

Концептуальные модели данных в отождествлении физических свойств пульсаров на вековом масштабе

© А.Е.Авраменко

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория ФИАН

avr@prao.ru

Аннотация

Целью работы является максимальное сближение отождествляемых физических свойств вращающихся нейтронных звезд – пульсаров с данными астрометрических наблюдений. Определены модели пульсарных данных, связывающие интервалы событий излучения пульсара с параметрами вращения. Сопоставлением ретроспективных и актуальных наблюдательных данных показана согласованность параметров вращения в координатных системах в пределах 40-летней истории наблюдений пульсаров, подтверждающая беспрецедентную стабильность периодического излучения пульсаров, на несколько порядков превосходящую достижимые характеристики современных квантовых эталонов времени.

1 Введение

Концептуальная (содержательная) модель предметной области в общем случае включает определенное множество понятий (сущностей), отношений между ними, условий, связывающих понятия и отношения, и законов протекания процессов в ней. Концептуальная модель представляет собой смысловую структуру рассматриваемой предметной области, вместе со свойствами и характеристиками, а также классификацией этих понятий по признакам в данной предметной области.

Проблема концептуализации предметной области приложений с развитием средств и возможностей информационных технологий, становится всё более актуальной, выходит на передний план. Как подчеркивается в [1], несмотря на взрывной рост объемов данных (Big Data), используемых в Semantic Web технологиях, основные вызовы связаны уже не столько с инженерингом – эффективным управлением данными, сколько с исчерпывающей полнотой их содержания, смысла, значения (meaningful) применительно к предметной области. Если, полагаясь на разнообразные возможности современного инженеринга, недооценить или не

учесть всю полноту содержания данных в контексте рассматриваемой предметной области, то есть риск вместо объективного, обоснованного результата получить набор сведений, не всегда соответствующих реальным свойствам физических объектов, «*a bunch of cool tricks*» – по выражению *Michael L. Brodie* [1]. Проблема содержания в равной степени относится к любой предметной области, независимо от технологии реализации или области приложений.

Другие вызовы, сформулированные в [1], отражают в основном проблемы организации и управления большими объемами данных, включая полноту, соответствие, интегрирование данных, определяемых предметной областью приложения. Они в большей степени относятся к инженерингу, чем к семантике данных, будучи по существу технологическим обеспечением главного вызова, связанного с содержанием и смыслом данных.

Рассматриваемая нами предметная область относится к отождествлению кинематических и динамических свойств нейтронных звезд – пульсаров по наблюдаемому радиоизлучению. Пульсары, обладающие огромным магнитным полем около 10^4 – 10^8 Тл, представляют собой вращающиеся магнитные диполи. При массе, сопоставимой с массой Солнца, радиусе около 10 км и периодичности вращения около 1 мсек линейная скорость на поверхности звезды сопоставима со скоростью света, и мы имеем дело с жёсткой механической системой, и устойчивая периодичность излучаемых радиоимпульсов может быть связана только с вращением нейтронных звезд [2]. Наблюдаемые интервалы между импульсами (период излучения) у более чем 1800 известных сейчас пульсаров укладываются в промежуток 1,5мс–8,5 с. Вследствие потерь энергии вращения, скорость которых 10^{23} – 10^{26} Вт приближается к мощности, излучаемой Солнцем, происходит вековое замедление вращения нейтронных звезд с типичным значением производной периода вращения \dot{P} порядка 10^{-15} – 10^{-21} с·с⁻¹[3].

Более детально особенности импульсного излучения пульсара могут быть выявлены по изменениям наблюдаемого периода вращения, которые связаны прежде всего с вековым замедлением. Следует иметь в виду, что при измерениях таких незначительных изменений периода вращения, результаты наблюдений существенно искажены из-за влияния внешних факторов, и эти искажения

обычно на несколько порядков больше, чем истинные тренды характеристик, обусловленные физическими свойствами нейтронных звезд. Все это должно учитываться как в используемых моделях предметной области, так и при отождествлении получаемых по ним результатов.

Смысловая структура предметной области может быть обобщенно представлена в том виде, в каком определен способ представления данных, например, в модели Resource Description Framework (RDF), разработанной консорциумом Всемирной паутины. Применительно к рассматриваемой предметной области ресурсы, отображаемые в виде триплетов типа «Подлежащее—Сказуемое—Дополнение», могут быть выражены с некоторой условностью следующим набором триплетов:

**Пульсар есть вращающаяся нейтронная звезда.*

**Пульсар – это вращающийся магнитный диполь.*

**Пульсары излучают регулярно повторяющиеся радиоимпульсы с периодом 1,5мс-8,5с.*

**Период излучения пульсара определен вращением магнитного диполя.*

**Вращение пульсара постепенно замедляется.*

**События излучения пульсара наблюдаемы в любой точке галактического пространства.*

**Наблюдатель фиксирует моменты событий излучения по часам местного времени.*

**Моменты наблюдаемых событий подвержены влиянию внешних факторов, которые не связаны с вращением звезды.*

В работе рассматриваются подходы к решению проблемы концептуализации предметной области с целью максимального сближения результатов астрометрических наблюдений пульсаров и отождествляемых по ним физических свойств нейтронных звезд методами параметрического моделирования процесса импульсного излучения пульсаров. Модель наблюдательных данных должна отражать основные закономерности, связывающие наблюдаемые признаки событий излучения и соответствующие им численные величины, которые отождествляются с физическими свойствами нейтронных звезд. Важное требование к модели – устойчивость к влиянию внешних факторов на результаты отождествления. Смысловая структура модели пульсарных данных, отражающая понятия и связи между ними, должна быть определена исходя из общих закономерностей протекающих процессов физического мира, которые могут быть распространены в том числе и на физический процесс излучения пульсаров.

В связи с поставленной целью должны быть решены следующие основные задачи:

- 1) Построение параметрических моделей пульсарных данных, инвариантных в выбранных координатных системах наблюдателя;
- 2) Сопоставление параметров вращения по наблюдениям и открытым каталогам на вековом масштабе;

- 3) Обнаружение и контроль согласованности отождествляемых параметров вращения по физически значимым критериям.

2 Параметрическая модель наблюдательных пульсарных данных

Будем рассматривать импульсное излучение пульсара как физический процесс, наблюдаемый в любой точке трехмерного пространства. В общем виде все физические процессы могут быть выражены средствами специальной теории относительности, в равной мере распространяемой на все явления физического мира, протекающие в 4-мерном пространстве-времени. Именно к этим условиям будем адаптировать модели рассматриваемой здесь предметной области и на их основе решать задачи выявления устойчивых отношений наблюдаемых признаков и отождествляемых по ним физических свойств вращающихся нейтронных звезд.

2.1 Принцип относительности в наблюдениях физических процессов

Остановимся кратко на основных этапах эволюции представлений о метрике пространства-времени, которые имеют непосредственное отношение к физическим явлениям, протекающим в пространстве и во времени [4].

В III в. до н.э. на основе наблюдательных данных и практического опыта возникла геометрия трехмерного пространства – евклидова геометрия. При преобразовании координат из одной декартовой системы x, y, z к другой x', y', z' квадрат расстояния между точками остается неизменным, то есть инвариантным:

$$l^2 = x^2 + y^2 + z^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2, \quad (1)$$

тогда как проекции на оси координат таковыми не являются.

Галилей, на основе открытого им закона инерции, сформулировал в XVII веке принцип относительности применительно к системе координат, движущейся относительно неподвижной с постоянной скоростью \vec{v} , заключающийся в том, что форма уравнений механики сохраняется, то есть они остаются форминвариантными, в любой инерциальной системе отсчета:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t. \quad (2)$$

Преобразования (2) получили название галилеевых. Здесь \vec{r}' – радиус-вектор движущейся со скоростью \vec{v} точки, положение которой выражается в декартовых координатах следующим образом:

$$X' = X - vT, \quad Y' = Y, \quad Z' = Z. \quad (3)$$

Преобразования Галилея (2), однако, сохраняют свое значение только когда скорости малы по сравнению со скоростью света.

Развивая принцип относительности Галилея, А.Пуанкаре в начале XX века распространил, без изменения его физической сущности, на все

физические явления. Для этого потребовалось найти такие преобразования координат и времени, при которых уравнения физических процессов оставались бы неизменными (форминвариантными) в движущейся системе отсчета, независимо от скорости.

Г.Лоренц (1904) определил эти преобразования следующим образом:

$$X' = \gamma(X - vT), T' = \gamma\left(T - \frac{v}{c^2}X\right),$$

$$Y' = Y, Z' = Z. \quad (4)$$

Время T' – местное время в координатной системе,

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (5)$$

Здесь c – электродинамическая постоянная.

Преобразования Лоренца (4) относятся к двум инерциальным системам отсчета, в каждой из которых существует своё физическое время.

Пуанкаре (1904) на основе преобразований Лоренца впервые ввел представление о четырехмерности числового ряда физических величин, отображаемых в виде ct, x, y, z . При этом, в соответствии с принципом относительности, сформулированным Пуанкаре, все физические явления можно описывать в системе x', y', z', t' точно таким же образом, как в системе x, y, z, t . Им же был открыт фундаментальный инвариант – четырехмерное пространство-время

$$J = c^2T^2 - X^2 - Y^2 - Z^2, \quad (6)$$

из которого следует существование единого времени T для всех точек трёхмерного пространства. В другой инерциальной системе единое время будет уже другим, оно определяется переменной T' (4).

Обобщая принцип относительности, А.А.Логунов показал (1987), что при переходе от инерциальных к произвольным координатным системам отсчета геометрия четырехмерного пространства-времени не изменяется и сохраняет общий вид метрики (6) для всех физических процессов [5], не исключая, естественно, и процесс периодического излучения пульсаров.

2.2 Принцип относительности в модели наблюдательных пульсарных данных

Распространение принципа относительности также и на неинерциальные, движущиеся ускоренно координатные системы позволило перейти к единой модели моментов событий излучения пульсара, наблюдаемых как в неподвижной инерциальной барицентрической системе, так и в телескопа на Земле, движущейся по орбите вокруг Солнца и вращающейся вокруг своей оси. Обычно моменты наблюдаемых событий в движущейся топоцентрической системе рассчитываются по векторному уравнению [6] и с помощью эфемерид [7], определяющих положение Солнца, Луны и больших планет как функцию независимой переменной –

времени, пересчитываются в барицентр – неподвижную точку Солнечной системы, в которой обычно осуществляется обработка и интерпретация наблюдательных данных. Поскольку векторные уравнения моментов оперируют геометрическими соотношениями, не связанными с параметрами вращения, потребовалось найти эту зависимость в явном виде и на ее основе определить общий вид модели процесса излучения, эквивалентный в координатных системах.

Как было показано в [8], необходимыми условиями распространения соотношения (6) на процесс периодического излучения пульсаров, наблюдаемого в произвольных координатных системах, являются: а) представление моментов наблюдаемых событий в виде нарастающих интервалов, отсчитываемых от некоторого фиксированного начального события, и б) выражение интервалов наблюдаемых событий в виде уравнений, в которых эти интервалы определены через наблюдаемые параметры вращения пульсаров. При выполнении этих условий наблюдаемые параметры вращения, которые являются решениями уравнений интервалов, в любых координатных системах тождественно совпадают.

В качестве переменных в уравнение интервалов введены параметры вращения пульсара – период и его производная. Зная эти величины, нетрудно определить интервал любого произвольно выбранного события излучения. Такое уравнение, как было показано в [9], имеет следующий вид:

$$PT_i = (1 + \alpha_i)(P^*N + 0,5P^*\dot{P}N^2)_i, \quad (7)$$

где P^*, \dot{P} – значение периода вращения пульсара в начальный момент (начальная эпоха наблюдения) и его производная; $(1 + \alpha_i)$ – множитель, учитывающий вариации наблюдаемого периода вращения пульсара в промежутке наблюдений; $i = 0, 1, 2, \dots$ – порядковый номер сеанса наблюдения выбранного события излучения пульсара; N – порядковый номер излученного импульса в i -м сеансе наблюдения, отсчитываемый от начала.

Переменная составляющая наблюдаемого периода в (7) учитывается множителем $(1 + \alpha_i)$, в котором α_i показывает относительную величину отклонения периода в нарастающем промежутке наблюдений, отсчитываемого от начального события. Правая часть выражения (7) определяет местное время для всех точек трехмерного пространства в выбранной системе отсчета в соответствии с метрическим инвариантом (6).

Для каждой выбранной системы отсчета находится последовательность интервалов времени, определяемых параметрами вращения пульсара P^*, \dot{P} . Так, в топоцентрической системе интервалы TT_i в соответствии с (7) выражаются:

$$TT_i = (1 + \alpha_i)(P^*N_T + 0,5P^*\dot{P}N_T^2)_i \quad (8)$$

Аналогичным образом получаем уравнение интервалов TBi в барицентрической системе:

$$TB_i = (1 + \alpha_i)(P^* N_B + 0,5P^* \dot{P} N_B^2)_i \quad (9)$$

В выражениях (8), (9) величины N_{T_i}, N_{B_i} означают общее число событий, излученных в промежутке наблюдений.

В соответствии с моделью (7), величину наблюдаемого периода можно выразить соотношением:

$$P = (1 + \alpha_i)P^*, \quad (10)$$

где α_i выражает текущие вариации наблюдаемого периода P под влиянием внешних факторов:

$$\alpha_i = \Delta P_i / P^*. \quad (11)$$

По известной из наблюдений величине α_i , вычисляются отклонения интервалов, обусловленные вариациями наблюдаемого периода:

$$\Delta PT_i = \alpha_i(P^* N + 0,5P^* \dot{P} N^2)_i \quad (12)$$

На рис.1 в качестве иллюстрации приведены наблюдательные данные для пульсара B1919+21: моменты событий в топоцентрической и барицентрической системах (Рис.1,а)*; интервалы

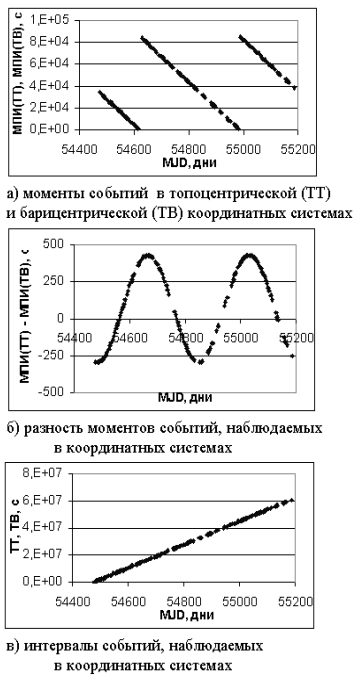


Рис.1 Моменты и интервалы наблюдаемых событий PSR B1919+21

наблюдаемых событий, отсчитываемые от выбранного начального события (Рис.1,в); разность моментов (аналогично и интервалов), обусловленная орбитальным движением радиотелескопа БСА ФИАН (Пушино) относительно барицентра (Рис.1,б).

Инвариантные уравнения (8) и (9) имеют единственное решение, которому удовлетворяют одинаковые в координатных системах значения

численных величин наблюдаемого периода P^* , производной \dot{P} и вариаций периода α_i . Текущие значения свободных переменных N_{T_i}, N_{B_i} в модели данных определяют местное координатное время и, следовательно, тождественность физического процесса излучения пульсаров при наблюдениях в разных координатных системах.

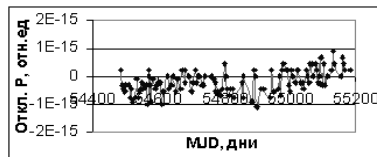
3 Сопоставление параметров вращения по наблюдениям и каталогам

По наблюдениям в двухлетнем промежутке были определены параметры вращения секундных пульсаров B0329+54, B0809+74, B0834+06, J1509+5531, B1919+21, B2217+47 в соответствии с уравнением (8). Были получены значения периода на текущую эпоху наблюдений, однако оставался открытым вопрос, насколько эти значения согласуются с ретроспективными параметрами вращения, внесенными в каталоги пульсаров несколько десятков лет назад. Модель наблюдательных данных позволяет сопоставить параметры вращения – актуальные по текущим наблюдениям и ретроспективные по каталогам, какой бы ни был промежуток времени между ними, и оценить их взаимную согласованность на вековом масштабе.

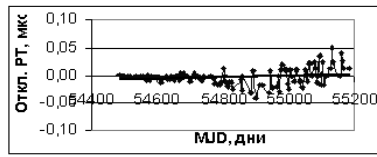
3.1 Параметры вращения на вековом масштабе наблюдений

По наблюдениям на БСА пульсара B1919+21 в соответствии с (7) был определен период вращения $P^*=1,33730279821909$ с на эпоху MJD54477 начального события, а также численные значения вариаций наблюдаемого периода α_i в двухлетнем промежутке (показаны на Рис.2,а). На Рис.2,б приведены вариации интервалов, которые связаны с вариациями периода α_i соотношением (12). Из этих графиков следует, что отклонения наблюдаемого периода относительно фиксированной величины P^* не превышает нескольких единиц 10^{-16} , что на 1-2 порядка лучше, чем у современных атомных эталонов времени. Такая точность достаточна для того, чтобы обнаруживать отклонения наблюдаемых интервалов в диапазоне единиц наносекунд и временным разрешением менее наносекунды ($<10^{-9}$ с). Для сравнения на рис.3,в показаны вариации уклонений барицентрических МПИ, по которым традиционно оценивается их стабильность. Нетрудно заметить, что эти вариации на 5-6 порядков превышают вариации интервалов, которые определены соотношением (12).

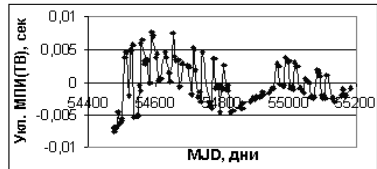
Полученные нами значения параметров вращения наблюдаемых пульсаров были сопоставлены с аналогичными ретроспективными данными, содержащимися в открытых, наиболее распространенных каталогах пульсаров [10,11].



а) вариации наблюдаемого периода



б) вариации интервалов



в) уклонения барицентрических МПИ

Рис.2 Вариации периода, интервалов и МПИ по наблюдениям PSR B1919+21

Для этого численную величину периода вращения, которая указана в каталоге вместе с производной на некоторую фиксированную эпоху в прошлом, были преобразованы с учетом производной к эпохе начального события текущих наблюдений. Приведенные к начальному событию значения периода P определялись из соотношения:

$$P = P_K + \dot{P}(MJD_0 - MJD_K) \cdot 86400, \text{ с} \quad (13)$$

где MJD_0 – эпоха начального наблюдаемого события, выраженная в долях текущих суток (дробная часть) на дату наблюдения (целая часть),

MJD_K – эпоха, на которую определен период P_K по каталогу.

Принимая во внимание приведенные для PSR B1919+21 в каталоге [10] на эпоху $MJD_K = 40689.45$ значения $P_K = 1,337301192269 \text{ с}$, $\dot{P} = 1,34809 \cdot 10^{-15}$, получаем согласно (13) значение периода $P = 1,33730279821909 \text{ с}$ на эпоху начального события $MJD_0 = 54477.39095$.

Сравнивая значения P и P^* , мы видим, что трансформированное значение периода вращения PSR B1919+21 из эпохи 40-летней давности (13.04.1970 г.) совпадает с численной величиной периода вращения, установленного намного более поздними наблюдениями 2008-2009 гг. Следовательно, наблюдаемые параметры вращения пульсара точно так же распространяются без изменения и на другие эпохи, причем, очевидно, не только прошлого, но и прогнозируемого будущего.

3.2 Согласованность параметров вращения пульсаров

Сопоставление параметров вращения пульсаров по наблюдениям на БСА ФИАН и каталогам [10,11] показало, что преобразование (13) на вековом масштабе обнаруживает и подтверждает

согласованность периода вращения пульсара и его производной также и у других наблюдаемых пульсаров B0329+54, B0809+74, B0834+06, J1509+5531, B2217+47. Это означает, что независимо от выбранной текущей эпохи наблюдений, мы продолжаем наблюдать, даже после паузы в несколько десятков лет, все ту же последовательность интервалов, в которой точно воспроизводятся и сохраняются временные соотношения событий периодического излучения, которые определены согласованными на вековом масштабе наблюдаемыми параметрами вращения пульсара.

Тем самым в результате выполненных наблюдений по параметрической модели данных обнаруживается и подтверждается свойство когерентности импульсного излучения нейтронных звезд, суть которого в том, что события излучения пульсаров, наблюдаемые в любой точке галактического пространства и в любой координатной системе, привязаны к фазе периодических (во времени) и волновых (в пространстве) процессов, и это свойство сохраняется на вековом масштабе наблюдений.

Свойство когерентности периодического излучения пульсаров, определяемое согласованностью параметров P^* и \dot{P} , отражено в явном виде соотношением, содержащимся в правых скобках параметрической модели пульсарных данных (7). Отклонение интервалов от когерентного вида, обусловленное внешними факторами, не зависящими от параметров вращения, согласно модели (7) выражается соотношением (12) и определяется по вариациям наблюдаемого периода (11).

Заметим, что воспроизведение интервалов с наносекундной точностью, определяемой согласованными параметрами вращения, потребовало существенного, на 2-3 порядка, расширения формата наблюдаемого периода вращения по сравнению с принятым в каталогах пульсарных данных [10,11]. Соответственно, чтобы поддерживать сопоставимую точность при выполнении преобразований наблюдаемого периода (13) на вековом масштабе, мы должны теперь оперировать и на 2-3 порядка более точным определением эпохи наблюдений, от которой отсчитываются интервалы наблюдаемых событий.

4 Модифицированная модель пульсарных данных

У некоторых пульсаров определяемые моделью (7) по наблюдаемым параметрам вращения P^* и \dot{P} вариации периода и интервалов по величине и форме профиля отклонений не приводятся к виду рис.2,а,б, как у PSR B1919+21. Это потребовало дополнительного выяснения причин такого расхождения и необходимого уточнения модели пульсарных данных (7) по результатам наблюдений.

4.1 Обнаружение второй производной периода

В отличие от PSR B1919+21 и B0809+74, в отклонениях наблюдаемого периода и интервалов PSR B0834+06, J1509+5531, B2217+47, B0329+54 были выявлены четко выраженные тренды, анализ которых показал, что у этих пульсаров они имеют одинаковый вид, что предполагает их общую причину.

На рис.3 в качестве примера приведены полученные по наблюдениям отклонения периода и интервалов PSR B0834+06. Характер отклонений

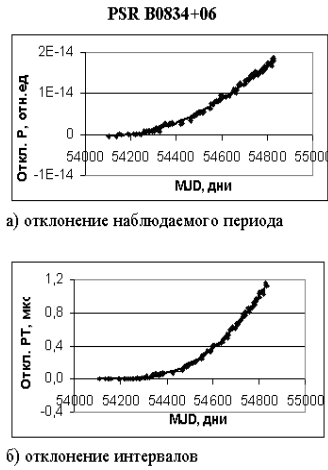


Рис.3 Отклонения периода P и интервалов PT по наблюдениям PSR B0834+06

свидетельствует, что наблюдаемый период, наряду с первой производной, имеет и вторую производную, которая в модели наблюдаемых интервалов (7) не учтена, но обнаруживается ею по наблюдательным данным.

Характер аппроксимирующих полиномов свидетельствует, что вторая производная периода \ddot{P} есть величина постоянная, а первая производная линейно зависит от эпохи наблюдения PT :

$$\dot{P} = \dot{P}_0 + \ddot{P} \cdot PT, \quad (14)$$

где \dot{P}_0 – значение первой производной на эпоху начального наблюдаемого события. Подстановкой выражения (14) в (7) получаем модифицированную модель интервалов с учетом \ddot{P} :

$$PT_i = (1 + \alpha_i)(P^* N + 0,5P^* \dot{P}_0 N^2 + 0,5P^* \ddot{P} \cdot PT \cdot N^2)_i$$

По модифицированной модели интервалов были определены значения второй производной периода PSR B0834+06, J1509+5531, B2217+47, B0329+54. В результате отклонения наблюдаемого периода и интервалов были приведены к тому же диапазону величин, что и у пульсара B1919+21 (Рис.2,а,б).

4.2 Согласованность периода вращения и производных в модели пульсарных данных

Вторая производная, связанная с первой соотношением (14), не нарушает фазовую стабильность и, следовательно, свойство когерентности процесса периодического излучения пульсаров.

Между тем, при сравнении численных величин \ddot{P} , найденных по наблюдениям на БСА и содержащихся в каталоге ATNF [11], где они определены по остаточным уклонениям МПИ, обнаруживаются аномальные, вплоть до 3 и более порядков, расхождения.

Чтобы убедиться в достоверности полученных из наблюдений на БСА величин второй производной, будем оценивать их по показателю торможения (braking index) n , который связывает все три параметра вращения P , \dot{P} и \ddot{P} соотношениями классической электродинамики для излучения магнитного диполя, коим является пульсар [12]:

$$n = 2 - P\ddot{P} / \dot{P}^2. \quad (15)$$

Величина n , согласно модели излучающего магнитного диполя, положительна и находится в диапазоне $1 < n < 3$ [12]. Тогда, подставляя в выражение (15) полученные нами по параметрической модели величины P , \dot{P} и \ddot{P} , согласованные по критерию когерентности, находим значения n для наблюдаемых пульсаров. В Таблице приведены результаты расчета показателя торможения наблюдаемых на БСА пульсаров в сопоставлении с данными каталога [11].

Таблица. Параметры вращения в показателях торможения пульсаров

PSR	\ddot{P} , с ⁻¹ (БСА)	n (БСА)	\ddot{P} , с ⁻¹ (ATNF)	n (ATNF)
B0809+74	<10 ⁻³¹	2	2,67·10 ⁻²⁸	12200
B1919+21	<10 ⁻³¹	2	1,99·10 ⁻²⁸	- 145
B0834+06	1,1615·10 ⁻²⁹	1,68	8,32·10 ⁻²⁹	4,3
J1509+5531	1,0223·10 ⁻²⁹	1,70	2,82·10 ⁻²⁶	835
B2217+47	4,8815·10 ⁻³⁰	1,65	9,50·10 ⁻²⁸	- 65
B0329+54	1,65·10 ⁻³⁰	1,72	2,59·10 ⁻²⁸	46

Мы видим, что параметры вращения по наблюдениям на БСА определяют значения n таким образом, что они не выходят за пределы диапазона от $1 < n < 2$, тогда как если принять параметр \ddot{P} по каталогу ATNF, то величина n оказывается за пределами указанного диапазона, как по модулю для всех пульсаров, так и по знаку для PSR B1919+21, B2217+47. Поскольку значимых расхождений величин P , \dot{P} , которые могли бы повлиять на диапазон значений n (15), по наблюдениям на БСА и каталогу не обнаруживается, то, следовательно, расхождения величин n обусловлены исключительно второй производной.

Найденные нами по параметрической модели наблюдательных данных значения параметров

вращения, включая вторую производную, согласуются с физическими свойствами пульсаров, тогда как приведенные в каталоге [11] значения \ddot{P} обнаруживают значительные случайные вариации.

Такие аномальные расхождения нельзя объяснить иначе, чем погрешностями методики определения второй производной \ddot{P} по остаточным отклонениям, которая, в отличие от параметрической модели, основанной на согласованности наблюдаемых параметров вращения, на несколько порядков уступает ей в точности.

Заключение

Рассмотрены особенности отождествления физических свойств нейтронных звезд по наблюдаемому импульсному радиоизлучению. Определены параметрические модели пульсарных данных, связывающие наблюдаемые интервалы событий излучения пульсара с периодом вращения. Показана согласованность периода вращения и его производных в пределах 40-летней истории наблюдений пульсаров, что свидетельствует о временной и пространственной когерентности импульсного излучения пульсаров.

Достоверность результатов отождествления достигается благодаря свойствам параметрической модели пульсарных данных, в которой моменты наблюдаемых событий связываются с физическим процессом импульсного излучения, определяемым с наносекундной точностью по наблюдаемому периоду вращения пульсара. Модель, описывающая физический процесс излучения во временной области, инвариантна в координатных системах наблюдателя, имеет единственное решение в виде тождественных значений параметров вращения в любой из них и не подвержена влиянию внешних дестабилизирующих факторов.

Обнаружены устойчивые закономерности в поведении параметров вращения пульсаров, неопровержимо подтверждающие беспрецедентную стабильность импульсного излучения пульсаров, на несколько порядков превосходящую достижимые характеристики современных квантовых эталонов времени на вековом масштабе.

Литература

- [1] Christian Bizer, Peter Boncz, Michael L. Brodie and Orri Erling. The Meaningful Use of Big Data: Four Perspectives – Four Challenges. SIGMOD Record - web edition, vol.40, No.4, Dec.2011. <http://www.sigmod.org/publications/sigmod-record/1112/pdfs/10.report.bizer.pdf>

- [2] Ф.Г.Смит. Пульсары. М., Мир, 1979, с. 11-35.
[3] И.Ф.Малов. Радиопульсары. М., Наука, 2004, стр. 74-88.
[4] А.А.Логунов. Анри Пуанкаре и теория относительности. М., Наука, 2004, с. 5-52.
[5] А.А.Логунов. Лекции по теории относительности и гравитации. Современный анализ проблемы. М., Наука, 1987, стр. 23-52.
[6] C.A. Murray. Vectorial Astrometry. Adam Hilger, Bristol, 1983.
[7] Roots A. JPL DE200 and DE405 in FITS. Barycenter Code. 2001. <ftp://heasarc.gsfc.nasa.gov/xte/calibdata/clock/bary>
[8] А.Е.Авраменко. Форминвариантность метрики координатного пульсарного времени. Измерительная техника. 2009, № 5, с. 40-45.
[9] А.Е. Avramenko. The Observed Rotation Period as an Identifier of the Pulsar Time Properties. In "Pulsars: Theory, Categories and Applications", New York, Nova Publishers, 2010, pp.61-72.
[10] J.H. Taylor, R.N.Manchester and A.G.Lyne. Catalog of 558 Pulsars. The Astrophys. J. Suppl. Ser. **88**, pp. 529-568, 1993.
[11] G.B. Hobbs and R.N.Manchester. The ATNF Pulsar Catalogue V1.43. <http://www.atnf.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat>
[12] A.G. Lyne&F.Graham-Smith. Pulsar Astronomy. Cambridge Astrophys.Ser., Cambridge University Press, pp. 59-62, 2006.

*) Численные данные МПИ(ГТ), МПИ(ГВ), полученные по наблюдениям пульсаров на БСА ФИАН, предоставлены Б.Я.Лосовским.

Conceptual Data Models in the Proper Attribution of Pulsars

Arkady Avramenko

The purpose of this work is to achieve the maximal convergence of identified physical properties of rotating neutron stars (pulsars) with the astrometric observations. The parametric models of pulsar data, linking observed intervals events of the radiation of the pulsar with a period of rotation, are developed. The mapping of the retrospective catalog and observational data shows the consistency of parameters of rotation within the 40-year history of observations of pulsars, confirming the coherence and unprecedented stability of periodic pulsar radiation, by several orders of magnitude greater than the achievable characteristics of modern quantum time-frequency standards.