

# К инвариантным моделям пульсарных данных в пространственно-временных координатных системах\*

© А.Е.Авраменко

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория ФИАН

avr@prao.ru

## Аннотация

Показана тождественность параметрической модели пульсарных данных в инерциальной – неподвижной и произвольно выбранных – движущихся вместе с Землей координатных системах наблюдений. Определена связь параметрической модели пульсарных данных и уравнений физических процессов импульсного излучения пульсаров в координатных системах. Форматы пульсарных данных приведены к единому виду во всех системах отсчета.

По параметрической модели выявлена численная эквивалентность наблюдаемых параметров вращения пульсара в координатных системах, подтверждающая их беспрецедентную стабильность. На ретроспективных данных показаны новые, перспективные возможности пульсаров в изучении фундаментальных свойств материи и решении актуальных прикладных задач.

## 1 Введение

Наблюдаемая устойчивая периодичность импульсного излучения пульсаров, практически неисчерпаемая энергетика определили уникальную роль пульсаров в изучении фундаментальных закономерностей метрики пространства-времени, включая непосредственные прецизионные измерения времени, а в перспективе – возможность создания внеземных эталонов времени, которые не уступают в точности и стабильности традиционным атомным часам и обладают абсолютной надежностью в пределах любой протяженности наблюдений.

В общем виде, измерение пульсарного времени основано на динамической модели движения небесных тел Солнечной Системы [7]. Модель определяет эфемериды Луны, планет Солнечной Системы, дающие их пространственные координаты как функции независимой переменной – времени, представляющего собой в этой модели

координатное время. Поскольку координатное время одного и того же наблюдаемого пульсарного события, зависит от расположения телескопа и в разных пунктах наблюдения оно различно, полученные топоцентрические моменты пересчитываются к барицентру Солнечной системы – неподвижной точке, совпадающей с центром масс [4].

Для топоцентрических и барицентрических моментов наблюдаемых пульсарных событий принят формат хранения и обмена данных Принстонского университета, в соответствии с которым сформирован архив наблюдательных пульсарных данных обсерватории Аресибо [9], и де-факто он стал общепринятым международным форматом. Формат включает модифицированную юлианскую дату MJD наблюдаемого пульсарного события (целая часть – сутки и дробная часть суток от их начала в относительном исчислении), остаточные отклонения – отклонения моментов наблюдаемых импульсов от расчетных значений (resid), статистические оценки отклонений СКО (err) и ряд других характеристик, относящихся к радиотелескопу, системе приема и регистрации радиосигналов пульсара, а также собственные параметры пульсара из каталога.

В инерциальной барицентрической системе расчетные моменты импульсов определяются параметрами вращения пульсара – периодом и его производной. Для наблюдаемых моментов используются оценки по остаточным отклонениям и их статистические характеристики – среднеквадратичные отклонения (СКО) [9]. Точность таких оценок оказывается невысокой, и соответствующая им расчетная стабильность пульсарного времени на несколько порядков уступает достижимой стабильности атомных эталонов.

Было показано, что принципиальное, на несколько порядков, улучшение стабильности барицентрического пульсарного времени достигается в результате распространения параметрической расчетной модели также на наблюдательные пульсарные данные [1]. С этой целью интервалы выборочно наблюдаемых пульсарных событий преобразуются с помощью линейного приближения по критерию наименьших квадратов к последовательности интервалов, детерминированных наблюдаемыми параметрами

---

Труды 11<sup>й</sup> Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» - RCDL'2009, Петрозаводск, Россия, 2009.

вращения пульсара. Соотношение наблюдаемых интервалов и их приближений выражается:

$$(1 + \alpha_i)(1 + 0,5\dot{P}N)P_0^*N = \sum_i dTB_i - R_i \quad (1.1)$$

где  $\sum_i dTB_i$  – наблюдаемые в барицентрической системе интервалы от начального до  $i$ -го пульсарного события,  $R_i$  – непараметризуемые вариации наблюдаемых интервалов,  $P_0^*$  – начальный период по существующим оценкам на текущую эпоху,  $(1 + \alpha_i)$  – линейный коэффициент преобразования.

По величине коэффициента  $(1 + \alpha_i)$  уточняется значение наблюдаемого периода и определяются его вариации в пределах промежутка наблюдений:

$$P_0 = (1 + \alpha_i)P_0^* \quad (1.2)$$

В результате соотношение (1.1) приводится к виду:

$$(P_0N + 0,5P_0\dot{P}N^2)_i = \sum_i dTB_i - R_i \quad (1.3)$$

По интервалам пульсарного времени совместно наблюдаемых пульсаров В1937+21 и В1855+09 были получены синхронизирующие поправки атомных часов, с погрешностью, которая не превышает 5-10 нс в 4-летнем промежутке наблюдений [2].

Настоящая работа посвящена интеграции наблюдательных пульсарных данных и их моделей в независимых координатных системах, созданию единой параметрической модели данных для любой произвольно выбранной координатной системы, распространение метрики барицентрического пульсарного времени на универсальную метрику пространства-времени для произвольно выбранных координатных систем отсчета.

## 2 Особенности координатной метрики пульсарного времени

Время, определяемое с помощью эфемерид, относится к выбранной координатной системе отсчета. Международный астрономический союз в 1991 году определил условия реализации в Солнечной системе невращающейся барицентрической системы координат. Пространственные координаты этой системы выбираются таким образом, чтобы в этой системе, центр которой совмещен с барицентром системы масс, собственное время минимально отличалось от рассчитанного в соответствии с метрикой общей теории относительности, с учетом ньютоновского гравитационного потенциала для рассматриваемых систем масс. Кроме барицентрической системы, оси которой располагаются в центре масс Солнечной системы, используются также локальная геоцентрическая система, оси которой располагаются в центре масс Земли. Измерения на

радиотелескопе выполняются в координатной системе, вращающейся вместе с Землей. В качестве барицентрической системы по международному соглашению используется *международная небесная опорная система координат* (ICRF), которая содержит список прямых восхождений и склонений около 600 квазаров, опубликованных Международной Службой Вращения Земли (IERS). В качестве геоцентрической системы принята *международная земная опорная система координат* (ITRF). Она включает в себя список координат для фиксированной опорной даты и скоростей примерно для 200 пунктов на Земле. ITRF также устанавливается службой IERS [7].

Переход к параметрической модели наблюдаемых интервалов пульсарных событий позволил на несколько порядков снизить уровень случайных вариаций барицентрического пульсарного времени [1]. Выявленные моделью характеристики пульсаров подтверждают возможность воспроизведения высокостабильного периодического процесса, который может быть сопоставлен с традиционным атомным эталоном. Задача заключается в том, чтобы на основе принципа эквивалентности локальных и динамических измерений времени в произвольно выбранной системе пространственно-временных координат, трансформировать удаленный динамический процесс воспроизведения пульсарного времени из инерциальной барицентрической системы в любую другую, совместить его с локальным процессом измерения с использованием физического эталона в выбранной системе, и определить достижимые метрические характеристики пульсарного времени в этой системе.

## 3 Инвариантность координатного пульсарного времени

### 3.1 Параметрические условия инвариантности

Используемый здесь подход основан на неизменности (форминвариантности) уравнений физических процессов в координатных системах отсчета, что имеет следствием неизменность наблюдаемых в них интервалов в 4-мерном пространстве событий, определяемом псевдоевклидовой геометрией пространства-времени, или пространством Минковского. Это свойство метрики пространства-времени, обычно принято относить только к инерциальным системам, однако в более поздних работах [5,6] было показано, что свойство псевдоевклидовой геометрии пространства-времени распространяется и на произвольные, неинерциальные системы отсчета. Выражение

$$J = c^2T^2 - X^2 - Y^2 - Z^2 \quad (3.1)$$

определяет, что в любой системе отсчета, инерциальной или произвольно выбранной, в декартовых координатах заданная абсолютная величина  $J$  остается неизменной, тогда как, в зависимости от выбора системы отсчета, проекции  $X, Y, Z, T$  являются относительными величинами (здесь  $c$  – скорость света). Выражение (3.1) в дифференциальной форме принимает вид:

$$(d\sigma)^2 = c^2(dT)^2 - (dX)^2 - (dY)^2 - (dZ)^2 \quad (3.2)$$

Прямым следствием псевдоевклидовой геометрии четырехмерного пространства событий является одновременность, т.е. единое время для всех точек трехмерного пространства данной координатной системы. В другой координатной системе единое время будет другим. Это означает, что трехмерное пространство любой координатной системы отсчета ортогонально линиям времени, и в совокупности они представляют собой четырехмерное пространство с мерой (3.1) и (3.2).

Необходимо отметить, что уравнение вида (1.1), относящееся к барицентрическим интервалам пульсарного времени, применительно к топоцентрической системе отсчета не определено. Считается, что параметрическая зависимость моментов импульсов, выражаемая через период вращения пульсара и его производную, применима только к барицентрической системе отсчета. Поэтому, для приведения дискретного континуума интервалов пульсарных событий, наблюдаемых в топоцентрической координатной системе телескопа, к виду (1.1), требуется показать правомерность расширения области применения этого уравнения, включив в неё, наряду с инерциальной – барицентрической, также и произвольно выбранные – топоцентрические координатные системы отсчета.

### 3.2 Пульсарное время в координатных системах

При решении этой задачи – приведения к инвариантному виду уравнений интервалов пульсарных событий, наблюдаемых в произвольных координатных системах, будем следовать принципу неизменности уравнений физических процессов во всех системах отсчета, сформулированному А.А.Логуновым в [5,6]. Неизменность (форминвариантность) физических уравнений во всех инерциальных системах отсчета означает, что **физические процессы**, протекающие в этих системах при одинаковых условиях, **тождественны**. Именно поэтому все **естественные эталоны** во всех системах отсчета **одинаковы**. Преобразования координат, которые оставляют метрику (3.1) и (3.2) форминвариантной, приводят к тому, что физические явления, происходящие в таких системах координат при одинаковых условиях, никогда не могут позволить отличить одну систему координат от другой. Отсюда можно дать более общую формулировку **принципа относительности**, которая относится уже не только к **инерциальным**

**системам** координат, но и к **неинерциальным** (выделено А.А.Логуновым, [6]):

*«Какую бы физическую систему отсчета мы ни выбрали (инерциальную или неинерциальную), всегда можно указать бесконечную совокупность других систем отсчета, таких, в которых все физические явления протекают одинаково с исходной системой отсчета, так что мы не имеем и не можем иметь никаких экспериментальных возможностей различить, в какой именно системе отсчета из этой бесконечной совокупности мы находимся»*

Из этого факта вытекает несколько основополагающих следствий применительно к наблюдению излучаемых периодических импульсов пульсара:

- инвариантность, т.е. независимость и, следовательно, постоянство *единичного интервала времени*, воспроизводимого измерительным атомным эталоном радиотелескопа, для всех систем отсчета: все естественные эталоны во всех системах отсчета одинаковы [6];
- инвариантность во всех системах отсчета наблюдаемого периода вращения пульсара, отсчитываемого в единицах шкалы измерительного атомного эталона;
- инвариантность во всех системах отсчета наблюдаемых вариаций периода вращения пульсара и обусловленных ими отклонений интервалов пульсарного времени в пределах промежутков, ограниченных одними и теми же наблюдаемыми событиями.

Тогда уравнения для интервалов пульсарного времени  $TB_i$  в инерциальной барицентрической системе и интервалов  $TT_i$  в топоцентрической системе выглядят так:

$$TB_i = (1 + \alpha_i)(P_0 N_B + 0,5 P_0 \dot{P} N_B^2)_i \quad (3.3)$$

$$TT_i = (1 + \alpha_i)(P_0 N_T + 0,5 P_0 \dot{P} N_T^2)_i \quad (3.4)$$

где  $N_B, N_T$  – порядковый номер излученного импульса пульсара в барицентрической (ICRF) и топоцентрической (ITRF) системах, отсчитываемый от начального события, одного и того же, в барицентрической и топоцентрической системах отсчета. Наблюдаемый период определяется выражением (1.2), как в барицентрической, так и топоцентрической системе.

По отклонениям коэффициента линейного приближения  $(1 + \alpha_i)$ , как было показано в [2] применительно к барицентрической системе отсчета, определяются вариации наблюдаемого периода в промежутке, ограниченном двумя произвольно выбранными наблюдаемыми событиями. Если взять два промежутка, отсчитываемых от общего начала и ограниченных соответственно  $i$ -м и  $j$ -м излучаемыми импульсами пульсара ( $i > j$ ), то относительное отклонение наблюдаемого периода вращения пульсара в промежутке между  $i$ -м и  $j$ -м событиями

определяется разностью коэффициентов линейного приближения между ними:

$$\Delta P_i / P_0 = (\alpha_i - \alpha_j) \quad (3.5)$$

Соотношение (3.5) выполняется также и в топоцентрической системе отсчета.

Отклонение интервалов пульсарного времени вследствие непостоянства наблюдаемого периода вращения пульсара в промежутке между  $i$ -м и  $j$ -м событиями совпадает для барицентрической и топоцентрической систем отсчета и определяется выражением:

$$\Delta TB_i = \Delta TT_i = P_0 (\alpha_i - \alpha_j) (N_i - N_j), \quad (3.6)$$

где  $(N_i - N_j)$  – общее число пульсарных событий, излученных в выделенном промежутке.

Таким образом, благодаря распространению модели интервалов пульсарного времени, установленной для инерциальной барицентрической системы, также и на движущиеся топоцентрические системы, интервалы пульсарных событий, наблюдаемые в произвольных координатных системах, отображаются одними и теми же уравнениями (то есть форминвариантно). Интервалы в этих уравнениях определяются одними и теми же параметрами вращения пульсара – наблюдаемым периодом и его производной. Существенно, что и численные значения наблюдаемых параметров вращения пульсара совпадают, какую бы координатную систему мы ни выбрали. То же относится и к наблюдаемым вариациям периода вращения и отклонения интервалов пульсарного времени: их величины однозначно определяются коэффициентами линейного приближения  $(1 + \alpha_i)$ , также инвариантными для барицентрической и топоцентрической систем отсчета в пределах промежутка наблюдений. Отсюда следует важный вывод: в любых произвольно выбранных координатных системах уравнения наблюдаемых интервалов пульсарного времени одинаковы, а величина наблюдаемых интервалов определяется одними и теми же значениями параметров вращения пульсара, не зависящими от выбора координатных систем. Фундаментальное свойство инвариантности уравнений и наблюдаемых величин, выражаемых через наблюдаемые параметры, позволяют перейти от специфических для каждой системы моделей и форматов данных к единому их виду для любых координатных систем.

## 4 Наблюдательные данные в координатных системах

### 4.1 Инвариантность моделей пульсарных данных в координатных системах

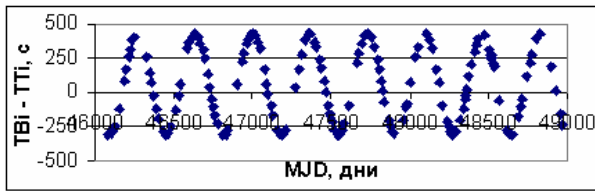
Распространение уравнений барицентрических интервалов на произвольно выбранные неинерциальные системы позволяет перейти к

единой модели наблюдательных пульсарных данных для всех координатных систем. Существующее различие и несовместимость форматов барицентрических и топоцентрических данных Принстонского университета, отражающие специфику принятых моделей наблюдательных данных в топоцентрической и барицентрической системах, ограничивает функциональные возможности и надежность отождествления свойств пульсаров по результатам наблюдений. Отношения наблюдаемых величин, которые в координатных системах определяются численными методами по уравнениям эфемерид Земли и планет Солнечной системы, не поддаются непосредственному сопоставлению и сравнительным оценкам, даже если исходные данные представлены в виде интервалов, наблюдаемых в этих системах, а тем более в виде остаточных уклонений, которые определяются только в барицентрической системе, тогда как в топоцентрической системе они вообще отсутствуют.

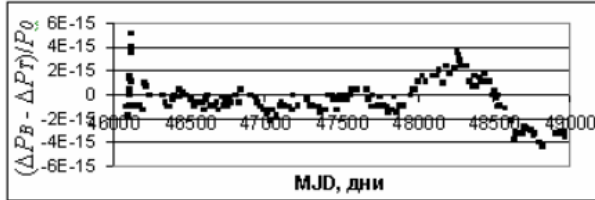
Тождественность уравнений интервалов в координатных системах проиллюстрируем на примере наблюдений миллисекундного пульсара B1937+21. На Рис.4.1(а) приведены результаты сопоставления вариаций периода вращения и отклонений интервалов пульсарного времени в барицентрической и топоцентрической системах отсчета по данным наблюдений этого пульсара в Аресибо [9]. На графике Рис.4.1(а) показана разность интервалов для одних и тех же событий, наблюдаемых в барицентрической и топоцентрической системах отсчета. Интервалы отсчитываются от начального пульсарного события на дату MJD 46053 (19.12.1984г.) в промежутке около 8 лет, ограниченном датой MJD 48970 (14.12.1992г.). Как следует из графика, разность циклически, с периодом обращения Земли вокруг Солнца, изменяется по абсолютной величине в пределах около  $\pm 500$  с, отображая различие координатного времени в двух рассматриваемых системах.

На графике Рис.4.1(б) приведены разностные вариации периода вращения пульсара, вычисленные по параметрическим приближениям интервалов в барицентрической и топоцентрической системах отсчета. Численно они представляют собой выраженную в относительных единицах разность коэффициентов линейного приближения наблюдаемых интервалов в соответствии с (3.5) в барицентрической и топоцентрической системах. На Рис.4.1(в) показаны отклонения интервалов пульсарного времени, которые определены по наблюдаемым параметрам вращения пульсара в барицентрической (по значениям  $TB_i$ ) и топоцентрической (по значениям  $TT_i$ ) системах отсчета, в соответствии с выражениями (3.3) и (3.4), и их средняя величина. На графике Рис.4.1(г) приведена разность отклонений интервалов

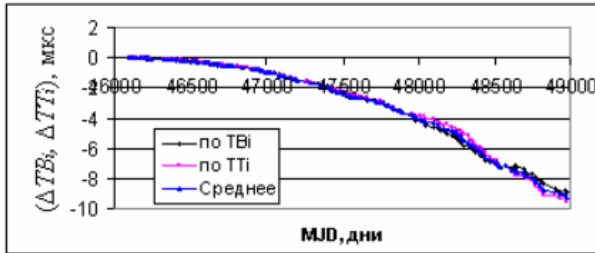
пульсарного времени в барицентрической и топоцентрической системах отсчета.



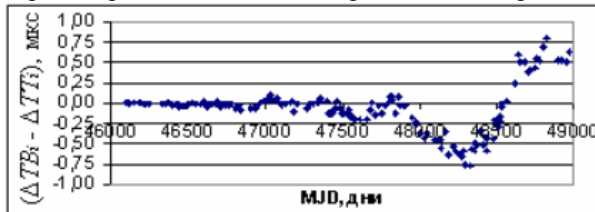
а) разность барицентрических и топоцентрических интервалов



б) разностные вариации периода вращения пульсара



в) отклонения интервалов пульсарного времени по барицентрическим и топоцентрическим интервалам



г) разность отклонений интервалов координатного пульсарного времени

Рис.4.1. Вариации наблюдаемого периода вращения и интервалов пульсарного времени пульсара B1937+21 в координатных системах отсчета.

Приведенное на Рис.4.1 сопоставление результатов наблюдений экспериментально подтверждают правомерность перехода к единой модели пульсарных данных в координатных системах и тождественность полученных с помощью этой модели характеристик координатного пульсарного времени в топоцентрической и барицентрической системах. Действительно, разностные вариации наблюдаемого в обеих системах периода вращения пульсара (Рис.4.1б) не выходят за пределы статистической погрешности измерений [1], а разность отклонений интервалов координатного пульсарного времени (Рис.4.1г) более чем на порядок меньше абсолютных величин отклонений в каждой системе. Это означает, что сравниваемые величины вариаций наблюдаемого периода и отклонения интервалов пульсарного времени по наблюдениям в обеих

координатных системах практически совпадают. Отличия, выраженные разностными вариациями периода и отклонениями интервалов, наблюдаемых в барицентрической и топоцентрической системах отсчета определяются достижимой погрешностью измерительного атомного эталона [2].

Таким образом, по наблюдательным данным экспериментально подтверждена правомерность распространения уравнений барицентрических интервалов пульсарного времени на произвольно выбранные координатные системы отсчета. Благодаря инвариантности уравнений, достигается возможность перехода к единой модели наблюдательных пульсарных данных в любых координатных системах. На основе универсальной параметрической модели данных реализуется надежное сопоставление наблюдаемых величин в различных координатных системах, отождествление по ним физических свойств пульсаров.

#### 4.2 Новые возможности пульсаров в метрике пространства-времени

Обобщая рассмотренные здесь результаты, можно отметить, что преобразование моментов наблюдаемых пульсарных событий в интервалы, отсчитываемые от выбранного начального события; распространение барицентрической модели интервалов, определяемых наблюдаемыми параметрами вращения пульсара, также и на неинерциальную топоцентрическую систему; представление интервалов выборочно наблюдаемых пульсарных событий в виде регуляризованного периодического процесса, детерминированного наблюдаемыми параметрами вращения пульсара – всё это вместе позволило реализовать принципиально новый подход к выявлению роли и возможностей пульсаров в решении фундаментальных проблем метрики пространства-времени. Рассматриваемый подход основан на неизменности физических уравнений в любых, произвольно выбранных координатных системах отсчета. Получены экспериментальные подтверждения правомерности обобщения параметрической модели наблюдаемых барицентрических интервалов пульсарного времени на топоцентрическую систему отсчета. Инвариантные свойства интервалов пульсарного времени в координатных системах открывают новые возможности построения шкал пульсарного времени в движущихся системах отсчета с точностью, не уступающей сопоставляемым с ними измерительным атомным эталонам.

Уникальность физического процесса излучения энергии пульсара состоит в том, что, во-первых, одни и те же события, связанные с излучением пульсара, можно наблюдать в любой точке пространства, ограниченного, например, только пределами Солнечной системы. Во-вторых, излучение энергии пульсара имеет выраженный периодический характер, процесс излучения локализуется в любой произвольно выбранной

координатной системе пространства в виде регулярно повторяющихся интервалов. И, наконец, в-третьих, высокостабильная повторяемость импульсов излучения пульсара позволяет производить сравнение интервалов пульсарного времени с физическим эталоном атомного времени с целью их синхронизации. Тем самым в любой выбранной координатной системе достигается совмещение локального времени атомных часов и координатного пульсарного времени, основанного на динамической модели движения небесных тел и наблюдениях удаленного физического явления – излучения периодических импульсов пульсара.

Инвариантность уравнений физических процессов излучения импульсов и совпадающие характеристики вариаций параметров вращения пульсара, наблюдаемые в произвольно выбранных координатных системах, определяют эквивалентность применяемых методов и получаемых результатов отождествления свойств пульсаров в этих системах. Так, полученные по результатам совместных наблюдений пульсаров B1937+21 и B1855+09 совпадающие профили изменений наблюдаемых величин периода вращения пульсаров и отклонений интервалов пульсарного времени в барицентрической системе [2] были экспериментально подтверждены аналогичными характеристиками периода вращения и интервалов пульсарного времени, наблюдаемых в движущейся топоцентрической координатной системе. Тем самым, независимо по наблюдениям в любой выбранной координатной системе, реализуются шкалы координатного времени на основе физического эталона, который синхронизирован по пульсарному времени, локализованному в выбранной координатной системе.

## 5 Об инвариантности форматов данных в координатных системах

В основу форматов наблюдательных пульсарных данных положены форматы обмена данными Принстонского университета [3]. В топоцентрической координатной системе исходными являются моменты пульсарных событий, наблюдаемых на указанную модифицированную юлианскую дату MJD. Дробная часть даты (13 десятичных разрядов) представляет собой относительную безразмерную величину, численно равную части суток, отсчитываемой от их начала на дату наблюдения (целая часть). В барицентрической системе координат моменты пульсарных событий представляются в такой же форме, с той лишь разницей, что дробная часть, сильно редуцированная, содержит не 13, а всего 4 десятичных разряда. В формат барицентрических данных, кроме моментов наблюдаемых событий, включены остаточных уклонений (OU) – отклонения моментов импульсов от расчетных значений в абсолютном исчислении, а также

статистические оценки моментов наблюдаемых событий – среднеквадратичные отклонения, которые приняты одинаковыми для топоцентрической и барицентрической координатных систем.

Принстонский формат недостаточен для преобразования наблюдательных данных к параметрическому виду расчетной модели, так как он не содержит компонентов, отражающих связь наблюдаемых величин с параметрами вращения пульсара и не содержит в явном виде наблюдаемых интервалов, отсчитываемых от выбранного начального события.

Была проведена необходимая модификация формата. Для преобразования топоцентрических данных в интервалы пульсарного времени дробная часть даты пересчитывается из относительной безразмерной величины в измеряемое время, выраженное в его единицах. По этим данным формируется последовательность наблюдаемых интервалов, а по ним – суммарные интервалы каждого наблюдаемого события относительно начального события. Исходные наблюдательные данные, кроме моментов наблюдаемых событий в пределах суток на дату наблюдения, в каждой координатной системе дополняются значениями интервалов между соседними наблюдаемыми событиями, а также величинами суммарных интервалов, отсчитываемых от начального до любого другого события, выбранного в пределах промежутка наблюдений [3]. Интервалы пульсарного времени, полученные по выборочным наблюдениям, трансформируются в регуляризованную последовательность интервалов, которые определяются наблюдаемыми параметрами вращения пульсара. Тем самым, трансформированный и расширенный формат пульсарных данных, наряду с исходными моментами наблюдаемых событий, включает параметры вращения пульсара и коэффициенты линейного приближения наблюдаемых интервалов, входящие в уравнения (3.3) и (3.4), которые определяют топоцентрические и барицентрические интервалы пульсарного времени в пределах рассматриваемого промежутка наблюдений.

Таким образом, в результате выполненных преобразований наблюдательные данные в барицентрической и топоцентрической системах приведены к одному и тому же формату, который по структуре параметров отвечает требованиям уравнений (3.3) и (3.4), описывающих физический процесс излучения импульсов пульсара в одинаковом виде в любой выбранной координатной системе. Тем самым реализованы качественно новые возможности пульсаров в изучении фундаментальных физических основ высокоточной метрики 4-мерного пространства-времени и решении актуальных прикладных задач сопоставления пульсарного времени с физическими атомными эталонами с целью формирования высокостабильных координатных шкал времени.

## Заключение

В работе приведены результаты обобщения параметрической модели пульсарных данных для инерциальной барицентрической системы на произвольно выбранные координатные системы, в том числе связанные с движущейся Землей. Были определены требования к представлению наблюдательных данных, которые соответствуют условиям инвариантности уравнений излучения импульсов пульсаров в любой выбранной координатной системе.

Получен общий вид уравнений для интервалов импульсов, наблюдаемых в инерциальной и движущихся координатных системах. Благодаря совпадению значений параметров вращения пульсара, наблюдаемых в любой системе, достигается метрическая совместимость и прямое сопоставление интервалов физического атомного эталона и интервалов пульсарного времени, локализованных в любой координатной системе.

По результатам наблюдений получено экспериментальное подтверждение правомерности обобщения параметрической модели наблюдаемых барицентрических интервалов пульсарного времени на топоцентрическую систему отсчета. На основе инвариантных уравнений и параметрической модели интервалов пульсарного времени реализован единый формат наблюдательных пульсарных данных в координатных системах, который отвечает требованиям надежного выявления присущих пульсарам свойств, определяющих уникальную стабильность наблюдаемых интервалов, с точностью, не достижимой традиционными методами. Применение рассматриваемых здесь методов к полученным ранее архивным наблюдательным данным позволили на несколько порядков улучшить точность отождествляемых характеристик присущей пульсарам долговременной стабильности. Погрешность отождествления ограничивается по существу только предельно достижимыми характеристиками измерительных эталонов.

Таким образом, преимущества параметрической модели пульсарных данных по отношению к традиционной разностной модели, основанной на остаточных уклонениях, проявляются не только в барицентрической системе, но и, в еще большей степени, при переходе к 4-мерной метрике псевдоевклидовой геометрии пространства-времени. Переход к единой параметрической модели наблюдательных пульсарных данных для любых, произвольно выбранных координатных систем, распространение метрики барицентрического пульсарного времени на универсальную метрику пространства-времени раскрывают исключительно важную роль пульсаров в изучении фундаментальных свойств материи и определяют перспективы создания единой системы эталонов времени на основе физических процессов разной природы.

## Литература

- [1] А.Е.Авраменко. Параметрический синтез пульсарного времени. //Измерительная техника, 2006, № 6, 39-44.
- [2] А.Е.Авраменко. Параметрическая стабильность пульсарного времени. //Измерительная техника, 2008, № 7, 32-37.
- [3] А.Е.Авраменко. К согласованному виртуальному и реальному времени в коллекции астрометрических пульсарных данных. //Труды RCDL 2007. Переславль Залесский, 2007, 103-111.
- [4] О.В.Дорошенко. Комплекс программ для фазовых наблюдений пульсаров. Препринт ФИАН. Москва, 1993, № 51.
- [5] Логунов А.А. Лекции по теории относительности. М.: Наука. 2002.
- [6] Логунов А.А. Анри Пуанкаре и теория относительности. М.: Наука. 2004.
- [7] К.Одуан, Б.Гино. Измерение времени. Основы GPS. Пер. с англ. под ред. В.М.Татаренкова. М., ТЕХНОСФЕРА, 2002.
- [8] Guinot B. and Petit J. Atomic Time and the Rotation of Pulsars. //Astron.Astrophys., 1991, 248, 292-296.
- [9] V.M.Kaspi, J.H.Taylor, and M.F.Ryba. High-precision Timing of Millisecond Pulsars. III. Long-term Monitoring of PSRs B1885+09 and B1937+21. //The Astrophysical Journal, 1994, 428, 713-728.
- [10] C.A.Murray. Vectorial Astrometry. Adam Hilger, Bristol, 1983.

## Toward the Invariant Models of Pulsar Data in Spatial-Time Coordinate Systems

A.E.Avramenko

The coincidence of the parametric model of the observed pulsar data in both, inertial barycentric coordinate system, or arbitrary chosen topocentric ones, is shown. The relationship of the parametric pulsar data model and the equations of physical processes of pulsed radiating of the pulsars in coordinate systems, are determined. The formats of the observed pulsar data are modified and transformed into unific, system independent type.

On the parametric model, the numerical equivalence of the observed parameters of rotation of pulsar in any coordinate systems, which confirms unprecedented stability of pulsars, is detected. On the retrospective archive of the observed pulsar data, the new pulsar applications in study of fundamental properties of matter and decision of actual applied problems, are considered.

---

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 06-07-89043