4). В рамках модели [10] начальные значения χ_0 близки к $\pi/2$ для всех пульсаров, то есть со временем происходит регулярное уменьшение $\sin \chi$, что приводит к росту τ/ρ . Этот рост становится существенным на поздних стадиях развития пульсара, когда χ заметно отличается от $\pi/2$. ($\sin \chi =$

$= \sqrt{1 - \left(\frac{\Omega_0 \cos \chi_0}{\Omega \cos \chi} \right)^2}$, $\Omega = \Omega_0 - \beta t$, при $\eta = 1$ и $\Omega_0 > \beta t$.) В связи с этим и рост τ/ρ с уменьшением

можно ожидать только при малых N_{tot} (см. рис.1). Аналогичным образом можно понять и зависимость

$\frac{\tau}{\rho} t_q$ от N_{tot} на рис.3, имея в виду при этом, что $t_q = \rho \frac{d\rho}{dt}$ характеризует время жизни пульсаров при рассмотрении только больших временных масштабов

(скачки в скорости изменения периода [I] и т.д.).

В заключение заметим, что проводимое здесь рассмотрение моделей имело лишь цель показать, что связь между N_{tot} и τ/ρ не выглядит столь уж абсурдной, если принять, что существенный (а в ряде случаев определяющий) вклад в интегральную концентрацию до пульсаров вносят электроны оболочки пульсаров. Ввиду важности этого вопроса представляет большой интерес тщательное подтверждение такой связи. +)

Автор глубоко благодарен Г.Г.Гетманцеву и Н.А.Митякову за дискуссию и В.В.Железнякову за ценные замечания.

+) Если N_{tot} все же определяется межзвездной средой, то зависимость на рис.1 можно было бы объяснить эффектом селекции старых пульсаров (имеющих меньшую светимость) по расстоянию. В этом случае τ/ρ (как и в п.3) должно характеризовать возраст пульсара. Из имеющихся экспериментальных данных доказать наличие эффекта селекции не удастся, но пренебрегать такой возможностью, по-видимому, нельзя.

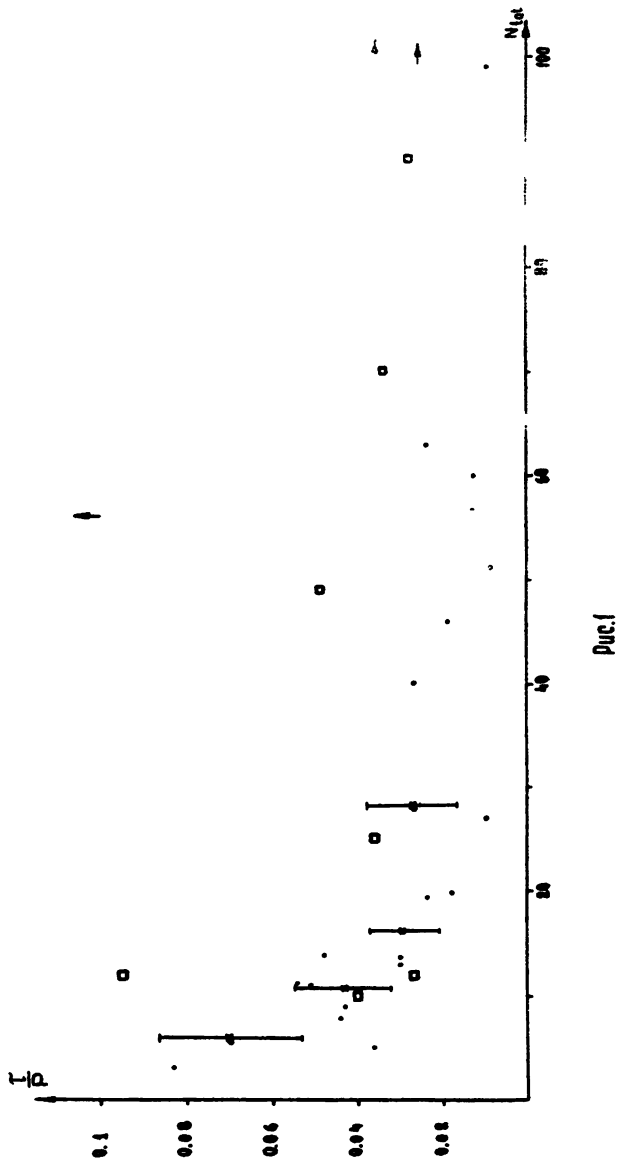
ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1. Зависимость отношения длительности импульса τ к периоду ρ излучения от интегральной концентрации до пульсаров $N_{\text{тк}}$.

Рис.2. Зависимость отношения τ/ρ от радиуса $\Delta\gamma$ частотной корреляции флуктуаций радиоизлучения пульсаров [5].

Рис.3. Зависимость параметра $\frac{\tau}{\rho} t_{01}$ от $N_{\text{тк}}$ (t_{01} - "время жизни пульсара" равно $\rho/\frac{d\rho}{dt}$).

Рис.4. Модель "маяка", расположенного около магнитного полюса звезды (δ - размер излучающей области, χ - угол между осью вращения и магнитной осью).



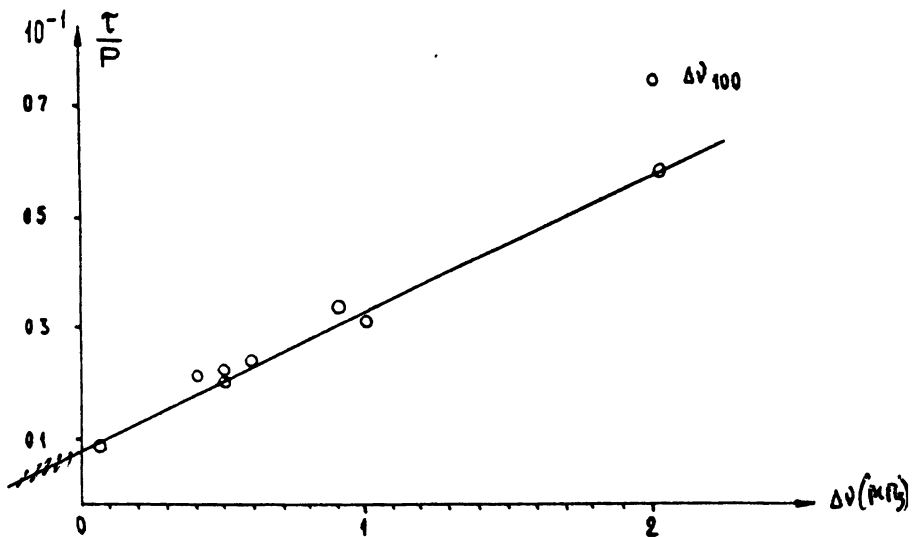
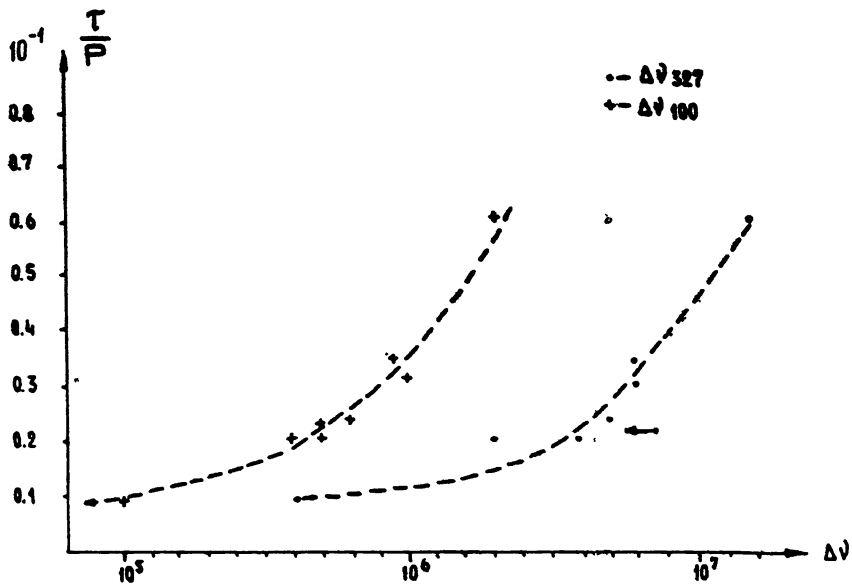


Рис. 2

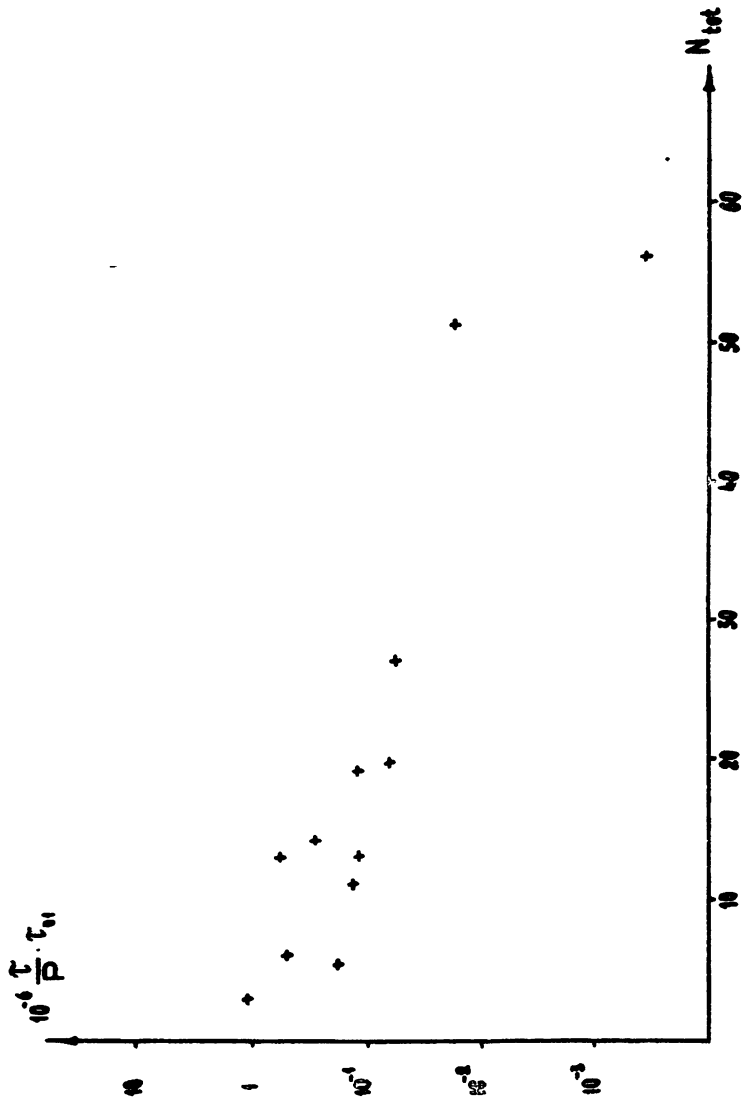


Рис. 3

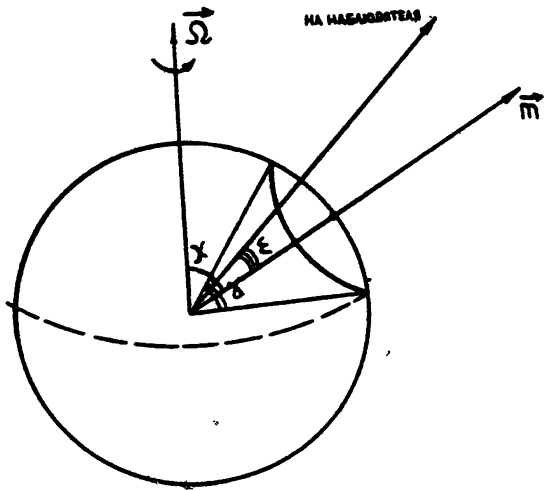


Рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. V.Radhakrishnan, Proc.Astron.Soc.Austr.,I, (6), 1969.
2. Л.М.Ерухимов, Астрон.циркуляр, № 513, 1969
3. В.А.Разин, И.П.Хижнякова, Изв.ВУЗов - Радиофизика, 8, № 4, 822, 1965
4. Л.М.Ерухимов, В.В.Писарева, Изв.ВУЗов - Радиофизика, 12, № 6, 900, 1969
5. G.R.Huguenin, J.H.Taylor and J.Jura, Astrophys. Letters,4,71,1969.
6. B.J.Rickett, Nature,221,158,1969.
7. П.В.Блиох, Изв.ВУЗов - Радиофизика, 7, № 3, 460, 1960.
8. I.E.Gunn and I.P.Ostriker, Preprint,1969.
9. J.Halliday, I.Roy Astron.Soc.Canada,63,N 4,215, 1969.
10. F.G.Michel and H.C.Goldwire, Astrophys.Letters,5,21, 1960.