

УДК: 524.354.4

## О ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗРАСТАХ ПУЛЬСАРОВ

Т.Г.МДЗИНАРИШВИЛИ, Г.И.МЕЛИКИДЗЕ,  
Р.М.ДЗИГВАШВИЛИ

Поступила 29 августа 2003

Принята к печати 15 сентября 2003

Предложен метод, не зависящий от применяемой модели распределения свободных электронов в Галактике, для выявления возможных осцилляций пульсаров в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики. Независимым от шкалы расстояний методом обнаружен эффект осцилляции пульсаров в указанном направлении с полупериодом, равным приблизительно  $10^4$  лет по шкале характеристических возрастов.

1. *Введение.* Для галактического населения пульсаров актуальными являются вопросы о возрасте и времени жизни пульсаров. Как известно, из наблюдений с высокой точностью можно измерить период вращения пульсаров  $P$  и скорость их замедления вращения  $\dot{P}$ , из которых определяется т.н. характеристический возраст  $\tau = \frac{1}{2} \frac{P}{\dot{P}}$ . Другим индикатором возраста пульсаров является оценка "кинематического" или "динамического" возраста пульсаров. Считается, что прародителями пульсаров являются массивные ОВ-звезды и что пульсары рождаются вблизи галактической плоскости. Для многих пульсаров по собственным движениям можно определить поперечную составляющую пространственной пекулярной скорости  $V_{l(pec)}$  и вычислить составляющую по  $z$ -направлению Галактики  $V_z$ . Динамический возраст пульсара оценивается из экстраполяции вектора скорости к плоскости Галактики:  $t_d = z/V_z$ .

В настоящее время считается, что статистическая оценка возраста пульсаров с использованием динамических данных не соответствует оценке характеристического возраста, который является лишь надежным верхним пределом истинного возраста пульсара [1]. Этот факт является предметом многих дискуссий [2].

В данной работе, на основе новейших данных о пульсарах в окрестности Солнца [3], рассматривается вопрос соответствия характеристических и динамических возрастов пульсаров. Предлагается метод, не зависящий от шкалы расстояний, для исследования возможной осцилляции пульсаров в направлении, перпендикулярном к плоскости Галактики, и приводятся полученные результаты.

2. *Статистический анализ.* За последнее время число известных пульсаров возросло до 1200. Для проведения статистического анализа мы ограничились пульсарами в окрестности Солнца радиусом 4 кпк. В каталоге [3] приведены новейшие данные о 478 пульсарах из каталога [4], включая расстояния и оценки погрешностей расстояний, основанные на новой модели распределения свободных электронов и их флуктуаций в Галактике (NE 2001) [5]. Мы ограничились окрестностью радиусом 4 кпк, чтобы сравнить распределение пульсаров с распределением населения I типа. Как известно, оптические данные массивных звезд из-за межзвездного поглощения более полны до указанного предела. Мы не касались проблемы полноты обзоров пульсаров, допуская, что в этой окрестности Солнца выборка пульсаров со светимостью больше 1 мЯн кпк<sup>2</sup> репрезентативна [2].

Рассмотрим сперва гистограмму распределения пульсаров по характеристическим возрастам. Диапазон характеристических возрастов пульсаров охватывает интервал от 1240 (пульсар в Крабовидной туманности) до  $4.2 \cdot 10^9$  лет (PSR 1952+29). В рассматриваемом каталоге [3] большинство пульсаров имеют  $\tau$  в несколько миллионов лет. Ясно, что такое распределение мы не можем адекватно представить на одном рисунке. Обычно строят гистограмму распределения по  $\log \tau$  [6], однако такая гистограмма, которая похожа на гауссиану, не дает наглядной информации об истинном распределении пульсаров по  $\tau$ .

Чтобы более детально изучить распределение пульсаров по  $\tau$ , мы рассмотрели распределения в интервалах:  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^6$  лет,  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^7$  лет и  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^8$  лет и весь диапазон изменения  $\tau$ .

На рис.1 представлена гистограмма для интервала  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^7$  лет. На координатных осях  $\tau$  обозначает характеристический возраст в  $10^6$  лет;  $n$  - количество пульсаров.

Как видно из рис.1, количество пульсаров быстро убывает с ростом

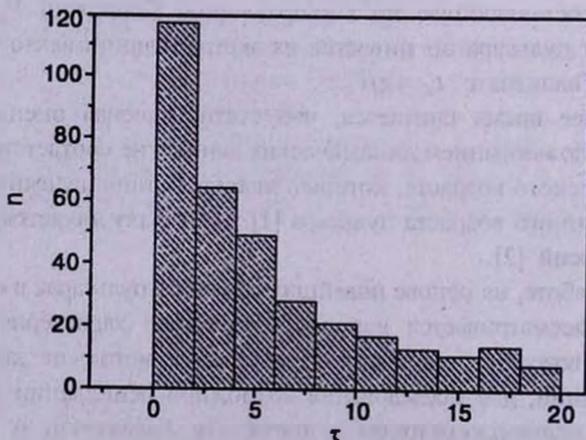


Рис.1. Гистограмма распределения пульсаров по характеристическим возрастам.

характеристического возраста и этот спад имеет приблизительно экспоненциальный характер. Уменьшение количества пульсаров с увеличением  $\tau$  прослеживается и во всех остальных интервалах.

Примем гипотезу, что характеристический возраст пульсара соответствует его реальному возрасту. В таком случае экспоненциальное уменьшение количества пульсаров с увеличением возраста можно интерпретировать следующим образом. Допустим, что с тех пор, как образовалось галактическое население I типа, рождение пульсаров в Галактике происходит с постоянной скоростью [7]. Допустим также, что для каждого момента жизни пульсаров  $t$  существует определенная вероятность того, что в единицу времени механизм излучения пульсара может прекратить свое существование, т.е. наступит "смерть" пульсара. В общем случае эта вероятность будет зависеть от  $P$  и  $\dot{P}$  [7]. Если вероятность не зависит от  $t$ , то мы получим экспоненциальный спад количества наблюдаемых пульсаров (по аналогии с законом распада нестабильных ядер [8]). Обоснование этого предположения для нашей выборки пульсаров требует более детального, специального анализа, который не входит в нашу задачу. Мы здесь ограничиваемся лишь качественной интерпретацией.

Главным аргументом против гипотезы о соответствии характеристического возраста пульсара его реальному возрасту в литературе приводятся результаты статистических исследований с использованием данных о динамике пульсаров [1,2].

Известно, что для двух самых молодых пульсаров (пульсары в Крабовидной туманности и в созвездии Паруса)  $\tau$  является хорошей оценкой истинного возраста пульсара.

Однако для других пульсаров, если допустить, что они ведут свое происхождение от галактического населения I типа с характеристической высотой  $h = 80$  пк, и что при рождении они получают скорость случайную по направлению и максвелловскую по амплитуде, причем средняя скорость по одной координате  $\langle |V_z| \rangle = 150$  км/с, зависимость среднего расстояния от галактической плоскости  $\langle |z| \rangle$  от  $\tau$  не соответствует ожидаемой динамической картине [1].

На сегодняшний день считается, что распределение пекулярных скоростей пульсаров наилучшим образом можно представить в виде суммы двух гауссовских кривых со средними значениями 90 км/с и 500 км/с [9]. В таком случае, если принять гипотезу, что характеристический возраст соответствует реальному возрасту пульсаров, мы должны ожидать, что с ростом характеристического возраста часть пульсаров должна покинуть область радиусом 4 кпк, так как они будут иметь скорость, превышающую скорость освобождения от галактического потенциала, а часть останется,

и эти пульсары будут осциллировать в направлении, перпендикулярном к плоскости Галактики. Влияние галактического потенциала на  $z$ -распределение убегающих О-звезд и звезд Вольф-Райе рассмотрено в работе [10]. Как известно, скорость этих убегающих звезд меньше скорости освобождения.

Для проверки этой гипотезы мы можем изучить зависимость  $z$ -распределения пульсаров от характеристического возраста  $\tau$ . Однако для пульсаров реально имеющих большие  $z$  ( $z > 1$  кпк), расстояния определяются с большими погрешностями [11]. Полученная картина, в конечном итоге, будет зависеть от принимаемой модели распределения свободных электронов в Галактике, по которой определяются расстояния до пульсаров. Напомним, что расстояние до пульсаров определяется по формуле

$$DM = \int_0^r n_e ds, \quad (1)$$

где  $DM$  - мера дисперсии, которая определяется из наблюдений,  $r$  - расстояние до пульсара и  $n_e$  - плотность распределения свободных электронов вдоль луча зрения. Для определения расстояний до пульсаров необходимо знать закон распределения свободных электронов вдоль луча зрения, который, в свою очередь, определяется из принимаемой модели распределения свободных электронов в Галактике.

Чтобы избежать этого затруднения, мы предлагаем следующий метод исследования, который не зависит от принимаемой шкалы расстояний при допущении, что рассматриваемая выборка в окрестности Солнца репрезентативна.

Так как мы находимся вблизи плоскости Галактики, то для объекта, движущегося по  $z$ -направлению ( $z = r \cdot \sin b$ , где  $r$  - расстояние до объекта,  $b$  - галактическая широта), с течением времени мы должны наблюдать увеличение или уменьшение  $|\sin b|$ , в зависимости от того, движется ли объект от плоскости или к плоскости Галактики. Как принято считать, пульсары рождаются вблизи плоскости Галактики с большими перпендикулярными скоростями и затем диффундируют в пространстве. В таком случае мы должны ожидать в среднем увеличение  $|\sin b|$  с ростом характеристического возраста. Если имеется осцилляция в направлении, перпендикулярном к плоскости Галактики, то эта осцилляция должна отразиться и на ходе зависимости  $|\sin b|$  от  $\tau$ . Полупериод осцилляции в направлении, перпендикулярном плоскости Галактики, составляет около  $10^8$  лет [11].

Рассмотрим картину зависимости  $\sin b$  от  $\log \tau$ , которая приводится на рис.2 ( $\log \tau$  - логарифм характеристического возраста в годах).

Как и следовало ожидать, с увеличением  $\tau$  в среднем растет и  $|\sin b|$ , однако при больших  $\tau$  замечается уменьшение  $|\sin b|$ . Чтобы более полно исследовать существующую зависимость от логарифмической

шкалы - перейдем к обыкновенной.

Как и выше, при рассмотрении распределения пульсаров по характеристическому возрасту, рассмотрим следующие интервалы

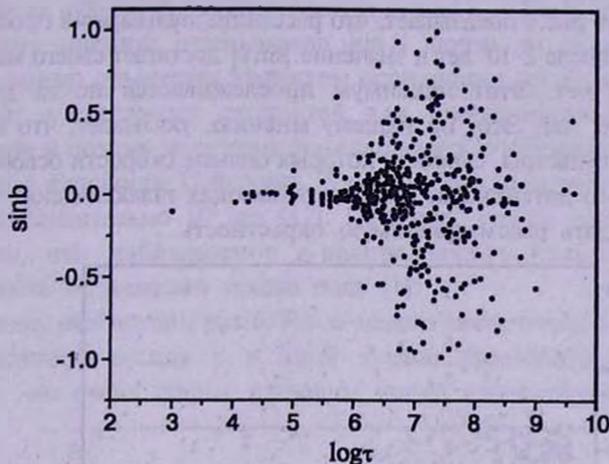


Рис.2. Зависимость  $\sin b$  от  $\log \tau$ .

изменения  $\tau$ :  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^6$  лет,  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^7$  лет и  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^8$  лет и весь диапазон изменения. Зависимость  $\sin b$  от  $\tau$  для соответствующих интервалов приводится на рис.3-6 ( $\tau$  - обозначает характеристический возраст в  $10^6$  лет).

Как видно из рис.3, подавляющее большинство молодых пульсаров с характеристическими возрастaми  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^6$  лет, имеет близкие к нулю  $|\sin b|$ , и с увеличением  $\tau$  наблюдается в среднем рост  $|\sin b|$ , что и следовало ожидать. Так как молодые пульсары все еще должны находиться вблизи своего места рождения, т.е. около галактической плоскости [14],

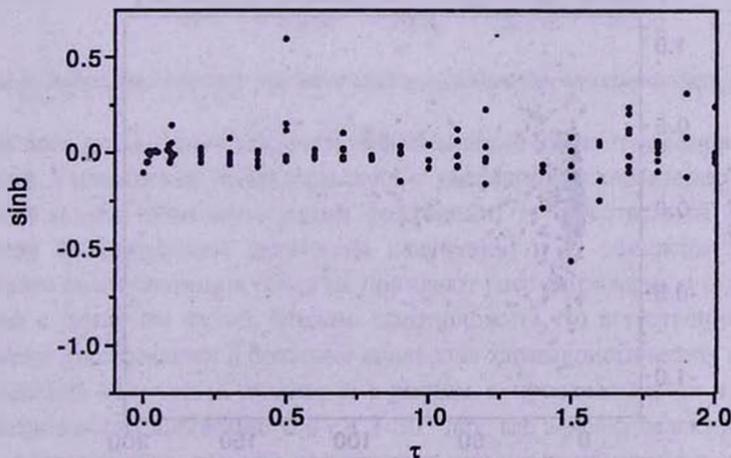


Рис.3. Зависимость  $\sin b$  от  $\tau$  для интервала  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^6$  лет.

то они должны иметь малые  $|\sin b|$ . Увеличение  $|\sin b|$  с ростом  $\tau$  указывает на рассеяние пульсаров в пространстве, что является следствием высоких скоростей, которые приобретают пульсары при рождении.

Рассмотрение рис.4 показывает, что рассеяние пульсаров в пространстве продолжается и после  $2 \cdot 10^6$  лет и значение  $|\sin b|$  достигает своего максимума около  $5 - 6 \cdot 10^6$  лет. Этот максимум прослеживается почти до конца диапазона  $20 \cdot 10^6$  лет. Это, по нашему мнению, указывает, что наиболее быстролетающие пульсары, скорость которых больше скорости освобождения от галактического потенциала, достигают высоких галактических широт и начинают покидать рассматриваемую окрестность.

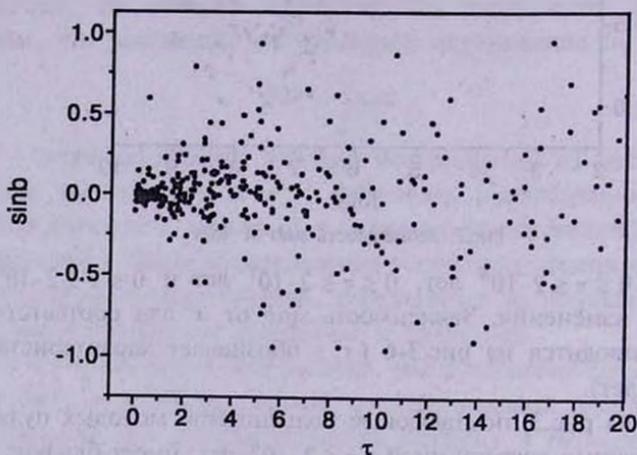


Рис.4. Зависимость  $\sin b$  от  $\tau$  для интервала  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^7$  лет.

Наиболее интересной является зависимость, приведенная на рис.5. Как видно из рисунка, указанный максимум прослеживается приблизи-

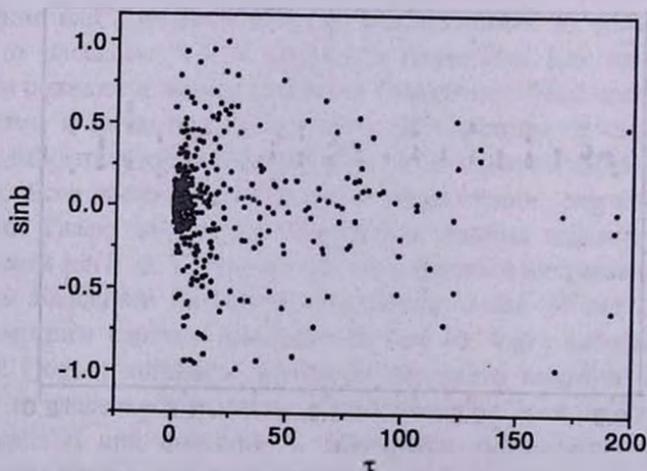


Рис.5. Зависимость  $\sin b$  от  $\tau$  для интервала  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^8$  лет.

тельно до  $25 \cdot 10^6$  лет, а затем около  $25 - 50 \cdot 10^6$  лет значение максимального  $|\sin b|$  начинает уменьшаться и доходит почти до нуля около  $75 - 100 \cdot 10^6$  лет. После этого наблюдается некоторый рост  $|\sin b|$ , однако из-за малого числа пульсаров ход зависимости между  $\tau$  и  $|\sin b|$  трудно усмотреть. По нашему мнению, уменьшение  $|\sin b|$  почти до нуля естественным образом можно объяснить эффектом осцилляции тех пульсаров, которые не имеют достаточных скоростей для преодоления галактического потенциала и потому начинают осциллировать в направлении, перпендикулярном к плоскости Галактики. Как известно, полупериод осцилляций равен приблизительно  $10^8$  лет [12]. Отметим, что на сегодняшний день считается, что наблюдаемое  $z$ -распределение пульсаров исключает возможность осцилляции такого рода [1].

Наконец, рассмотрим рис.6. Из-за малого числа очень старых пульсаров ход зависимости между  $\tau$  и  $|\sin b|$  трудно проследить. Можно только отметить, что очень старые пульсары имеют сравнительно малые  $|\sin b|$ .

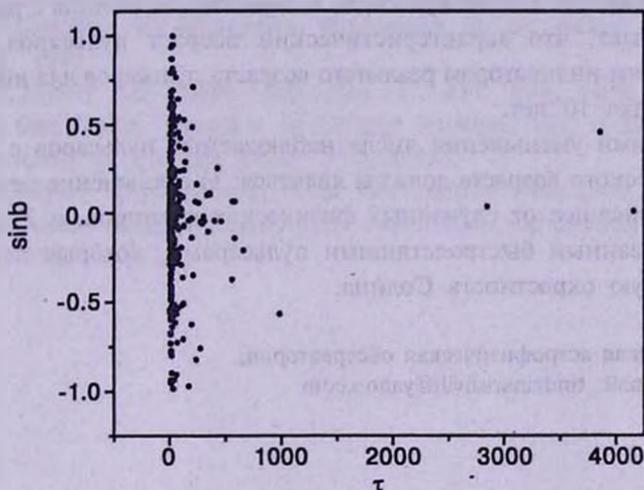


Рис.6. Зависимость  $\sin b$  от  $\tau$  для всего диапазона изменения характеристических возрастов.

На всех рис.3-6 прослеживается уменьшение числа пульсаров с ростом возраста. Уменьшение числа пульсаров с увеличением характеристического возраста можно объяснить двумя факторами: 1) естественной "смертью" пульсара (выключением механизма излучения) и 2) эффектом селекции (наиболее быстролетающие объекты покидают рассматриваемую окрестность Солнца с радиусом 4 кпк). Можно предположить, что естественная смерть пульсаров продолжается в большом диапазоне характеристических возрастов. Уменьшение количества пульсаров с ростом  $\tau$  прослеживается и в первом рассматриваемом диапазоне  $0 \leq \tau \leq 2 \cdot 10^6$  лет, где эффект селекции должен быть минимальным, так как все эти пульсары должны находиться вблизи

своего места рождения. Уменьшение числа пульсаров прослеживается также и для сравнительно старых пульсаров, которые по динамическим соображениям не могут покинуть рассматриваемую область. Поэтому уменьшение количества пульсаров с ростом  $\tau$  должно отражать комбинацию этих двух факторов.

Приведенный нами анализ не является строгим в классическом смысле статистического анализа. Однако мы опирались на некоторые подходы, разработанные в книге Дж.Тьюки [14]. По нашему мнению, приведенные ниже выводы в дальнейшем могут привести к более строго обоснованным результатам.

3. *Выводы.* 1) Методом, независимым от шкалы расстояний, обнаружен эффект осцилляции пульсаров в направлении, перпендикулярном к плоскости Галактики с полупериодом приблизительно  $10^8$  лет по характеристической шкале возрастов.

2) Статистический анализ пульсаров в окрестности Солнца с радиусом 4 кпк показывает, что характеристический возраст пульсаров может служить хорошим индикатором реального возраста пульсаров для интервала времени порядка  $10^8$  лет.

3) Причинами уменьшения числа наблюдаемых пульсаров с ростом характеристического возраста должны являться: 1) отключение механизма излучения, зависящее от случайных физических факторов, и 2) эффект селекции, вызванный быстролетающими пульсарами, которые покидают рассматриваемую окрестность Солнца.

Абастуманская астрофизическая обсерватория,  
Грузия, e-mail: tmdzinarishvili@yahoo.com

## ON CHARACTERISTIC AND DYNAMIC AGES OF PULSARS

T.G.MDZINARISHVILI, G.I.MELIKIDZE, R.M.DZIGVASHVILI

A method independent of the accepted model of distribution of free electrons in the Galaxy is proposed for revealing a possible oscillation of pulsars in the direction perpendicular to the galactic plane. By this method, independent of distance scale, an effect of oscillation of pulsars in the mentioned direction with a half-period of approximately  $10^8$  year on the characteristic age scale is found.

Key words: (stars:)pulsars - pulsars:ages

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Р.Манчестер, Дж.Тейлор*, Пульсары, Мир, М., 1980, с.292.
2. *A.G.Lyne, F.Graham-Smith*, Pulsar Astronomy, Cabmridge Univ. Press, 1998, p.261.
3. *T.G.Mdzinarishvili, G.I.Melikidze*, Bull. Abastum. Astophys. Obser. **76**, 253, 2003.
4. <http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/catalogue/>.
5. *J.M.Cordes, T.Josef, W.Lazio*, <http://www.arXiv:astro-ph/0207256> v.2, 14 Jul, 2002.
6. *J.H.Taylor, R.N.Manchester, A.G.Lyne*, Astrophys. J., Suppl. Ser., **88**, 529, 1993.
7. *E.S.Phinney, R.D.Blandford*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **194**, 137, 1981.
8. *Я.Б.Зельдович, И.М.Яглом*, Высшая математика для начинающих физиков и техников, Наука, М., 1982, 510.
9. *Z.Arzumian, D.F.Chernoff, J.M.Cordes*, Astrophys. J., **568**, 289, 2002.
10. *A.F.G.Moffat, S.V.Marchenko, W.Seggewiss et. al.*, Astron. Astrophys., **331**, 949, 1998.
11. *J.H.Taylor, J.M.Cordes*, Astrophys. J., **411**, 674, 1993.
12. *J.H.Oort*, Stellar Dynamics, In Galactic Structure, Eds. A.Blaauw, M.Schmidt, University of Chicago Press, 1965, p.455.
13. *J.H.Taylor, D.R.Stinebring*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **24**, 285, 1986.
14. *Дж.Тьюки*, Анализ результатов наблюдений,разведочный анализ, Мир, М., 1981, с.693.