



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005"
International Conference "Fizika-2005"
Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
iyun
June 2005
Июнь

№3
səhifə
page 23-26
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

АККРЕЦИОННАЯ МОДЕЛЬ И РЕАЛЬНЫЕ ВОЗРАСТЫ ПУЛЬСАРОВ

АЛЛАХВЕРДИЕВ А.О., КАСУМОВ Ф.К., ТАГИЕВА С.О.

*Институт Физики НАН Азербайджана, Баку 143, Г.Джавида, 33:
e-mail astro@physics.ab.az*

Предложен тест для проверки работоспособности аккреционной fall-back или пропеллеровской модели эволюции пульсаров, в основе которой лежит сравнение возраста предсказываемого данной моделью с реальным (кинематическим) возрастом пульсара.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы обнаружены новые классы нейтронных звезд. Наиболее важные из них это класс нейтронных звезд (НЗ), включающий в себя Аномальные Рентгеновские Пульсары (АХР) и Мягкие Повторные Гамма Источники (SGR). Эти объекты по данным последних наблюдений двух вспыхивающихся АХР (АХР IЕ 2259+586 и АХР IЕ 1048.1-5937) [1,2] являются единым классом НЗ [3].

Существует две основные модели, объясняющие природу АХР и SGR. В модели магнитара [4] АХР и SGR являются НЗ с дипольным магнитным полем на поверхности $\sim 10^{14} - 10^{15} G$, ответственным за их светимость является потери магнитной энергии. Альтернативная модель - аккреционная, предполагается наличие у НЗ fall-back диска, оставшегося после взрыва сверхновой, образовавшей НЗ [5]. АХР и SGR являются редкими объектами и до сих пор их обнаружено только около 10 [6]. Более того, природа этих объектов плохо известна по сравнению с радиопульсарами (PSR). Несмотря на отсутствие прямых свидетельств в пользу объяснения природы АХР и SGR аккрецирующей fall-back моделью, имеются много работ посвященных анализу применимости этой модели также и к другим типам НЗ.

В этой работе мы проанализируем применимость аккрецирующей fall-back модели объясняющей эволюцию PSR на диаграмме $P - \dot{P}$ предложенную в работе [7]. Эта модель объясняет эволюцию пульса-

ров на диаграмме $P - \dot{P}$ совместным действием двух механизмов: магнито-дипольным (МД) и аккреционным или иначе механизмом пропеллера. Согласно этой модели после достижения некоторого

значения периода P_0 в жизни PSR доминирующее влияние на ход эволюции оказывает действие второго механизма. Значит, на правой части указанной диаграммы находятся, в основном, аккрецирующие пульсары.

**2. ПРОПЕЛЛЕРОВСКИЙ МЕХАНИЗМ
ДЛЯ РАДИОПУЛЬСАРОВ**

Необходимость введения дополнительных кроме магнитодипольной сил торможения для объяснения эволюции очень молодых ($t < 10^5$ лет) пульсаров на

диаграмме $P - \dot{P}$ ранее рассматривалась в работе [8]. В молодых пульсарах известен ряд физических механизмов приводящих к уменьшению значения индекса торможения n . Действительно, для молодых

пульсаров индекс торможения ($n = \frac{\Omega \ddot{\Omega}}{\dot{\Omega}^2}$, где Ω

частота вращения PSR) меньше 3 (см. [9]), т.е. для молодых PSR магнитодипольные потери не являются единственными потерями - для PSR в Крабе $n = 2.51 \pm 0.01$, для PSR J 0540-6919 $n = 2.080$, для PSR J1513-5908 $n = 2.837 \pm 0.01$, для PSR J 1119-6127, $n = 2.91 \pm 0.05$, и для PSR в Vela n даже принимает значение 1.4, однако надо иметь ввиду, что этот пульсар подвержен действию сильных "глитчев" (внезапных скачков периода) [10]. Если значение n значительно меньше 3 и эволюция пульсара продолжается длительное время, тогда различие между реальным (кинематическим) и характеристическим возрастом пульсара будет увеличиваться с ростом периода.

В работах [11,12] впервые объяснили малые значения n для молодых пульсаров дополнительным действием силы торможения, вызванным механизмом

пропеллера и затем в [7] предположили, что распределения всех пульсаров на диаграмме $P - \dot{P}$ можно объяснить совместным действием магнитодипольного и аккрецирующего fall-back (или пропеллеровского) механизмов.

Согласно этой модели, эволюционные треки пульсаров на диаграмме $P - \dot{P}$ описывается уравнением:

$$\dot{P} = aP^{-1} + bP^3 \quad (1)$$

где a – постоянная зависящая от напряженности магнитного поля НЗ и b – другая постоянная, зависящая от скорости аккреции вещества на НЗ. Первый член в уравнение описывает эффект магнито-дипольного торможения, а второй действие

механизма пропеллера. На рис.1 построена $P - \dot{P}$ диаграмма, используя расстояния из [13]. Прямые линии показывают ход эволюции PSR на диаграмме с постоянным характеристическим возрастом

($\tau = P/2\dot{P}$) при действии только магнито-дипольного механизма торможения пульсара в вакууме: пунктирные линии, это эволюция с постоянным магнитным полем (описываемым первым членом уравнения (1)), пунктирная кривая описывает эволюцию PSR при совместном действии магнито-дипольного и пропеллеровского механизма торможения, описываемую уравнением (1). При построении этих кривых были выбраны следующие параметры для определения коэффициентов a и b : $B_1 = 2 \cdot 10^{12} G$, $B_1 = 2 \cdot 10^{13} G$ для чисто магнито-дипольного механизма и $B_1 = 2 \cdot 10^{12} G$,

$\dot{M} = 10^{11} \text{ г/сек}$ и $B_1 = 2 \cdot 10^{13} G$ и $\dot{M} = 10^{11} \text{ г/сек}$. Для малых периодов, согласно модели [7] эти линии совпадают с линиями чистого МД механизма. Согласно [14] излучение нейтрино от PSR и магнито-дипольное излучение сверхтекучих нейтронов, соответственно, также приводят к трекам подобным, описываемым моделью [7] (т.е. диполь + пропеллер моделью).

Как видно из рисунка, до достижения некоторого периода, пульсар эволюционирует вдоль диполь-доминирующего трека, а после достижения некоторого минимального \dot{P} , чисто дипольный и комбинированный диполь + пропеллер треки резко расходятся независимо от величины дополнительного торможения.

Производная периода в последнем случае изменяется по закону $\dot{P} \propto P^3$. Это расхождение также отражает тот факт, что после окончания диполь-доминантной фазы, возраста, предсказываемые моделью [7] и характеристические возрасты (который, как известно, определяется чисто магнито-дипольным торможением) следует различным путем, как это ясно видно из Рис.1. Поэтому мы можем предложить тест для проверки

модели [7] сравнивая возраста, предсказываемые этой моделью с реальным возрастом PSR.

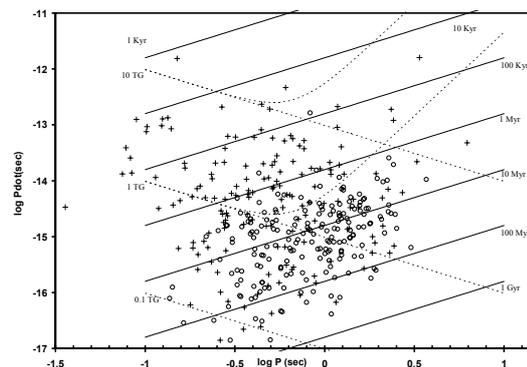


Рис.1. $P - \dot{P}$ диаграммы для пульсаров с расстояниями менее 5 кпк. Прямые линии ход эволюции с постоянным характеристическим временем, пунктирные линии эволюция при действии чисто магнитодипольного механизма, пунктирные кривые эволюция PSR согласно модели [7]. Обозначения см. в текст.

3. ВЫБОРКА ПУЛЬСАРОВ.

В последние годы количество наблюдаемых пульсаров значительно возросло. Недавно появилась новая версия каталога пульсаров [9]. Для проведения этого теста, однако, мы не будем использовать все имеющиеся данные, а только те из них, которые наиболее надежны и точны. Ниже мы объясним методику отбора пульсаров для проведения тестовой проверки модели [7].

а. Кинематический возраст пульсаров

Реальный возраст пульсара, это кинематический возраст, который не зависит от эволюционных моделей: кинематический возраст пропорционален расстоянию пульсара от галактической плоскости. Средняя пространственная скорость пульсаров $\sim 300 \text{ км/сек}$, которую он получает в результате асимметрии взрыва СН [15,16]. Обладая такой большой скоростью, пульсар может достичь значительного удаления от галактической плоскости. С увеличением возраста пульсара растет и расстояние PSR от галактической плоскости в зависимости от Z-компоненты его пространственной скорости. Поскольку пространственная скорость пульсаров сравнима со скоростью отрыва от Галактики в окрестности Солнца и возраст рассматриваемых PSR не может быть более 10^7 лет , практически должна существовать линейная зависимость между реальным возрастом и расстоянием от галактической плоскости. Важно отметить, что нахождение реальных возрастов пульсаров, используя кинематические возрасты, по сути дела есть статистический метод и не может быть применен для нахождения реальных возрастов отдельных PSR.

Итак, диполь + пропеллер модель может быть протестирована путем сравнения возрастов предсказываемых этой моделью с кинематическим

возрастом. Согласно диполь-пропеллеровой модели старые пульсары должны быть расположены в правой

верхней части диаграммы $P-\dot{P}$ и эти пульсары должны быть вдали от галактической плоскости, т.е. их кинематический возраст должен быть большим.

Чтобы проверить это, мы построили $P-\dot{P}$ диаграмму, используя расстояния из [13]. (Рис 1.) Согласно комбинированной диполь + пропеллер модели максимальные возрасты пульсаров при совместном действии этих механизмов оценивается из выражения $t_{\max} = 2\pi\tau/2 = 7 \cdot 10^7 \dot{M}_{10}^{-1/2} B_{\perp,12}^{-1}$ год [7]. Причем время нахождения в последней пропеллеровой фазе эволюции проходит очень быстро $\dot{P} \sim P^3$ и равно $\sim 1/3 t_{\max}$. Подставляя выбранные нами параметры B, \dot{M} получим, что $t_{\max} \sim 3 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^6$ лет и следовательно возрасты пульсаров находящихся на пропеллеровской стадии $\sim 10^5 - 10^6$ лет. При средней скорости ~ 300 км/сек пульсары с возрастaми меньше 10^5 лет могут удалиться от места своего рождения по $|Z|$ не более 100 пк, а в течение $\sim 10^6$ лет, на $|Z| \geq 300$ пк. Поэтому в нашей выборке мы (в отличие от [17]) ограничились с пульсарaми $|Z| < 100$ пк, которые на рис.1 обозначены знаком +, а пульсары $|Z| \geq 300$ пк открытыми кружками, где $|Z|$ - модуль расстояния PSR от галактической плоскости. Пульсары с $100 \text{ пк} < |Z| < 300 \text{ пк}$ нами были исключены из рассмотрения, для того чтобы различие в возрастах были явно выраженным.

б. Места рождения пульсаров

В целом, места рождения пульсаров очень близки к галактической плоскости. Средняя шкала высоты в момент рождения ~ 60 пк, подобно средней шкале высоты O и ранних B звезд. Однако, во внешних частях Галактики, в некоторых местах области звездообразования значительно отклоняются от геометрической плоскости Галактики. Оптические наблюдения цефеид с высокой светимостью и красных гигантов, расположенных на расстояниях $\sim 5-10$ кпк от Солнца в направлении $l \approx 200^\circ - 300^\circ$ показывает, что области звездообразования локализованы на ~ 300 пк ниже галактической плоскости, а в направлении $l \approx 270^\circ - 300^\circ$ локализация областей звездообразования на ~ 150 пк ниже геометрической плоскости Галактики [17]. В дополнение к этому гигантские HII области локализованы на $\sim 100-200$ пк выше галактической плоскости в направлении $l \approx 70^\circ - 80^\circ$ при расстоянии 3-5 кпк. [18]. Эти отклонения областей звездообразования от галактической плоскости сильно влияют на кинематические возрасты молодых PSR. Поэтому PSR расположенные в этих отклоняющихся от геометрической плоскости Галактики частях звездообразования нами не были включены в выборку. На рис.1 мы также не включили PSR на расстояниях более 5 кпк от Солнца ввиду большой неадекватности в определении расстояния до них.

4. СРАВНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ВОЗРАСТОВ

Как видно из Рис.1 вдоль (слева направо) трека диполь + пропеллер расстояние PSR от галактической плоскости сначала растет, а затем уменьшается, если исключить небольшое число PSR, которые локализованы выше линии постоянного $\tau = 10^5$ лет и имеют одинаковый возраст. Отметим, что для PSR с $\tau < 10^5$ лет различие между значениями τ и возрастом, предсказываемым моделью [7] очень незначительно, и более того в течение столь малого времени PSR не может значительно удалиться от места своего рождения, так что кинематический возраст, найденный для таких PSR не реален. Это указывает на то, что кинематический возраст сначала растет, а затем начинает падать, что не согласуется с моделью пропеллера. Поэтому, диполь+пропеллер модель не может адекватно описать эволюцию PSR на $P-\dot{P}$ диаграмме.

Возрасты, предсказываемые чисто магнитно-дипольным механизмом излучения находятся в лучшем согласии с кинематическими возрастaми (см. Рис.1). Имеется только несколько PSR с характеристическими возрастaми меньше чем 10^6 лет и выше 400 пк от плоскости, Они могут быть связаны с их местами рождения, лежащими вдали от галактической плоскости (прародителями их могут быть убегающие звезды) и/или их скорости (т.е. компонента пространственной скорости перпендикулярная к плоскости Галактики) большие.

Мы также рассмотрели, как изменяется значение $|Z|$ (без исключения PSR с $200 \text{ пк} < |Z| < 400 \text{ пк}$) от точки близкой к минимальной точке на треке предсказываемой моделью [7] в направлении увеличения значения магнитного поля. Естественно, результат такой же: $|Z|$ уменьшается в направлении увеличения значения магнитного поля.

В дополнении к вышеизложенному, можно привести еще некоторые аргументы, которые не подтверждает реализацию аккрецирующей fall-back или пропеллеровской модели.

Недавно получено подтверждения генетической связи пульсаров PSR J 1726-3560 ($P = 1.11$ сек и $\dot{P} = 1.22 \cdot 10^{-12}$ сек/сек, $d = 10$ кпк) и PSR J 1632-4818 ($P = 0.813$ сек, $\dot{P} = 6.5 \cdot 10^{-13}$ сек/сек, $d = 8.6$ кпк) с остатками G 352.2-0.1 и G 336.1-0.2 соответственно [19].

По положению этих пульсаров на диаграмме $P-\dot{P}$ модель [7] предсказывает для них возраст $> 2.4 \cdot 10^5$ лет. Известно, что в целом возрастa SNR вряд ли больше 10^5 лет. Учитывая, что эти два остатка расположены в плоскости и в направлении на галактический центр их возраст должен быть ниже возрастa OCH, расположенных в направлении на антицентр. Учитывая большой радиотон в направлении на центр Галактики при малых широтах, чтобы быть наблюдаемым, они должны иметь большие поверхностные яркости, т.е. эти остатки должны быть относительно молодыми и их возрастa явно ниже, чем 10^5 лет. Модель [7] предсказывает в

пропеллер-доминантной части трека большие изменения \dot{P} , т.е. величина второй производной периода должна быть большой. Это обстоятельство должно было бы существенно увеличить шансы измерения \ddot{P} для наблюдателей (большие \dot{P} и \ddot{P}). Однако более чем 40 летние наблюдения показывают, что в этой части диаграммы значения \ddot{P} для пульсаров не столь значительны, чтобы быть наблюдаемыми. Это обстоятельство также противоречит предсказаниям пропеллеровской модели.

Наконец, согласно этой модели, у пульсаров с $P > 1$ сек и $\dot{P} > 10^{-14}$ сек/сек не должны наблюдаться "глитчи", поскольку их возрасты должны быть больше 10^7 лет. Однако наблюдения у них "глитчев"-характерных признаков молодости пульсаров, прямо указывают на то, что эти объекты являются молодыми, что также противоречит предсказаниям модели [7].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью проверки работоспособности модели, предложенной в работе [7], рассмотрено эволюционное поведение пульсаров на $P - \dot{P}$ диаграмме. Опираясь на данные каталога [13] проведена тестовая проверка путем сравнения возрастов PSR предсказываемых пропеллер + диполь моделью с реальными (кинематическими) возрастными пульсаров. Показано наличие резкого противоречия между ними, откуда следует, что модель пропеллера вряд ли реально работает для PSR. Более того, эволюция пульсаров на диаграмме $P - \dot{P}$, как это видно из их возрастного распределения, подчинено чисто магнитодипольному механизму без привлечения дополнительных эффектов воздействия на ход эволюции при P больше 0.3 сек.

-
- [1]. Kaspi V.M., Gavriil F.P and Woods P.M., IAUC, 2002,7926.
- [2]. Kaspi V.M., Gavriil F.P IAUC, 2002,7924.
- [3]. Gavriil F.P, and Woods P.M., astro-ph/0209202
- [4]. Thompson C. and Duncan R.C., MNRAS, 1995, 275, 255.
- [5]. Chatterjee P., Hernquist L. and Narayan R., Astron. J., 2000, 534,373.
- [6]. Guseinov O.H., Yazgan E., Ankey A. and Tagieva S.O., Int.J.Mod. Phys.D, 2003,12,1
- [7]. Alpar M.A., Ankey A. and Yazgan E., Astrophys. J., 2001, 557, 61.
- [8]. Istomin Ya.N., Astron. Astrophys., 1994, 267, 629.
- [9]. ATNF Pulsar Catalogue, (<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>), 2003.
- [10]. Lyne A.G., Pritchard R.S., Graham-Smith F, and Camillo F., Nature, 1996, 381, 497.
- [11]. Menon K., Perna R. and Hernquist L., Astrophys.J., 2001, 554, L63.
- [12]. Marsden D., Lingenfelter R.E. and Rotshild R., Astrophys.J., 2001, 547, L45.
- [13]. Guseinov O.H., Yerli S.K., Ozkan S., Sezer A. and Tagieva S.O., Int.J.Mod.Phys.D, 2004, in press
- [14]. Huang Q.H., Lingenfelter R.E., Peng Q.H. and Huang K.L., Astron. and Astrophys., 1982, 107, 258.
- [15]. Allakhverdiev A.O., Guseinov O.H., Tagieva S.O. and Yusifov I.M., Astr.Rep., 1997, 41, 257
- [16]. Hansen B.M.S. and Pinney E.S., MNRAS, 1997, 291, 569.
- [17]. Berdnikov L.N., Astron. Lett., 1987, 13, 110/
- [18]. Тагиева С.О., Int.J.Mod. Phys.D, 2004, 13, 1719
- [19]. Conti P.S. and Crowther P.A. astro-ph/0307635, 2003/
- [20]. Manchester R.N., Bell J.F. and Camillo F. et.al., Neutron Stars in Supernova Remnants, ASP Conference Series 271, eds. Slane P.O. and Gaensler B.M., 2002, p.31.