

Семантическая интерпретация отношений признаков – свойство в астрометрических наблюдениях пульсаров

© А.Е. Авраменко

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория ФИАН
avr@prao.ru

Аннотация

Выявлены принципиальные ограничения существующих методов отождествления фундаментальных свойств пульсарного времени. Предложена параметрическая модель наблюдательных данных, которая связывает численные интервалы пульсарного времени с наблюдаемым периодом когерентного излучения пульсаров. Показано, что выявляемые параметрической моделью метрические свойства пульсарного времени на несколько порядков превосходят оценки по традиционным моделям, правомерны для любых наблюдательных систем в пространстве и приближаются к пределам собственной стабильности вращения пульсаров. Приведены примеры отождествления свойств пульсарного времени и физических свойств межзвездной среды по наблюдениям пульсаров В1937+21 и В1855+09.

1 Введение

Предметом семантики являются знаки и значения. Ее суть – понимание определенных знаков, последовательностей символов, отождествляемых с некоторыми физическими свойствами объектов реального мира. Связывание наблюдаемых признаков с интерпретируемыми свойствами объектов достигается методами семантического анализа путем выявления концептуальных, сущностных отношений между ними. Результатом такого анализа должно быть, насколько возможно, полное и достоверное представление о наблюдаемом объекте в понятиях рассматриваемой предметной области, доступное для интерпретации по запросам из приложения. Будем рассматривать эти общие схемы семантических отношений применительно к особенностям отождествления свойств пульсаров по наблюдательным данным. Вначале кратко остановимся на свойствах пульсаров как физических объектов и рассмотрим особенности наблюдательных данных, сопоставляемых с физическими свойствами пульса-

ров. Выделим ограничения существующих методов отождествления, затем рассмотрим и систематизируем новые подходы и возможности.

1.1 Свойства пульсаров

Пульсары – массивные, очень компактные намагниченные нейтронные звезды – галактические объекты, были обнаружены в 1967 году [1]. Излучаемая пульсарами энергия регистрируется в наблюдениях в виде импульсов с периодом вращения пульсара вокруг собственной оси [2]. Для разных пульсаров период составляет от рекордно короткого значения около 1,6 мс [3] до нескольких секунд.

Пульсар, обладающий огромным магнитным полем (напряженность на поверхности около 10^8 Тл для секундных и около 10^4 Тл для миллисекундных пульсаров), может быть представлен в виде магнитного диполя, вращающегося с угловой частотой $\Omega = 2\pi / P$. Излучаемая мощность приводит к постепенному замедлению вращения нейтронной звезды за счет уменьшения энергии вращения. Скорость потерь энергии вращения, в зависимости от момента инерции θ , периода вращения и его производной, составляет приблизительно $10^{23} - 10^{26}$ Вт [4]. Верхнее значение примерно соответствует мощности, излучаемой Солнцем за счет ядерных реакций. Потери энергии определяют изменение угловой частоты вращения звезды.

Благодаря высокостабильной повторяемости импульсов излучения пульсара, их последовательность обладает свойствами пространственной и временной когерентности. Это означает, что события излучения пульсара, наблюдаемые в любой точке пространства, привязаны к фазе периодических (во времени) и волновых (в пространстве) процессов, которая определяется только и исключительно периодом вращения пульсара. В этом случае последовательность наблюдаемых событий излучения пульсаров обнаруживает свойство метрического эталона времени в каждой точке пространства, что в свою очередь позволяет, путем сопоставления с физическими процессами, протекающими в реальном мире, выявить и определить их собственные пространственно-временные метрические характеристики.

Таким образом, нейтронные звезды, как источники уникального когерентного излучения, пульсирующего в каждой точке галактического пространства, располагающие неисчерпаемыми энергетиче-

Труды 12^й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2010, Казань, Россия, 2010

скими ресурсами, представляют интерес как объекты, с помощью которых могут быть обнаружены и подтверждены универсальные закономерности 4-мерной метрики физического мира.

1.2 Особенности наблюдений пульсаров

Измерение пульсарного времени, связываемого с событием излучения импульса, основано на динамической модели движения небесных тел, которая определяет их пространственные координаты как функции независимой переменной – времени, сопоставляемого с наблюдаемыми моментами прихода импульсов (МПИ) пульсара. Для измерений в движущейся системе отсчета наблюдателя используется векторное уравнение разности моментов прихода импульсов пульсара в неподвижную точку – барицентр Солнечной системы – и в точку наблюдения – фазовый центр радиотелескопа, движущийся относительно барицентра [5]:

$$c(t_{obs} - t_B) = -(k \cdot b) + \frac{1}{2R} [k \times b]^2 + \Delta t_{rel} + \Delta t_{DM}, \quad (1.1)$$

где k – единичный барицентрический вектор в направлении на пульсар, b – радиус-вектор радиотелескопа, Δt_{rel} – поправка, обусловленная релятивистскими эффектами, Δt_{DM} – задержка распространения излучаемого сигнала в межзвездной среде, R – расстояние до пульсара.

Обычно топоцентрические МПИ, полученные по наблюдениям в координатной системе радиотелескопа, трансформируются в инерциальную барицентрическую систему, в которой производится их дальнейшая обработка применительно к задачам приложений. Моменты импульсов в барицентрической системе отсчета определяются уравнением, описывающим вращательную фазу импульсов пульсара в зависимости от периода и его производной [6]:

$$t_N = t_0 + P_0 N + 0,5 P_0 \dot{P} N^2, \quad (1.2)$$

где t_N – момент N -го события в барицентре, отсчитываемый от некоторого начального момента t_0 , P_0, \dot{P} – период вращения пульсара в начальный момент и его производная.

Как следует из уравнений (1) и (2), моменты событий, наблюдаемых в разных системах отсчета, описываются разными моделями. Моменты событий в этих системах определяются с помощью вычислительных процедур с использованием планетарных эфемерид JPL-DE200 или JPL-DE405 [7]. Координатной системе радиотелескопа, в которой измерены топоцентрические моменты, отведена транзитная роль. Все интерпретации наблюдательных данных и оценки результатов в приложениях делаются с привязкой к инерциальной барицентрической системе отсчета.

1.3 Отождествление свойств пульсаров

Отношения между наблюдаемыми признаками пульсара и его физическими характеристиками выявляются по выборочно наблюдаемым событиям. Как следует из уравнения (1.1), наблюдаемые моменты относятся к выбранным случайным образом событиям и определяются положением наблюдателя и пульсара на данную эпоху наблюдений. Никаких признаков когерентности процессов излучения пульсаров они не несут, равно как нет их и не может быть в выборочных, изолированно рассматриваемых наблюдательных данных.

Вращательная модель (1.2) оперирует значениями периода и его производной, которые предполагаются априори известными. Но поскольку они известны лишь предположительно, то соотношение (1.2) используется преимущественно для расчетных целей, тогда как наблюдательные данные в барицентрической системе определены следующими набором величин:

- моменты импульсов в барицентре Солнечной системы;
- остаточные уклонения (ОУ) как разность между расчетными и наблюдаемыми моментами;
- среднеквадратичное отклонение (СКО) остаточных уклонений.

Оцениваемые по остаточным уклонениям характеристики пульсарного времени, не связываемые непосредственно с параметрами вращения пульсара, уступают приблизительно 3 порядка в стабильности атомным эталонам времени, по которым измеряются и отсчитываются моменты пульсарных событий. Степень расхождения настолько велика, что отождествляемые по принятым правилам свойства пульсаров оказываются весьма далекими от своих реальных характеристик, так что под сомнением оказывается сама возможность достижения поставленных целей в принципе [9].

Как показано в [8], для того чтобы определить пульсарное время по остаточным уклонениям, нужно знать численные величины параметров, которые должны одинаково точно и предсказывать моменты, и соответствовать результатам наблюдений. Однако эти условия практически невыполнимы, так как получить абсолютно точные значения предсказываемых величин, равно как и значения наблюдаемых параметров, не представляется возможным.

В этой связи проблема надежного отождествления свойств пульсарного времени приобретает принципиальное значение. Интерпретации, основанные на неполных данных или не вполне соответствующих сущностным отношениям моделях, могут привести к необоснованным заключениям, которые не позволяют приблизиться к ожидаемому результату. Возникает необходимость объяснить, каким образом были обоснованы те или иные заключения, по каким правилам были получены оценки. Должны быть рассмотрены альтернативные модели объектов, наблюдаемых процессов, определены согласо-

ванные методы извлечения и оценок их свойств [10].

Далее перейдем к детальному анализу отношений, связывающих свойства пульсарного времени с наблюдаемыми величинами, и определим условия, при которых отождествляемые по результатам наблюдений характеристики пульсарного времени приближаются к значениям, которые определяются собственной стабильностью вращения пульсара.

2 Параметры вращения в моделях наблюдательных данных

2.1 Концепция когерентности в моделях данных

По остаточным отклонениям, которые представляют собой разность расчетных и наблюдаемых барицентрических моментов, невозможно получить численное значение периода вращения пульсара, которое объединяло бы всю последовательность излучаемых событий, поэтому нельзя напрямую связать остаточные отклонения с характеристиками стабильности пульсарного времени. Параметры вращения пульсара в барицентрических данных приводятся из каталога, без связи с результатами текущих наблюдений.

Если же в модель пульсарных данных вместо остаточных отклонений ввести абсолютные значения интервалов между наблюдаемыми пульсарными событиями, то пульсарное время можно представить в следующем виде:

$$PT = PT(P)_{\text{ког}} + \frac{1}{P_0} \int_0^t \Delta P(t) dt. \quad (2.1)$$

Пульсарное время PT (*Pulsar Time*) содержит два компонента: когерентную последовательность интервалов $PT(P)_{\text{ког}}$, которая задается стабильным периодом вращения пульсара, и текущее отклонение пульсарного времени, которое находится интегрированием текущей величины вариаций периода вращения $\Delta P(t)$ в пределах выбранного промежутка наблюдений.

Для того чтобы по наблюдательным данным можно было получить последовательность интервалов пульсарного времени, обладающих свойством когерентности, должны быть выполнены следующие условия:

1. интервалы пульсарного времени должны определяться через параметры вращения пульсара – период и его производную;

2. численные значения параметров вращения пульсара и их вариации должны быть получены непосредственно по результатам наблюдений.

По когерентной модели в явном виде определяется стабильный период вращения пульсара, вариации наблюдаемого периода и по ним – отклонения интервалов пульсарного времени в пределах выделенного промежутка наблюдений.

Таким образом, рассматриваемая модель (2.1) оперирует абсолютными величинами интервалов пульсарного времени, которые определяются по

наблюдаемому периоду вращения пульсара. Она не требует использования остаточных отклонений и смешанных – расчетных и наблюдательных – типов данных для отождествления свойств пульсарного времени.

2.2 Параметрическая модель наблюдаемых интервалов

Выполнение перечисленных условий когерентности в реализации модели пульсарного времени достигается решением обратной задачи – по выборочным наблюдаемым событиям требуется определить согласованную пару значений наблюдаемого периода вращения пульсара и его производной P_0, \dot{P} . Искомые значения параметров вращения определяются как постоянные величины в пределах промежутка, ограниченного фиксированным начальным и последним текущим наблюдаемыми событиями. При расширении промежутка последующими наблюдениями значения P_0, \dot{P} уточняются в новых границах после каждого наблюдения. При таких условиях единственным источником, по которому устанавливаются значения наблюдаемых параметров P_0, \dot{P} , являются полученные по наблюдениям моменты пульсарных событий.

Обратная задача решается методом синтеза интервалов пульсарного времени [13]. С этой целью моменты выборочно наблюдаемых пульсарных событий сначала преобразуются в последовательность интервалов, отсчитываемых от выбранного начального события, и по ним находятся наблюдаемые параметры вращения пульсара. Численные величины параметров вращения находятся линейным приближением наблюдаемых и синтезированных по модели (1.2) интервалов путем вписывания искомых значений P_0, \dot{P} по критерию наименьших квадратов. В результате барицентрические интервалы PT_i приводятся к параметрическому виду и определяются вариации наблюдаемого периода:

$$PT_i = (1 + \alpha_i)(P_0^* N + 0,5P_0^* \dot{P} N^2)_i, \quad (2.2)$$

где $(1 + \alpha_i)$ – коэффициент линейного приближения интервалов; P_0^* – значение периода на начальную эпоху наблюдений.

По величине коэффициента $(1 + \alpha_i)$ уточняется значение наблюдаемого периода в пределах промежутка наблюдений, отсчитываемого от выбранного начала:

$$P_0 = (1 + \alpha_i)P_0^*. \quad (2.3)$$

Как следует из (2.2), когерентный компонент пульсарного времени, соответствующий условию ($\alpha_i = 0$), с учетом (2.1) определяется в виде

$$PT(P)_{\text{ког}} = (P_0^* N + 0,5P_0^* \dot{P} N^2). \quad (2.4)$$

Из (2.2) следует, что по интервалам выборочно наблюдаемых пульсарных событий с помощью параметрической модели линейным приближением определены значения параметров вращения пульсара – период и его производная P_0, \dot{P} , по которым синтезируется пульсарное время PT_N в абсолютном исчислении для всех событий излучения пульсара в пределах промежутка наблюдений:

$$PT_N = P_0 N + 0,5 P_0 \dot{P} N^2. \quad (2.5)$$

Выражение (2.5) представляет собой решение прямой задачи пульсарного времени, с помощью которого по наблюдаемым параметрам вращения определяются интервалы пульсарного времени для всех излученных импульсов пульсара. По этим параметрам, которые получены исключительно по наблюдательным данным в пределах текущего промежутка, с помощью выражения (2.5) определяются интервалы пульсарного времени для всех событий излучения, независимо, наблюдались они или нет. При вычислении интервалов учитываются выявленные параметрической моделью (2.2) вариации наблюдаемого периода, которые численно определены значениями коэффициента линейного приближения $(1 + \alpha_i)$.

Таким образом, с помощью параметрической модели интервалов пульсарного времени получены согласованные численные величины наблюдаемого периода вращения пульсара и его производной, которые определяют последовательность интервалов пульсарного времени в пределах промежутка наблюдений. Линейным параметрическим приближением наблюдаемых интервалов выявляются величина и вариации наблюдаемого периода, по которым определяются основные свойства пульсарного времени.

2.3 Отождествление свойств пульсарного времени

Процесс отождествления заключается в определении свойств пульсарного времени по наблюдаемым параметрам вращения пульсара. С помощью линейного приближения наблюдаемых интервалов находятся стабильные параметры вращения пульсара P_0^* и \dot{P} , и по ним в соответствии с (2.4) получаем последовательность наблюдаемых интервалов с когерентными свойствами, а также отклонение наблюдаемого периода в i -м интервале относительно j -го интервала, которое определяется разностью коэффициентов линейного приближения в этих интервалах:

$$\Delta P_i = \bar{P}(\alpha_i - \alpha_j), \quad (2.6)$$

где $\bar{P} = P_0 + 0,5 \dot{P} \cdot PT_i$ – среднее значение периода в промежутке от верхней границы i -го интервала до верхней границы j -го интервала. Отклонение пульсарного времени в этом промежутке имеет вид

$$\Delta PT_i = \Delta P_i (N_i - N_j),$$

где $(N_i - N_j)$ – общее число излученных пульсарных событий в этом промежутке. Или, с учетом (2.6):

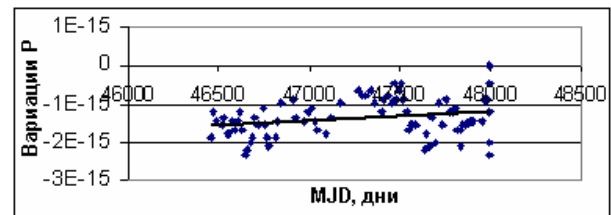
$$\Delta PT_i = \bar{P}(\alpha_i - \alpha_j)(N_i - N_j). \quad (2.7)$$

Относительное отклонение периода в рассматриваемом промежутке в соответствии с (2.6) получаем из выражения

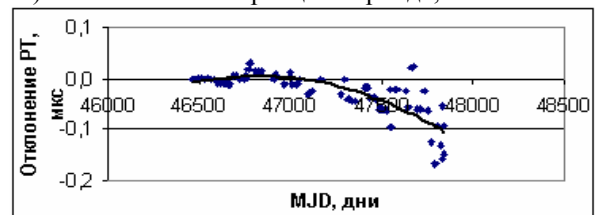
$$\Delta P_i / \bar{P} = (\alpha_i - \alpha_j). \quad (2.8)$$

Сравнивая выражения (2.7) и (2.8) параметрической модели с обобщенным соотношением (1.3), следует отметить их взаимное соответствие. Разность коэффициентов линейного приближения в (2.8) соответствует отклонению наблюдаемого периода в пределах выделенного промежутка в (1.3), а показанное в (1.3) интегрирование текущей величины вариаций периода вращения $\Delta P(t)$ реализуется в (2.7) перемножением отклонения наблюдаемого периода в пределах промежутка наблюдений на число излученных импульсов пульсара в этом промежутке. В параметрической модели вместо интегрирования в вычислениях используется линейная интерполяция наблюдаемых величин в пределах выделенных промежутков, что не приводит к значимым погрешностям, учитывая, что отклонения периода, как и интервалов, на много порядков меньше их абсолютных величин.

Таким образом, параметрическая модель пульсарного времени позволяет по данным наблюдений получить абсолютные величины интервалов, наблюдаемого периода и найти их отклонения. Относительные отклонения периода и обусловленные ими абсолютные отклонения интервалов могут быть получены, в соответствии с (2.7) и (2.8) в любом выделенном промежутке, в зависимости от выбранных значений i, j ($i > j$). Если принять $i=0$, то отклонения будут определены от начального события во всем промежутке наблюдений.



а) относительные вариации периода;



б) отклонение интервалов пульсарного времени

Рис. 2.1. Вариации периода и отклонение интервалов пульсарного времени PSR B1855+09

В качестве примера на рис. 2.1 приведены относительные вариации периода и отклонение интервалов миллисекундного пульсара B1855+09 (период около 5,36 мс), полученные по наблюдательным данным Аресибо [11] методом линейного приближения интервалов [13].

Отметим высокую стабильность периода вращения пульсара B1855+09 (рис. 2.1а). Вариации наблюдаемого периода – порядка 10^{-15} – соответствуют предельно достижимым характеристикам атомных эталонов. Разница, однако, в том, что такая стабильность у пульсара сохраняется в пределах всего промежутка протяженностью в несколько лет, тогда как у хранителей атомного времени такая величина достижима только на относительно коротких промежутках от нескольких часов до нескольких дней. Поэтому, принимая во внимание долговременную стабильность пульсара, можно предположить, что систематическая составляющая, обнаруживаемая на рис. 2.1б в отклонениях пульсарного времени, вычисленных по соотношению (2.7), может быть отождествлена с отклонением атомного времени, выявленным по более стабильному пульсарному времени. Такое предположение проверяется наблюдением еще одного или нескольких пульсаров на том же инструменте.

Таким образом, по параметрической вращательной модели наблюдаемых интервалов (2.2) получены основные зависимости, которые связывают отождествляемые свойства пульсаров с наблюдаемыми величинами параметров вращения пульсара. Эти результаты позволили коренным образом изменить сложившиеся в традиционных подходах представления об отождествляемых свойствах пульсаров.

Применение рассматриваемых здесь методов к полученным ранее архивным наблюдательным данным позволили на несколько порядков улучшить точность отождествления физических свойств, приблизив их к характеристикам, которые определяются долговременной стабильностью собственного вращения пульсаров.

3 Пульсарное время в координатных системах

3.1 Инвариантность модели в координатных системах

Принципиально важным шагом в расширении функциональных возможностей модели наблюдательных данных стало распространение параметрической модели интервалов пульсарного времени не только на инерциальную барицентрическую систему отсчета, но и на произвольно выбранные системы. Как показано в [12], все физические процессы, протекающие в этих системах при одинаковых условиях, тождественны, и, следовательно, уравнения процессов, полученные для одной системы, справедливы и для любой другой координатной системы отсчета.

Применительно к рассматриваемой задаче это означает, что уравнения пульсарного времени (2.2), (2.4) имеют одинаковый вид, а значение наблюдаемого периода вращения пульсара, его вариации и обусловленные ими значения интервалов пульсарного времени, а также их отклонения – одинаковы как в инерциальной барицентрической, так и в произвольно выбранной топоцентрической координатных системах:

$$PT_{B_i} = (1 + \alpha_i)(P_0^* N_B + 0,5P_0^* \dot{P} N_B^2)_i, \quad (3.1)$$

$$PT_{T_i} = (1 + \alpha_i)(P_0^* N_T + 0,5P_0^* \dot{P} N_T^2)_i, \quad (3.2)$$

где PT_{B_i}, PT_{T_i} – барицентрические и топоцентрические интервалы соответственно; N_B, N_T – порядковый номер излученного импульса пульсара в барицентрической и топоцентрической системах отсчета.

Наблюдения подтверждают тождественность вращательной модели интервалов пульсарного времени и численное совпадение наблюдаемых параметров вращения пульсара как в инерциальной, так и в произвольно выбранных координатных системах отсчета, что было показано на примере миллисекундного пульсара B1937+21 [14].

Эти важные свойства параметрической модели открывают новые возможности пульсаров в отождествлении тонких физических эффектов, проявляемых по изменениям наблюдаемых параметров вращения пульсара, благодаря высокой чувствительности модели даже к слабым изменениям свойств среды, в которой распространяется сигнал излучения пульсара.

Далее в качестве примера рассмотрим обнаруженную по аномальному поведению наблюдаемого периода вращения пульсара несогласованность расчетного значения меры дисперсии межзвездной среды, а также покажем, каким образом с помощью параметрической модели интервалов пульсарного времени достигается согласованное соотношение этих величин.

3.2 Пульсарное время и межзвездная среда

В вариациях наблюдаемого периода миллисекундного пульсара B1937+21, как было отмечено в [14], обнаруживается систематическая составляющая в виде линейного тренда, который не вписывается в барицентрическую вращательную модель интервалов. Известно, что по остаточным отклонениям для этого пульсара B1937+21 было обнаружено монотонное уменьшение меры дисперсии около 0,001 пк·см⁻³/год [11], влияющее на частотно-зависимую задержку распространения сигнала излучения пульсара в межзвездной среде. Обнаруженное уменьшение меры дисперсии коррелирует с линейным трендом наблюдаемого периода вращения, который выявлен с помощью параметрической модели пульсарного времени.

Мера дисперсии учитывается при регистрации излучения пульсара в топоцентрической системе, а

также при подгонке остаточных уклонений в барицентрической системе, где кроме периода вращения и меры дисперсии, учитываются и другие параметры, что не позволяет выделить и определить зависимость только этих двух.

В топоцентрической системе при определении моментов наблюдаемых событий в явном виде учитываются только два параметра: мера дисперсии и период вращения пульсара, тогда как остальные уже учтены в уравнении (1.1) и эфемеридах.

Следовательно, для того чтобы убедиться в численном соответствии меры дисперсии и наблюдаемого периода вращения пульсара, нужно по наблюдениям в топоцентрической системе определить параметры вращения пульсара, далее по параметрической зависимости наблюдаемых интервалов сопоставить их с расчетными значениями меры дисперсии и проверить согласованность обеих величин.

Мера дисперсии в направлении на пульсар B1937+21 в работе [11] определялась, исходя из частотной зависимости вызванного ею запаздывания сигнала, по разности фаз импульса пульсара, наблюдаемого на двух существенно разнесенных частотах f_1 и f_2 . Отклонение меры дисперсии рассчитывалось по соотношению:

$$\Delta DM = 2,41 \times 10^{-16} \left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{\nu} \right) \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)^{-1}, \quad (3.3)$$

где ϕ_1 и ϕ_2 – вычисленные вращательные фазы на частотах f_1 и f_2 соответственно, ν – частота, P – период вращения пульсара, $\nu = 1/P$.

Сопоставляя разность фаз, измеренную на двух частотах с помощью (3.3), и отклонения наблюдаемых интервалов, вычисленные по параметрической модели (2.7), получаем их связь с отклонениями меры дисперсии:

$$\Delta DM = 2,41 \cdot 10^{-16} (1/f_2^2 - 1/f_1^2)^{-1} \alpha' (PT)^2 \quad (3.4)$$

Здесь $\Delta PT = \Delta \alpha(t) \cdot PT = \alpha' \cdot (PT)^2$, α' – производная наблюдаемого периода.

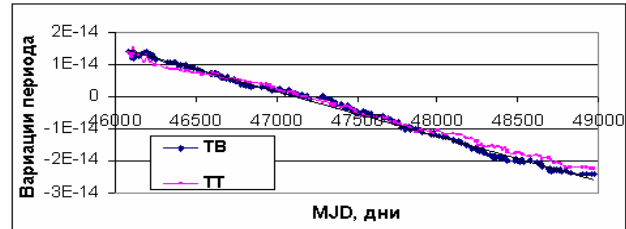
Сопоставлением отклонений наблюдаемого периода B1937+21 и меры дисперсии получены согласованные их значения, которые соответствуют параметрической модели интервалов пульсарного времени и не противоречат физическим характеристикам пульсара. На графиках рис. 3.1а показаны вариации периода, наблюдаемого в топоцентрической (ТТ) и барицентрической (ТВ) координатных системах. Видно, что разница между ними пренебрежимо мала, и значения производной α' практически совпадают в обеих системах.

На рис. 3.1б показан линейный тренд меры дисперсии с наклоном 0,001 пк·см⁻³/год в 8-летнем промежутке [11]. Здесь же приведена поправка меры дисперсии, полученная по двухчастотным наблюдениям в соответствии с (3.2), а также суммарная величина меры дисперсии, согласующаяся с наблюдаемым периодом вращения пульсара.

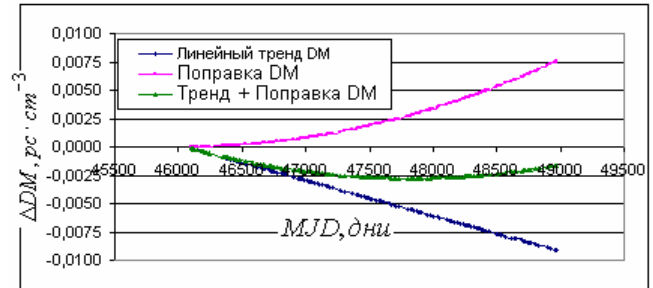
Коррекция расчетного значения меры дисперсии на величину отклонения, определяемого по пара-

метрической модели пульсарного времени, исключает линейный тренд, вариации наблюдаемого периода приводятся к стационарному виду (рис. 3.2в) в том же диапазоне величин порядка 10⁻¹⁵, что и у пульсара B1855+09 (рис. 2.1а).

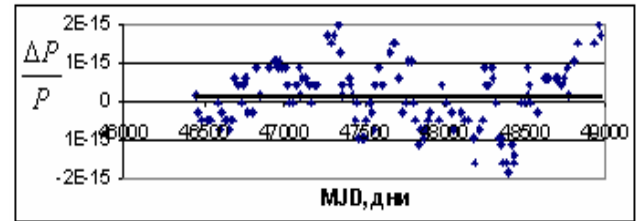
Таким образом, по параметрической модели интервалов и наблюдениям в топоцентрической системе отсчета получена зависимость изменения меры дисперсии, которая согласуется с наблюдаемыми параметрами вращения пульсара B1937+21 в пределах промежутка наблюдений.



а) вариации наблюдаемого периода;



б) отклонения и поправки меры дисперсии;



в) вариации наблюдаемого периода после коррекции меры дисперсии

Рис. 3.1. Параметрическая согласованность меры дисперсии и периода вращения PSR B1937+21

Заключение

В работе проанализированы методы отождествления свойств пульсарного времени по астрометрическим наблюдательным данным. Показано, что ограничения существующих моделей пульсарных данных, основанных на оценках остаточных уклонений, не позволяют по наблюдениям нейтронных звезд приблизиться к характеристикам, которые определяются собственной стабильностью их вращения.

Благодаря переходу от статистической разностной модели барицентрических данных к параметрической модели, получен непрерывный ряд интервалов пульсарного времени, которые определены величиной наблюдаемого периода вращения пульсара

и его производной. Параметрическая модель интервалов пульсарного времени обнаруживает присущее пульсару свойство когерентности периодического излучения, представляет интервалы пульсарного времени в абсолютном исчислении в пределах промежутка наблюдаемого и определяет величину наблюдаемого периода вращения пульсара с такой точностью, при которой характеристики стабильности пульсарного времени приближаются к потенциально достижимым.

Применение параметрической модели к архивным данным позволило приблизительно на 3 порядка снизить присущие традиционной модели случайные статистические ошибки, которые ранее были выявлены по остаточным отклонениям. По вариациям наблюдаемого периода отклонения интервалов пульсарного времени отождествлены с отклонением атомного эталона, по которому в наблюдениях отсчитывалось пульсарное время.

Распространение параметрической модели интервалов пульсарного времени с инерциальной барицентрической системы отсчета на произвольно выбранные топоцентрические системы позволило уточнить физические свойства межзвездной среды в направлении распространения когерентного излучения пульсара к наблюдателю.

Таким образом, благодаря семантической интерпретации наблюдаемых признаков пульсаров, выявлению и моделированию существенных отношений пульсарного времени и параметров вращения пульсара, показано, что нейтронные звезды действительно обладают свойствами, которые определяют их исключительную роль в 4-мерной метрике физического мира.

Литература

- [1] Hewish A., Bell S.J., Pilkington J.D.H., Collins R.A. Observation of a rapidly pulsated radio source // *Nature*. – 1968. – V. 217. – P. 709-713.
- [2] Смит Ф.Г. Пульсары. Пер. с англ. под ред. А.Д. Кузьмина. – М.: Мир, 1979. – 267 с.
- [3] Backer D.C., Kulkarni Sh.R., Heiles C., Davis M.M., Goss W.M. A millisecond pulsar // *Nature*. – 1982. – V. 300. – P. 615-618.
- [4] Camilo F., Nice D.J. Timing parameters of 29 pulsars // *Astrophys. J.* – 1995. – V. 445. – P. 756-761.
- [5] Murray C.A. Vectorial astrometry. – Adam Hilger, Bristol, 1983.
- [6] Doroshenko O.V., Kopeikin S.M. High-precision pulse timing for single pulsars // *Sov. Astron.* – 1990. – V. 34, No 5. – P. 496-502.
- [7] Rots A. JPL DE200 and DE405 in FITS. – Barycenter Code. 2001. – <ftp://heasarc.gsfc.nasa.gov/xte/calibdata/clock/bary>.
- [8] Petit G., Tavella P. Pulsars and time scales // *Astron. Astrophys.* – 1996. – V. 308. – P. 290-298.
- [9] Guinot B., Petit J. Atomic time and the rotation of pulsars // *Astron. Astrophys.* – 1991. – V. 248. – P. 292-296.
- [10] Menzies T., Mizuno O., Takagi Y., Kikuno T. Explanation vs performance in data mining: a case study with predicting runaway projects // *J. Software Engineering & Applications*. – 2009. – V. 2. – P. 221-236. – <http://www.SciRP.org/journal/jsea>.
- [11] Kaspi V.M., Taylor J.H., Ryba M.F. High-precision timing of millisecond pulsars. III. Long-term monitoring of PSRs B1885+09 and B1937+21 // *The Astrophysical J.* – 1994. – V. 428. – P. 713-728.
- [12] Логунов А.А. Анри Пуанкаре и теория относительности. – М.: Наука, 2004.
- [13] Авраменко А.Е. Параметрический синтез пульсарного времени // *Измерительная техника*. – 2006. – № 6. – С. 39-44.
- [14] Авраменко А.Е. К инвариантным моделям пульсарных данных в пространственно-временных координатных системах // *Труды RCDL 2009*. – Петрозаводск, 2009. – С. 379-385.

The semantic interpretation of the sign-property relations in the astrometric observations of pulsars

A.E. Avramenko

The essential limitations of existing methods of identifying the fundamental properties of the pulsar time, is revealed. We propose a parametric model of observational data, which relates the numerical intervals of pulsar time with the observed period of the coherent emission of pulsars. It is shown that the achievable metric properties of pulsar time are several orders superior than the estimates obtained by the traditional methods. The explored pulsar time properties are confirmed for any spatial reference system, they are approaching to the inherent rotation stability of pulsars.

There are presented the examples of identifying the pulsar time and interstellar medium properties, which were obtained by the astrometric observations of pulsars B1937+21 and B1855+09.