

# Мониторинг спекл-интерферометрических двойных на БТА САО РАН.

Митрофанова А.А.\*, Дьяченко В.В., Бескакотов А.С., Балега Ю.Ю., Максимов А.Ф., Растегаев Д.А.

Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, 369167, п. Нижний Архыз, Россия

\*arishka670a@mail.ru



## Аннотация

Мониторинг спекл-интерферометрических двойных проводится на 6-метровом телескопе САО РАН с 80-х годов XX века. В рамках доклада представлено исследование выборки систем со значениями орбитальных периодов от 1 года до 50 лет. На основе анализа новых наблюдательных данных, полученных с 2007 года (скважность наблюдений составляла около 1 наблюдения в год), была проведена оценка ранее построенных орбитальных решений. В результате часть орбит была значительно уточнена, а некоторые орбитальные параметры были получены впервые. Определение фундаментальных параметров (масс компонентов и их сумм масс) производилось для трех значений параллаксов: Hipparcos, Gaia DR2 и EDR3. В результате сравнения параметров, определенных двумя независимыми методами, сделаны выводы о корректности орбитальных решений и параллаксов. Также была проведена качественная классификация орбит, большинству из которых был присвоен статус «точная».

## Введение

Метод спекл-интерферометрии был предложен Лабейри [1] как метод высокого углового разрешения и позволяет приблизиться к дифракционному пределу телескопа. Например, для 6-метрового телескопа САО РАН дифракционный предел составляет 20 мсд на длине волны 500 нм. В настоящее время данный метод чаще всего используется для исследования двойных и кратных звезд [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Компонентами разрешаемых двойных систем в большинстве случаев являются звезды Главной последовательности поздних спектральных классов, орбитальный период подобных объектов находится в диапазоне от  $\sim 1$  до  $\sim 100$  лет. Анализ спекл-интерферометрических данных таких систем позволяет увеличивать их кратность, строить точные орбиты и определять фундаментальные параметры (массы компонентов и их спектральные классы, суммы масс компонентов). В дальнейшем точные значения масс используются для уточнения эмпирических зависимостей, например, зависимости «масса-светимость». Важную роль для этих целей играет долгосрочный мониторинг. В рамках доклада представлено исследование выборки из 26 объектов: HIP 689, HIP 3951, HIP 10438, HIP 14524, HIP 16025, HIP 18856, HIP 28671, HIP 43948, HIP 46199, HIP 47791, HIP 53731, HIP 60444, HIP 61100, HIP 65327, HIP 69962, HIP 73085, HIP 95995, HIP 102029, HIP 102357, HIP 104383, HIP 105947, HIP 106255, HIP 108917, HIP 111546, HIP 113726, HIP 114922.

## Наблюдения и обработка

Мониторинг спекл-интерферометрических двойных проводится на 6-метровом телескопе САО РАН с 80-х годов XX века. Спекл-интерферометрические наблюдения проводились на телескопе БТА САО РАН с помощью спекл-интерферометра [11] в период с 2007 по 2020 год. Спекл-изображения были получены при хороших погодных условиях с качеством изображений  $1''$ - $2''$ . Спекл-интерферограммы регистрировались с единым значением экспозиции в 20 миллисекунд и стандартной серией из 2000 изображений для каждого объекта. Для получения наблюдательных данных использовались следующие интерференционные фильтры (центральная длина волны  $\lambda$ /полуширина пропускания  $\Delta\lambda$ ): 550/20 нм, 600/40 нм, 800/100 нм и 900/80 нм. Значения позиционных параметров и разностей блеска определялись на основе анализа спектра мощности и автокорреляционной функции спекл-интерферометрической серии, описанного в [12] и [13]. Восстановление положения вторичного компонента выполнялось методом биспектрального анализа [14].

## Орбиты и массы

Орбитальные решения рассчитывались с использованием программного пакета ORBIT [15]. Для построения орбит использовались как новые данные, полученные на БТА САО РАН, так и литературные, в результате чего были обнаружены неточности в положении точек, соответствующих ранее опубликованным данным, что вероятно связано с некорректным восстановлением положения вторичного компонента или его отсутствием. На рисунке 1 в качестве примера представлены орбиты шести систем с построенными впервые орбитами (HIP 14524 и HIP 60444), точными орбитами (HIP 10438 и HIP 69962) и значительно уточненными орбитами (HIP 53731 и HIP 111546).

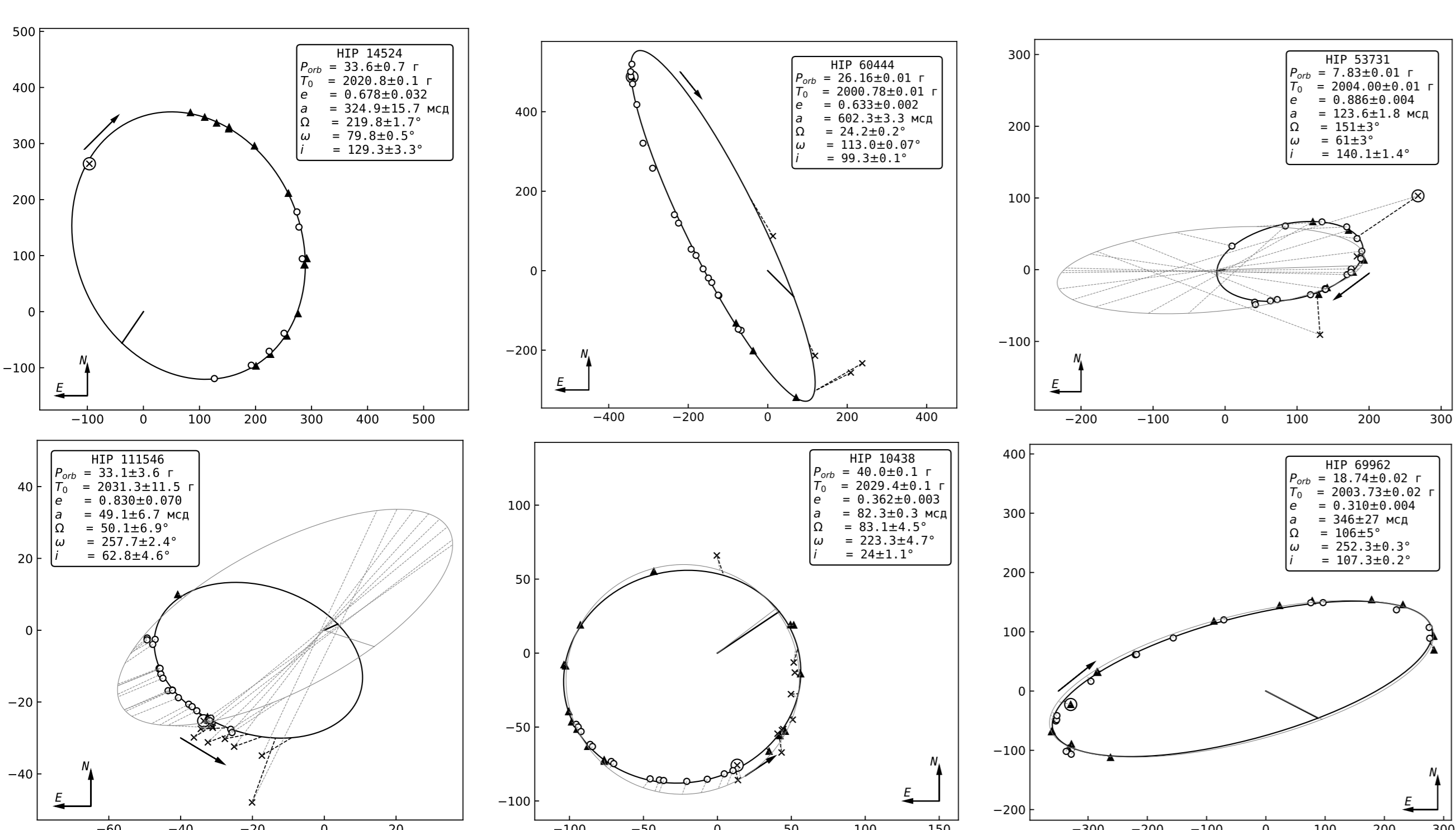


Рис. 1: Орбитальные решения для шести объектов. Серым цветом обозначены ранее опубликованные орбиты, черным - орбиты, построенные в данной работе. Треугольные значки соответствуют литературным данным; выколотые кружки - данные, полученные в рамках этой работы; крестики - данные с большими значениями невязок; точка, помещенная в большой круг - первое измерение для данной системы. Стрелкой показано направление движения вторичного компонента по орбите.

Двумя независимыми методами для каждого объекта были определены сумма масс компонентов, их абсолютные звездные величины, спектральные классы и массы. Первый метод заключается в использовании третьего закона Кеплера, параллаксов и определенных орбитальных параметров. Данный метод позволяет получить сумму масс компонентов системы. Второй метод заключается в использовании звездной величины объекта в фильтре V, представленной в базе SIMBAD, и среднего значения разности блеска звезд в системе ( $\Delta m_{550}$ ) совместно со значениями параллаксов. Для сопоставления рассчитанных абсолютных величин компонентов в системе со спектральными классами и массами использовалась работа [16]. Данный метод позволяет получить оценки масс компонентов и сравнить с ранее вычисленной суммой масс. Для определения масс обоими методами использовались три значения параллакса: Hipparcos [17], Gaia DR2 [18] и EDR3 [19].

## Обсуждение

На основе продолжительного спекл-интерферометрического мониторинга в течение 13 лет были уточнены или построены в первый раз орбиты для 26 объектов, а также определены их фундаментальные параметры. В результате впервые были получены орбитальные решения для HIP 14524, HIP 60444 и

HIP 65327, а орбиты HIP 16025, HIP 18856, HIP 46199, HIP 47791, HIP 53731, HIP 73085 и HIP 111546 были уточнены значительно. С использованием качественных критериев Ч. Уорли и В. Хейнца [20] была проведена классификация полученных орбитальных решений:

- "Точная": HIP 689, HIP 3951, HIP 10438, HIP 47791, HIP 61100, HIP 69962, HIP 95995, HIP 102029, HIP 102357, HIP 104383, HIP 105947, HIP 106255 и HIP 114922;
- "Хорошая": HIP 43948, HIP 53731, HIP 60444, HIP 73085 и HIP 108917;
- "Надежная": HIP 14524, HIP 16025, HIP 18856, HIP 46199 и HIP 113726;
- "Предварительная": HIP 28671, HIP 65327 и HIP 111546.

На рисунке 2 представлены средние значения невязок по разделению компонентов и по позиционному углу, то есть на сколько отличаются наблюдаемые значения от модельных. Можно видеть, что невязки новых измерений являются минимальными, что указывает на высокое качество построенных орбит. А то, что орбитальные решения значительно уточняются (или вообще стоят впервые) – на оправданность продолжительного мониторинга, проводимого в группе методов астрономии высокого разрешения.

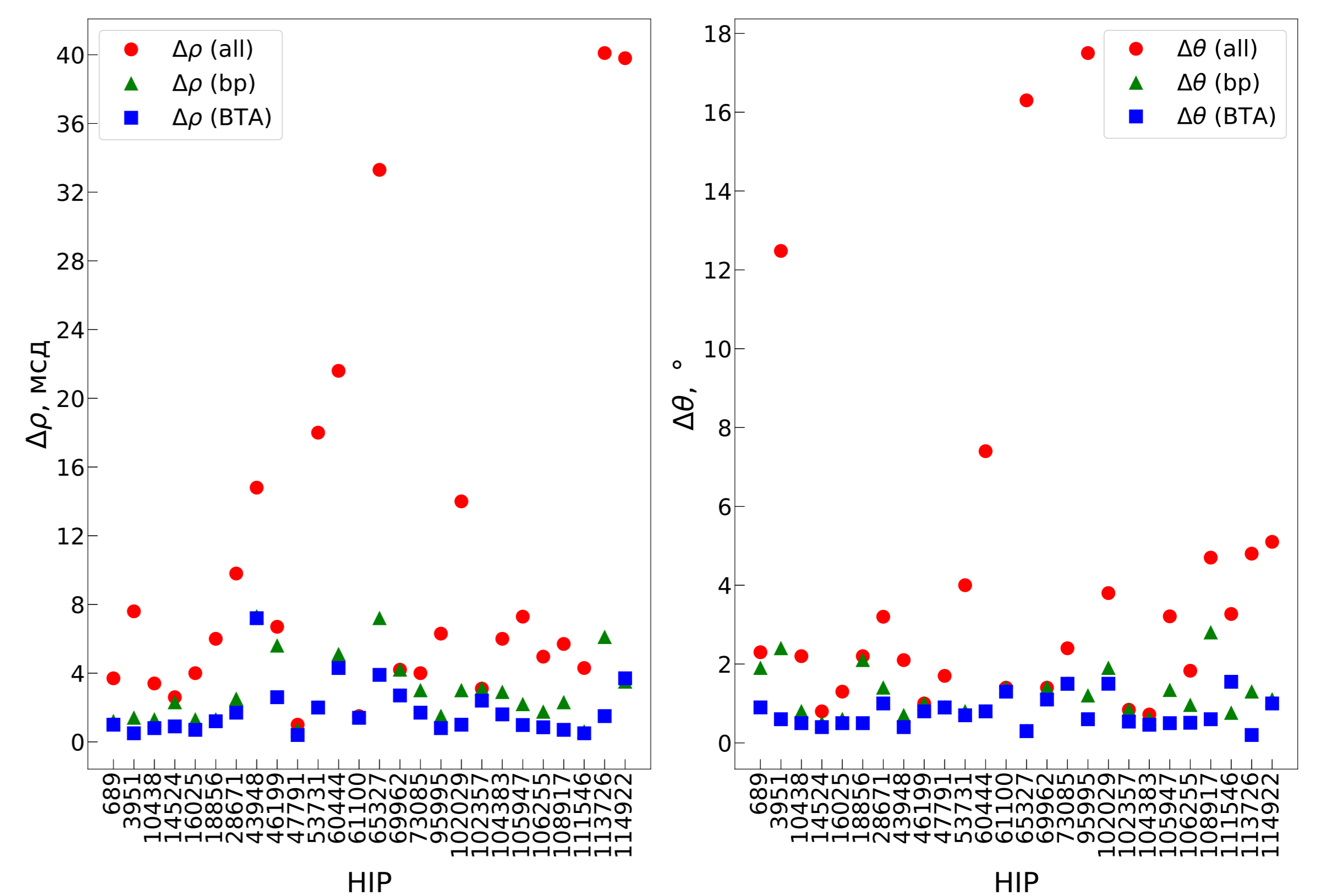


Рис. 2: Невязки измерений. Красным цветом показаны значения при учете всех измерений, зеленым – если мы исключаем точки, которые отстают от орбиты на максимальное значение (на рисунке 1 они обозначены крестиками), синим показаны невязки только новых точек, полученных на БТА САО РАН с 2007 года.

Сравнение фундаментальных параметров, определенных двумя независимыми методами для трех значений параллаксов показало, что их значения лучше всего совпадают при использовании параллакса Hipparcos для HIP 60444, HIP 61100, HIP 108917 и HIP 113726, параллакса Gaia DR2 - для HIP 10438, HIP 18856, HIP 73085, HIP 102357, HIP 106255 и HIP 111546, параллакса Gaia EDR3 - для HIP 689, HIP 16025, HIP 47791, HIP 53731, HIP 102029 и HIP 104383. В результате проведенного исследования сделан вывод о необходимости дальнейшего мониторинга HIP 28671, HIP 46199, HIP 65327 и HIP 111546.

## Список литературы

- [1] A. Labeyrie, *Astron. and Astrophys.* 6, 85 (1970).
- [2] A. Tokovinin, B. D. Mason, R. A. Mendez, et al., *Astron. J.* 160, 7 (2020).
- [3] V. G. Orlov, *Revista Mexicana Astronom. Astrofis.* 57, 67 (2021).
- [4] C. A. Guerrero, F. F. Rosales-Ortega, G. Escobedo, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* 495, 806 (2020).
- [5] R. A. Mendez and E. Costa, *Boletin de la Asociacion Argentina de Astronomia La Plata Argentina* 61C, 60 (2020).
- [6] R. A. Mendez, R. M. Claveria, and E. Costa, *Astron. J.* 161, 155 (2021).
- [7] A. Mitrofanova, V. Dyachenko, A. Beskakotov, et al., *Astron. J.* 159, 266 (2020).
- [8] A. Mitrofanova, V. Dyachenko, A. Beskakotov, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* 20, 187 (2020).
- [9] A. Mitrofanova, V. Dyachenko, A. Beskakotov, et al., in *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century*, Edited by I. I. Romanyuk, I. A. Yakunin, A. F. Valeev, and D. O. Kudryavtsev (2020), pp. 79–84.
- [10] P. Efremova, A. Mitrofanova, V. Dyachenko, et al., *Research in Astronomy and Astrophysics* 21, 058 (2021).
- [11] A. F. Maksimov, Y. Y. Balega, V. V. Dyachenko, et al., *Astrophysical Bulletin* 64, 296 (2009).
- [12] I. I. Balega, Y. Y. Balega, K. H. Hofmann, et al., *Astron. and Astrophys.* 385, 87 (2002).
- [13] E. A. Pluzhnik, *Astron. and Astrophys.* 431, 587 (2005).
- [14] A. W. Lohmann, G. Weigelt, and B. Winitzer, *Applied Optics* 22, 4028 (1983).
- [15] A. Tokovinin, in *IAU Colloq. 135: Complementary Approaches to Double and Multiple Star Research*, Edited by H. A. McAlister and W. I. Hartkopf (1992), *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, vol. 32, p. 573.
- [16] M. J. Pecaut and E. E. Mamajek, *Astrophys. J. Suppl.* 208, 9 (2013).
- [17] ESA, ed., *The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission*, ESA Special Publication, vol. 1200 (1997).
- [18] Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al., *Astron. and Astrophys.* 616, A1 (2018).
- [19] Gaia Collaboration, A. G. A. Brown, A. Vallenari, et al., *arXiv e-prints arXiv:2012.01533* (2020).
- [20] C. E. Worley and W. D. Heintz, *Publications of the U.S. Naval Observatory Second Series* 24 (1983).