

УДК 524.38-13

## АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВИЗУАЛЬНО-ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД НА 26-ДЮЙМОВОМ РЕФРАКТОРЕ В 2007–2014 ГГ. В ПУЛКОВЕ

© 2016 И. С. Измайлов, Е. А. Рощина\*

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия*

Поступила в редакцию 20.07.2015; принята в печать 26.12.2015

Представлены результаты 15 184 астрометрических наблюдений 322 визуально-двойных звезд, выполненных в 2007–2014 гг. в Пулковской обсерватории. В 2007 г. 26-дюймовый рефрактор ( $F = 10\,413$  мм,  $D = 65$  см) был оснащен ПЗС-камерой FLI ProLine 09000 (поле  $12' \times 12'$ ,  $3056 \times 3056$  пикселей,  $0''.238$  на пиксель). Автоматизация телескопа и установка системы мониторинга погоды позволили существенно увеличить количество наблюдений. В программу наблюдений вошли визуально-двойные и кратные звезды с угловым расстоянием в интервале  $1''.1$ – $78''.6$ , в среднем  $7''.3$ . Результаты детально исследованы на наличие систематических ошибок с помощью калибровочных пар звезд. Зависимость ошибок от температуры, давления и часового угла наблюдения не обнаружена. При вычислениях учтена зависимость масштаба 26-дюймового рефрактора от температуры. Точность измерения одного ПЗС-кадра находится в пределах от  $0''.0005$  до  $0''.289$ , в среднем  $0''.021$  по обеим координатам. Погрешности определения среднегодовых значений углового расстояния и позиционного угла составляют в среднем  $0''.005$  и  $0''.04$  соответственно. Результаты доступны по адресу <http://izmcdd.puldb.ru/vds.htm> и в Страсбургской базе данных CDS. В каталоге представлены расстояния и позиционные углы на ночь наблюдения и среднегодовые, а также даны ошибки этих величин и стандартные отклонения одного наблюдения. Для 50 пар звезд с известными орбитальными решениями приводятся результаты сравнения с эфемеридами.

Ключевые слова: *двойные; визуальные — методы: наблюдательные*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Эта работа продолжает ряд исследований в традиционном для Пулковской обсерватории направлении по наблюдению визуально-двойных и кратных звезд. В конце 1950-х в Пулкове был установлен 26-дюймовый рефрактор Цейсса, представляющий собой длиннофокусный телескоп с фокусным расстоянием 10 413 мм и апертурой 650 мм. В 1960 г. начаты систематические наблюдения визуально-двойных звезд фотографическим методом [1, 2]. В 1996 г. телескоп был оснащен ПЗС-камерой ST-6 ( $372 \times 242$  пикселя, поле  $3' \times 2'$ , масштабы  $0''.46$  и  $0''.53$  на пиксель по обеим координатам), и наблюдения проводились параллельно двумя методами — ПЗС и фотографическим — вплоть до 2007 г., когда была снята последняя фотопластинка.

Хотя точность ПЗС-наблюдений оказалась заметно выше [3], фотографические наблюдения продолжались, пока не закончились запасы

пластинок, снятых к тому времени с производства. Это было продиктовано требованиями однородности ряда относительных положений, необходимых для определения орбит по короткой дуге методом параметров видимого движения [4]. Кроме того, основным недостатком наблюдений, выполненных при помощи камеры ST-6, было сравнительно небольшое поле, которое составляло примерно  $170'' \times 130''$ , что существенно затрудняло калибровку, т. е. определение параметров перехода от измеренных координат к стандартной системе. Также до введения в строй в 2003 г. системы автоматического наведения [5] на одно ПЗС-наблюдение требовалось больше времени, чем на одно фотографическое.

Программа наблюдений визуально-двойных звезд на 26-дюймовом рефракторе в Пулковской обсерватории является приоритетной, ей отводится более половины всего наблюдательного времени. Наблюдения ведутся в течение года; в период «белых ночей» в июне–июле наблюдаются самые яркие звезды программы. С 2003 г. телескоп постепенно модернизировался, был ре-

\*E-mail: [star\\_fox@yandex.ru](mailto:star_fox@yandex.ru)

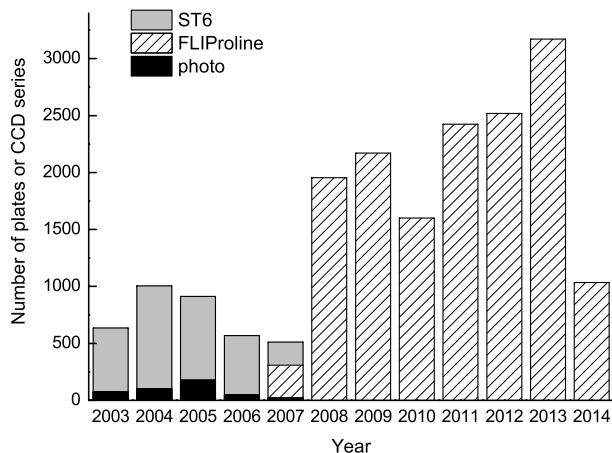


Рис. 1. Количество наблюдений (пластинок и/или серий ПЗС-кадров) по годам до апреля 2014 г.

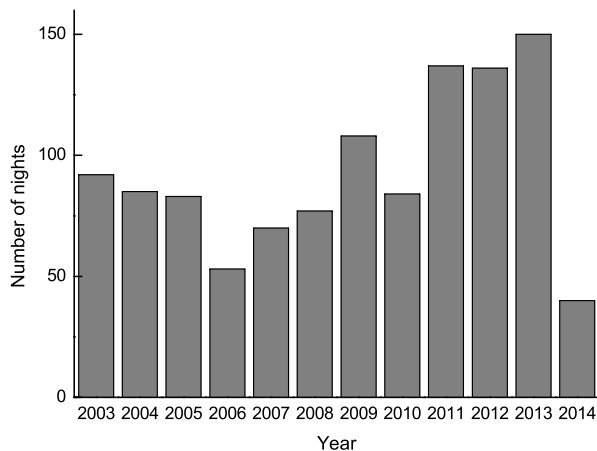


Рис. 2. Количество наблюдательных ночей по годам до апреля 2014 г.

ализован режим удаленного автоматизированного управления. Начиная с 2007 г. используется ПЗС-камера FLI ProLine 09000, которая обладает следующими характеристиками: ПЗС-матрица — Truesense KAF-09000, количество элементов —  $3056 \times 3056$ , размер элемента —  $0.012 \times 0.012$  мм, размер матрицы —  $36.7 \times 36.7$  мм, фотоэлектронная ёмкость (full well capacity) —  $110\,000\text{ e}^-$ ; размер поля при установке камеры в фокусе 26-дюймового рефрактора —  $12'1 \times 12'1$ , масштаб —  $0''.238$  на пиксель по обеим координатам.

На рис. 1 приведена диаграмма распределения числа наблюдений (пластинок или серий ПЗС-кадров) по годам с 2003 г. для фотографических наблюдений и наблюдений с камерами ST-6 и FLI ProLine 09000. Благодаря автоматизации телескопа и установке системы мониторинга облачности<sup>1</sup> возросло количество наблюдательных ночей в год (см. рис. 2).

В разделах 2 и 3 описаны методики наблюдений визуально-двойных звезд, измерений ПЗС-кадров и редукации. Результаты исследования систематических ошибок в зависимости от температуры, давления, часового угла наблюдений и пр. представлены в разделе 4. В разделе 5 подводятся итоги и обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ

В данной работе приводятся результаты наблюдений, выполненных с июля 2007 г. по апрель 2014 г. За 711 ночей было проведено 15 184 наблюдения для 322 звезд. Расстояния между компонентами звезд программы наблюдений [6] — от  $1''.1$  до

$78''.6$ . Яркость звезд программы лежит в диапазоне от  $3^m.5$  до  $12^m$ . Методика наблюдений подробно описана в работе [3]. Наблюдения проводились вблизи от небесного меридиана, чтобы высота наблюдаемого объекта над горизонтом была максимальна. Время экспозиции выбиралось в интервале  $0.01\text{--}45$  с в зависимости от звездной величины. Для каждой звезды снималась серия ПЗС-кадров, число кадров в серии определялось так, чтобы на каждую звезду приходилось не более 5 минут наблюдательного времени, от 5 до 120 кадров в серии в зависимости от времени экспозиции.

## 3. ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Измерения проводились с помощью программного пакета IZMCCD<sup>2</sup>. Для определения центров изображений звезд в качестве модельной функции рассеяния точки применялась функция Лоренца [7]:

$$I(x, y) = \frac{C}{(1 + Ar)^\alpha} + D,$$

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (1 + B)(y - y_0)^2 + E(x - x_0)(y - y_0),$$

где  $I(x, y)$  — отсчет яркости элемента с координатами  $x, y$ ;  $x_0, y_0$  — координаты центра изображения;  $\alpha, A, B, C, D, E$  — параметры модели.

Численные изображения звезд аппроксимировались данной функцией с помощью нелинейного метода наименьших квадратов. Каждому элементу с координатами  $x, y$ , принадлежащему изображению звезды, соответствует одно уравнение в избыточной системе уравнений. Координаты элемента  $x$  и  $y$  принимают только целые значения, соответствующие номеру столбца и строки численной

<sup>1</sup><http://izmccd.puldb.ru/psky.htm>.

<sup>2</sup><http://izmccd.puldb.ru>.

матрицы изображения, а координаты центра  $x_0, y_0$ , вычисленные путем решения системы, получают вещественными. Формальная оценка точности измеренных координат центров изображений по методу наименьших квадратов составила в среднем 0.05 пикселя, или, с учетом масштаба,  $0''.012$ . Для тесных двойных и кратных звезд [8] в качестве модельной функции использовалась сумма двух или более функций  $I_j(x, y)$  со своим набором параметров  $x_{0j}, y_{0j}, \alpha_j, A_j, B_j, C_j, D_j, E_j$  для каждого компонента, где  $j$  — его номер.

В результате измерений определялись положения центров изображений звезд в системе координат ПЗС-матрицы в пикселях. Для преобразования измеренных координат  $x_0, y_0$  в стандартную экваториальную систему  $\xi, \eta$  необходимо выполнить астрометрическую редукцию наблюдений. Поскольку у 26-дюймового рефрактора практически отсутствуют aberrации [9], для редукции достаточно метода шести постоянных [10]. Было исследовано три методики определения постоянных:

1. Перед основной серией кадров с экспозициями, не превышавшими 0.01 с для ярких объектов программы, снимался калибровочный кадр со временем накопления сигнала 10 с. На таких кадрах присутствуют изображения звезд фона до  $16^m$ , что позволяет, используя их как опорные, выполнить стандартную астрометрическую редукцию и определить шесть постоянных. В качестве опорного каталога был взят UCAC4 [11]. Полученные постоянные использовались для преобразования координат основной серии ПЗС-кадров.

2. Постоянные  $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$  определялись по калибровочному кадру, как и в п. 1. Измеренные координаты были предварительно исправлены за регулярную рефракцию. Геометрический смысл постоянных следующий:

$$\begin{aligned} a_1 &= M_x \cos(\theta + \gamma) \\ b_1 &= M_y \sin \theta \\ c_1 &= -M_x x_0 \cos(\theta + \gamma) - M_y y_0 \sin \theta \\ a_2 &= -M_x \sin(\theta + \gamma) \\ b_2 &= M_y \cos \theta \\ c_2 &= M_x x_0 \sin(\theta + \gamma) - M_y y_0 \cos \theta. \end{aligned}$$

Здесь  $M_x$  и  $M_y$  — масштабы по осям  $X$  и  $Y$ , угловые секунды на пиксель;  $\theta$  — угол между осями  $Y$  и  $\eta$ ;  $90^\circ + \gamma$  — угол между осями  $x$  и  $y$  системы координат, связанной с ПЗС-матрицей. Таким образом, определялись масштабы отдельно по  $x$  и по  $y$ , угол ориентации ПЗС-матрицы  $\theta$  и косоугольность  $\gamma$ . Далее все полученные

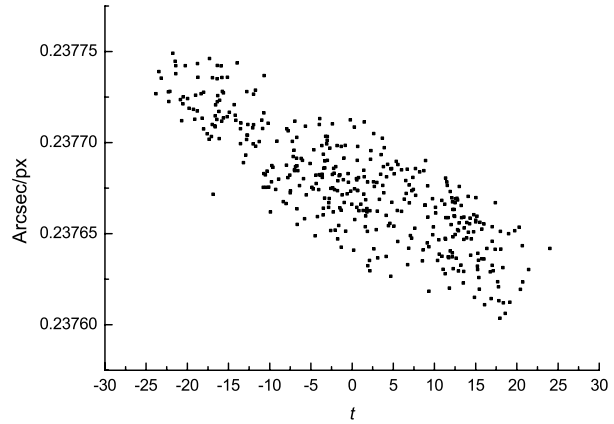


Рис. 3. Зависимость масштаба (в угловых секундах на пиксель) от температуры воздуха  $t^\circ \text{C}$ .

Таблица 1. Ошибки одного измерения

Метод	$\sigma_{1\rho}$	$\sigma_{1\tau}$
1	$0''.0124$	$0''.0076$
2	$0''.0127$	$0''.0075$
3	$0''.0127$	$0''.0087$

в течение одной наблюдательной ночи значения масштабов  $M_x, M_y$  и угла  $\gamma$  усреднялись. Для угла ориентации  $\theta$  в соответствии с известной методикой Михельсона [12] определялись параметры зависимости  $\theta_0$  и  $a$  от склонения оптического центра  $\delta$ :  $\theta = \theta_0 + a \sec \delta$ . Полученные средние величины масштабов и косоугольности, а также вычисленное для каждой серии кадров значение угла ориентации использовались для редукции наблюдений за каждую ночь отдельно.

3. Определение масштабов  $M_x, M_y$ , углов  $\gamma, \theta(\delta)$  выполнялись аналогично п.2, но средние значения выводились из данных за три месяца наблюдений. Поскольку масштаб телескопа зависит от температуры (см. рис. 3), перед усреднением вычислялись масштабы по  $x$  и по  $y$  для температуры  $0^\circ \text{C}$ . Затем при редукции вводились поправки за фактическую температуру.

Для выбора оптимальной методики проводилось сравнение ошибок одного измерения по внутренней сходимости для всего массива наблюдений. Среднеквадратические ошибки одного измерения в радиальном и трансверсальном направлениях для трех вышеописанных методов редукции представлены в таблице 1. Таким образом, метод 1 имеет небольшое преимущество перед методами 2 и 3.

Приведенные ниже результаты в основном получены с применением метода 1. Для наблюдений,

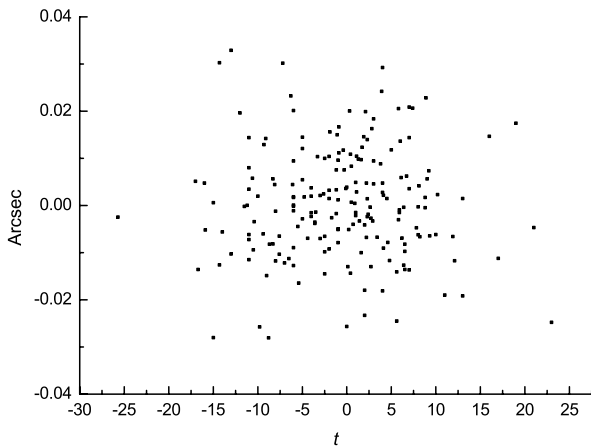


Рис. 4. Зависимость невязок в угловом расстоянии от температуры  $t^\circ \text{C}$ . Собственное движение звезд учтено.

выполненных в сумерках, т. е. на рассвете, закате и в период «белых» ночей, когда можно наблюдать только яркие звезды программы, а тусклые звезды фона — нет, для преобразования координат применялся метод 2.

Помимо звезд программы выполнялись наблюдения калибровочных пар звезд, как и в работе [3]. Они были использованы для выявления возможных систематических ошибок. Всего наблюдалось восемь пар звезд, находящихся на значительном расстоянии друг от друга, с разностью в прямом восхождении между соседними парами около  $3^{\text{h}}$ . Расстояние между звездами в калибровочных парах в среднем составляет  $120''$ , что значительно превышает среднее расстояние между компонентами исследуемых визуально-двойных звезд. Для таких широких пар звезд суммирование модельных функций не требуется, поэтому результаты измерений свободны от вносимых ими ошибок и могут быть использованы для поиска систематических зависимостей от таких факторов, как давление и температура воздуха во время наблюдений, а также от часового угла, при котором наблюдался объект. Были проанализированы невязки в угловом расстоянии для восьми контрольных пар звезд после исключения собственного движения компонентов. Систематические зависимости от температуры, давления и часового угла не обнаружены. Для ГУС 3490-245-1/3490-929-1 — контрольной пары звезд — было получено наибольшее число наблюдений: 192 серии ПЗС-кадров. Рисунок 4 иллюстрирует отсутствие зависимости невязки в угловом расстоянии данной пары звезд от температуры. Аналогичный вид имеют диаграммы «невязки—давление» и «невязки—часовой угол» для этой пары и для семи остальных контрольных пар звезд.

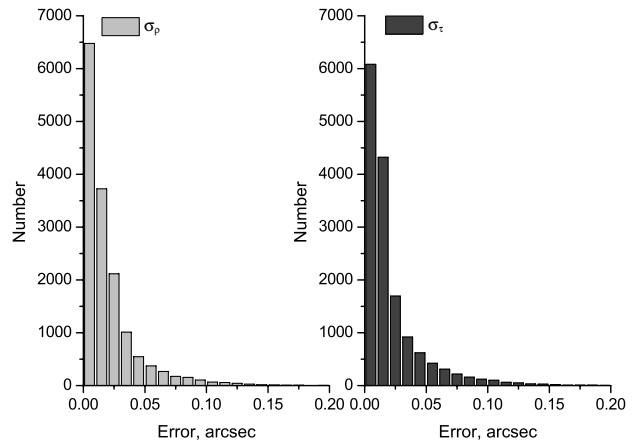


Рис. 5. Распределение наблюдений по точности. Слева ошибки для одного ПЗС-кадра в радиальном направлении  $\sigma_{1\rho}$ , секунды; справа — в трансверсальном направлении  $\sigma_{1\tau}$ , секунды.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты наблюдений доступны в электронном виде в Страсбургском центре данных<sup>3</sup> либо в Астрометрической базе данных Пулковской обсерватории<sup>4</sup>. Примеры представленных данных приведены в таблицах 1 и 2. В файле table1.dat (см. таблицу 2) содержатся относительные положения компонентов двойных и кратных звезд для отдельных ночей, а в файле table2.dat (см. фрагмент в таблице 3) представлены среднегодовые положения компонентов. В столбцах таблицы 2:

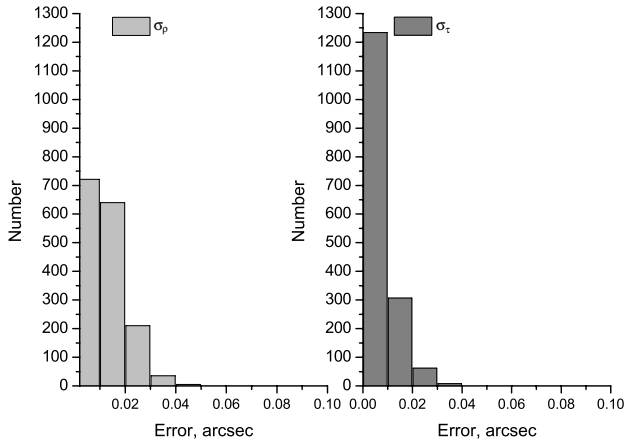
- (1) идентификатор по каталогу WDS [13];
- (2) обозначение наблюдаемых компонентов из каталога WDS;
- (3) идентификатор по каталогу ADS [14];
- (4)  $T$  — эпоха наблюдений, (2000+);
- (5)  $n$  — число ПЗС-кадров;
- (6)  $\theta$  — позиционный угол в системе координат, соответствующей экватору и равноденствию эпохи наблюдения, градусы;
- (7)  $\rho$  — угловое расстояние, секунды;
- (8)  $\epsilon_\theta$  — ошибка позиционного угла, градусы;
- (9)  $\epsilon_\rho$  — ошибка углового расстояния, секунды;
- (10)  $\sigma_\tau$  — ошибка для одного ПЗС-изображения в трансверсальном направлении  $\sigma_\tau = \rho \sin \theta$ , секунды (для таблицы 3 — ошибка одной ночи);

<sup>3</sup><http://cds.u-strasbg.fr>.

<sup>4</sup><http://izmccd.puldb.ru/vds.htm>.

**Таблица 2.** Фрагмент каталога относительных положений  $\theta, \rho$  для отдельных ночей

WDS		ADS	$T$	$n$	$\theta$	$\rho$	$\epsilon_\theta$	$\epsilon_\rho$	$\sigma_\tau$	$\sigma_\rho$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
10200+1950	AB	7724	8.005	159	125.72	4.659	0.10	0.009	0.098	0.111
10248+6739		7752	8.005	11	249.36	6.611	0.03	0.008	0.012	0.024



**Рис. 6.** Распределение наблюдений по точности. Ошибки данных одной ночи  $\sigma_{1,\rho}$  в радиальном (слева) и  $\sigma_{1,\tau}$  в трансверсальном (справа) направлениях, секунды.

(11)  $\sigma_\rho$  — ошибка для одного ПЗС-изображения в радиальном направлении, секунды (для таблицы 3 — ошибка одной ночи).

Вычисление среднего положения по серии ПЗС-кадров, снятых в одну ночь, производилось с использованием весов. Веса назначались в соответствии с ошибками определения центров изображений. Содержимое столбцов в таблице 3 аналогично таблице 2, в столбце (5) дано число ночей вместо числа ПЗС-кадров, а в столбцах (10), (11) — ошибки по данным одной ночи вместо ошибок для одного ПЗС-кадра. Среднегодовые положения получены путем усреднения положений для отдельных ночей наблюдений также с применением весов.

Ошибка для одного ПЗС-кадра составила в среднем  $0''.020$  для обеих координат для серий наблюдений в течение одной ночи; при выводе среднегодовых положений средняя ошибка одного положения составила  $0''.012$  в радиальном направлении и  $0''.007$  в трансверсальном направлении. Диаграммы, иллюстрирующие распределение результатов по точности, представлены на рис. 5 и рис. 6. Погрешности определения среднегодовых значений углового расстояния составляют в среднем  $0''.005$ , а позиционного угла —  $0^\circ.04$ .

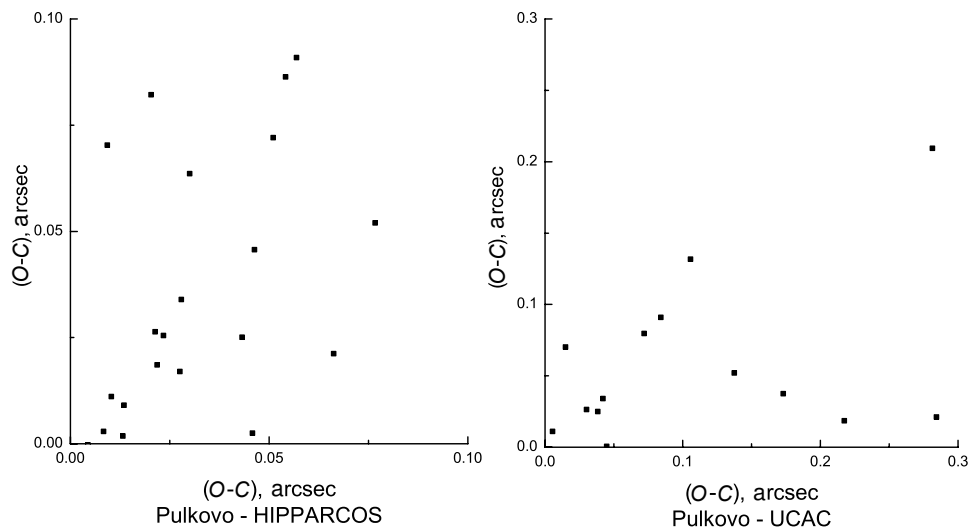
Для соответствия общепринятому представлению результатов наблюдений визуально-двойных, выполненных в течение 19–20 веков, значения позиционных углов  $\theta$  даны в системе координат экватора и равноденствия эпохи наблюдений, хотя калибровка кадров была выполнена по звездам с координатами в системе J2000.0, и, соответственно, позиционный угол также был получен в этой же системе.

Из 322 исследуемых визуально-двойных звезд для 50 пар есть орбитальные решения [15]. Разница между наблюдаемыми и эфемеридными положениями ( $O - C$ ) для этих звездных систем дана в файле table3.dat (фрагмент данных приведен в таблице 4). В столбцах таблицы 4:

- (1) обозначение звезды в каталоге WDS [13];
- (2) обозначение наблюдаемых компонентов из каталога WDS [13];
- (3)  $O - C$  по угловому расстоянию  $\rho$ , секунды;
- (4)  $O - C$  по позиционному углу  $\theta$ , градусы;
- (5)  $O - C$  по скорости изменения расстояния  $\dot{\rho}$ , миллисекунды дуги в год;
- (6)  $O - C$  по скорости изменения позиционного угла  $\dot{\theta}$ , градусы в год;
- (7) сокращенная ссылка на оригинальную публикацию из WDS [13], в которой приводятся элементы орбит.

Если в каталоге орбит для пары приводится несколько вариантов орбит, то для сравнения выбиралась орбита, для которой значения  $O - C$  были минимальны.

Также было проведено сравнение относительных положений компонентов двойных звезд из каталогов UCAC [16] и HIPPARCOS [17] и соответствующих им эфемерид. На рис. 7 каждая точка соответствует паре значений  $O - C$  в угловом расстоянии: по горизонтали отложено значение  $O - C$  для наблюдений на 26-дюймовом рефракторе, представленных в данной работе, по вертикали —  $O - C$  для положений из каталога UCAC (справа) или разности  $O - C$  для положений из каталога HIPPARCOS (слева). Между разностями



**Рис. 7.** Сравнение наблюдаемых положений и эфемерид для пар с орбитальным решением. Корреляция разностей  $O - C$  в расстоянии для положений из каталога UCAC (справа) или HIPPARCOS (слева) и наблюдений, представленных в данной работе.

**Таблица 3.** Фрагмент каталога среднегодовых положений

WDS		ADS	$T$	$n$	$\theta$	$\rho$	$\epsilon_\theta$	$\epsilon_\rho$	$\sigma_\tau$	$\sigma_\rho$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
10139+6037		7686	14.2030	5	237.57	6.640	0.02	0.009	0.005	0.017
10200+1950	AB	7724	8.0050	1	125.72	4.659				
10248+6739		7752	8.0360	5	249.38	6.614	0.02	0.012	0.004	0.023

$O - C$  для разных источников положений существует довольно хорошая корреляция (линейные коэффициенты корреляции 0.59 и 0.69). Такая корреляция не может быть объяснена случайными и даже систематическими ошибками наблюдений, поскольку наблюдения выполнялись независимо. Следовательно, смещение относится к вычисленным эфемеридам. Можно сделать вывод, что для большинства рассматриваемых пар звезд необходимо уточнить орбитальные параметры, привлекая новейшие данные.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главным результатом работы является определение относительных положений компонентов визуально-двойных и кратных звезд по отдельным ночам наблюдений и среднегодовых, ошибок полученных значений и стандартных отклонений одного положения. Для 50 орбитальных пар звезд из Шестого каталога орбит [15, 18] наблюдения сравнивались с эфемеридами.

Необходимо отметить, что в мире подобные работы по ПЗС-наблюдениям визуально-двойных

звезд ведутся достаточно активно. Первая работа такого рода была сделана практически сразу после ввода в астрономическую практику ПЗС-камер [19]. В 2008–2014 гг. было опубликовано около 250 научных статей, основным содержанием которых были каталоги относительных положений компонентов двойных и кратных звезд [13]. Постоянно пополняемый каталог публикаций по данной тематике можно найти в сети Интернет.<sup>5</sup>

Можно ожидать снижения актуальности целевых наблюдений визуально-двойных звезд с появлением постоянно действующих обзоров неба, таких как Large Synoptic Survey Telescope [20] и Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System [21], а также в связи с запуском космического телескопа GAIA [22]. Предполагается, что наземные обзоры будут иметь достаточный масштаб для наблюдений визуально-двойных звезд, (например, у LSST масштаб будет около  $0''.2$  на

<sup>5</sup><http://ad.usno.navy.mil/wds/wdsnewref.txt>.

Таблица 4.  $O - C$  для звезд, имеющих опубликованные сведения об элементах орбит (фрагмент)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
00057+4549	AB	0.0007	-0.0853	0.42	-0.0075	Kiy2001
00184+4401	AB	-0.3562	0.0434	-12.57	0.0025	Lip1972
00321+6715	AB	0.1494	-0.9804	15.20	0.3439	Doc2008d
00360+2959	AB	-0.0535	0.4782	-2.20	-0.0022	Kis2009
03122+3713		0.0340	-0.3743	-2.76	0.0082	WSI2004a
03162+5810	AB	0.0264	0.3295	0.68	0.0047	Zir2008

пиксель), большое число наблюдений одного объекта в год, а также то, что такие проекты будут длительными.

Периоды обращений большинства широких пар звезд составляют тысячи, десятки тысяч и сотни тысяч лет, и по сравнению с ними планируемая продолжительность наблюдений проекта GAIA (пять лет) незначительна, хотя точность полученных положений будет на порядки превосходить точность наземных наблюдений. Актуальность наземных наблюдений двойных звезд все же сохранится именно потому, что они обеспечивают длинные однородные ряды для определения орбит долгопериодических пар звезд.

Изучение широких пар звезд дает ценный материал для исследования эволюции звездной материи и галактической динамики [23]. Статистика показывает, что лучше всего определены орбиты, имеющие большую полуось до 20 а.е. [18]. Практически нет достаточной для статистического анализа информации об орбитах с полуосями, превосходящими 100 а.е., и с периодами более 1000 лет, поэтому необходимо накопление данных об орбитальных характеристиках движения в широких системах. В целях изучения влияния гравитационного поля Галактики на ориентацию долгоэволюционирующих двойных систем необходим также статистический анализ параметров ориентации орбит двойных звезд — не только их полюсов, но еще и направлений на периастр в галактической системе координат [24].

Представленные результаты наблюдений вносят вклад в накопление рядов для определения орбит широких пар, а также могут быть использованы для проверки соответствия реальности уже определенных орбит.

Многие звезды пулковской программы наблюдаются на 26-дюймовом рефракторе уже 55 лет. Для определения орбит методом параметров видимого движения необходимо дополнить эти ряды параллаксами и относительными лучевыми скоростями компонентов [4]. На данный момент у многих двойных с длительными рядами относительных

положений параллаксы и лучевые скорости неизвестны, но результаты космической миссии GAIA решат эту проблему.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Эта работа была выполнена с использованием Вашингтонского каталога визуально-двойных звезд Военно-морской обсерватории США. Авторы благодарят Санкт-Петербургское астрономическое общество за неоценимую помощь в обслуживании 26-дюймового рефрактора.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. А. Киселев, О. А. Калиниченко, Г. А. Плюгин и др., *Каталог 200 визуально-двойных звезд по наблюдениям на 26-дюймовом рефракторе ГАО РАН в 1960–1985 гг.* (Наука, Ленинград, 1988).
2. А. А. Kiselev, O. V. Kiyayeva, I. S. Izmailov, et al., *Astronomy Reports* **58**, 78 (2014).
3. I. S. Izmailov, M. L. Khovricheva, M. U. Khovrichev, et al., *Astronomy Letters* **36**, 349 (2010).
4. А. А. Киселев and O. V. Kiyayeva, *Astron. Zh.* **57**, 1227 (1980).
5. И. С. Измайлов, В. С. Виноградов, К. В. Румянцев и др., *Изв. ГАО* **217**, 536, (2004).
6. I. S. Izmailov, A. A. Kiselev, T. P. Kiseleva, and E. V. Khrutskaya, *Astronomy Letters* **24**, 665 (1998).
7. O. G. Franz, *J. R. Astron. Soc. Can.* **67**, 81 (1973).
8. J. Cuypers, in *Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks*, Ed. by J. A. Doherty, A. Elise, and H. McAlister (Kluwer Academic, Dordrecht, 1997), pp. 35–41.
9. И. И. Канаев, *Изв. ГАО* **166**, 176 (1960).
10. А. А. Киселев, *Теоретические основания фотографической астрометрии* (Наука, Москва, 1989).
11. N. Zacharias, C. T. Finch, T. M. Girard, et al., *Astron. J.* **145**, 14 (2013).
12. Н. Н. Михельсон, *Оптические телескопы. Теория и конструкция* (Наука, Москва, 1976).
13. B. D. Mason, G. L. Wycoff, W. I. Hartkopf, et al., *Astron. J.* **122**, 3466 (2001).

14. R. G. Aitken and E. Doolittle, *New General Catalogue of Double Stars within 120° of the North Pole* (Carnegie Inst. Washington, Washington, D.C., 1932).
15. C. E. Worley and W. D. Heintz, Publ. U.S. Naval Obs. 2nd. Ser. **24**, 7, (1983).
16. W. I. Hartkopf, B. D. Mason, C. T. Finch, et al., *Astron. J.* **146**, 76 (2013).
17. L. Lindegren, F. Mignard, and S. Söderhjelm, *Astron. and Astrophys.* **323**, 53 (1997).
18. W. I. Hartkopf, B. D. Mason and C. E. Worley, <http://www.usno.navy.mil/USNO/astrometry/optical-IR-prod/wds/orb6>.
19. D. Sinachopoulos, M. Geffert, and M. Nicklas, *Astrophys. and Space Sci.* **142**, 227 (1988).
20. Z. Ivezić, J. A. Tyson, T. Axelrod, et al., *Bull. Amer. Astron. Soc.* **41**, 366 (2009).
21. K. W. Hodapp, N. Kaiser, H. Aussen, et al., *Astronomische Nachrichten* **325**, 636 (2004).
22. S. Söderhjelm, in *The Three-Dimensional Universe with Gaia*, Ed. by C. Turon, K. S. O'Flaherty, and M. A. C. Perryman (ESA, Paris-Meudon, 2005), p. 97.
23. J. Dommangeat, *Astrophys. and Space Sci.* **99**, 23 (1984).
24. A. A. Kiselev and L. G. Romanenko, *Astronomy Reports* **40**, 795 (1996).

## Astrometric Observations of Visual Binaries Using 26-inch Refractor during 2007–2014 at Pulkovo

I. S. Izmailov and E. A. Roshchina

We present the results of 15 184 astrometric observations of 322 visual binaries carried out in 2007–2014 at Pulkovo observatory. In 2007, the 26-inch refractor ( $F = 10\,413$  mm,  $D = 65$  cm) was equipped with the CCD camera FLI ProLine 09000 (FOV  $12' \times 12'$ ,  $3056 \times 3056$  pixels,  $0.238$  arcsec pixel $^{-1}$ ). Telescope automation and weather monitoring system installation allowed us to increase the number of observations significantly. Visual binary and multiple systems with an angular distance in the interval  $1''.1-78''.6$  with  $7''.3$  on average were included in the observing program. The results were studied in detail for systematic errors using calibration star pairs. There was no detected dependence of errors on temperature, pressure, and hour angle. The dependence of the 26-inch refractor's scale on temperature was taken into account in calculations. The accuracy of measurement of a single CCD image is in the range of  $0''.0005$  to  $0''.289$ ,  $0''.021$  on average along both coordinates. Mean errors in annual average values of angular distance and position angle are equal to  $0''.005$  and  $0''.04$  respectively. The results are available here <http://izmccd.puldb.ru/vds.htm> and in the Strasbourg Astronomical Data Center (CDS). In the catalog, the separations and position angles per night of observation and annual average as well as errors for all the values and standard deviations of a single observation are presented. We present the results of comparison of 50 pairs of stars with known orbital solutions with ephemerides.

Keywords: binaries: visual—methods: observational