

## **ПОИСК $\Delta\mu$ -BINARY СИСТЕМ В ПЛОЩАДКАХ АКСИАЛЬНОГО МЕРИДИАННОГО КРУГА НИКОЛАЕВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**

**Мартынов М.В., Майгурова Н.В., Пинигин Г.И.**

*Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»  
54030, Украина, Николаев, ул. Обсерваторная, 1*

*В результате наблюдений в 2008-2011 гг. на Аксиальном меридианном круге (АМК) НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» были получены два каталога общей численностью 284 557 объектов. Для их анализа была применена методика, оценивающая статистическую значимость разностей «квазимгновенных» и «долговременных» собственных движений по отношению к ошибкам их определения. Был получен список вероятных кандидатов в двойные и кратные системы, обладающие невидимыми спутниками, численностью 9 379 объектов.*

Одно из актуальных направлений исследований близких к Солнцу звёзд – поиск и изучение звёзд с невидимыми (на данном этапе развития наблюдательной техники) спутниками субзвёздных масс. Программы таких исследований велись в различных обсерваториях мира [1, 2], в ходе которых у ряда звёзд выявляются периодические колебания в их орбитальном движении, вызванные наличием невидимого спутника.

Существует много методов определения двойной природы небесного объекта, который визуально представляется одиночным. В данной работе используется сравнительно новый метод поиска невидимых компонентов подобных систем [1]. Он был разработан при создании каталога FK6 и основывается на сравнении собственных движений звёзд, полученных за различные временные интервалы, в предположении, что для двойной системы с «невидимым» компонентом движение её фотоцентра на достаточно длительном промежутке времени будет не линейным, а волнообразным. Если обычная практика получения собственных движений по наземным наблюдениям опирается на наблюдения с разностью эпох 20-50 и более лет, то собственные движения, полученные с разностью эпох 10 и менее лет, могут рассматриваться в рамках данной методики как «квазимгновенные».

В работе [1] сравнивались «квазимгновенные» собственные движения, взятые из каталога HIPPARCOS, и средние («долговременные») собственные движения за столетие, представленные в каталоге FK5, а также полученные сравнением положений HIPPARCOS с каталогом GC. В основу метода легло предположение, что если разница собственных движений ( $\Delta\mu$ ) статистически значима по отношению к ошибке их определения, то объект является, с большой долей вероятности, двойной системой. Было предложено назвать класс таких объектов ' $\Delta\mu$  binary' (или ' $\Delta\mu$  binary'). В противном случае звезда является ' $\Delta\mu$  single-star candidate', если нет других подтверждений её кратной природы.

Основное статистическое предположение, взятое за основу выявления  $\Delta\mu$ -объектов, представлено в виде:

$$F^2 = (\Delta\mu_{RA}/\epsilon_{RA})^2 + (\Delta\mu_{DEC}/\epsilon_{DEC})^2, \quad (1)$$

где  $\Delta\mu_{RA}$ ,  $\Delta\mu_{DEC}$  – соответствующие разности «долговременных» и «квазимгновенных» собственных движений, а  $\epsilon_{RA}$ ,  $\epsilon_{DEC}$  – ошибки их определения.

В [1] предложено считать  $\Delta\mu$  binaries те объекты, для которых критерий  $F \geq 3.44$  и означает, что на 10 000 звёзд придётся всего 27 ошибочных определений  $\Delta\mu$  binaries, если их собственные движения в сравниваемых каталогах являются нормально распределёнными величинами, в одной опорной системе, при отсутствии значительных систематических ошибок.

Данную методику решено применить к каталогам, полученным по результатам ПЗС-наблюдений на Аксиальном меридианном круге (АМК,  $D = 180 \text{ mm}$ ,  $F = 2490 \text{ mm}$ ,  $S1C 1094 \times 1160 \text{ px}$ ,  $16 \times 16 \mu^2$ ) [3] НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» (НАО) в 2008-2011 гг.

Каталог 2008-2009 гг. содержит положения и собственные движения 140 321 звезды, расположенных, в основном, в площадках вдоль эклиптики (98%) и вокруг звезд с большими собственными движениями [4]. Наблюдения выполнялись в интегральном свете без применения фильтра. Предельная звездная величина каталога равна 16.5.

В 2010-2011 гг. программу наблюдений на АМК составляли звезды с большими собственными движениями. Список для наблюдений выбран из каталогов LSPM и сводного каталога звезд с высокими собственными движениями, созданного в ГАО НАНУ. В результате обработки получен массив положений и собственных движений 142 621 звезды в площадках вокруг программных объектов. Наблюдения выполнялись с применением V-фильтра системы Джонсона-Каззинса-Бесселя; предельная звездная величина полученного массива составила 15.5.

В качестве опорного каталога при выполнении астрометрических редукиций в обоих случаях использовался каталог UCAC2. Средняя квадратичная ошибка каталожного положения звезды находится в пределах 20-65 мсд по прямому восхождению и 30-70 мсд по склонению. Среднее число наблюдений одного объекта составляет 7.8 раза (в каталог вошли звезды с числом наблюдений не менее 3 раз).

**Таблица 1.** Результаты кросс-идентификации каталогов АМК 2008-2009 гг. и 2010-2011 гг. (всего 284 557 объектов).

Каталог	Кол-во объектов	Идентифицировано объектов АМК, %	Наличие собственных движений в каталоге	Временной интервал определения собственных движений
2MASS	~470 млн.	99	-	-
СМС (1 ... 11)	180 812	1	+	1984-1998
СМС-14	~96 млн.	96	-	-
HIPPARCOS	118 218	3	+	1989-1993
LSPM	61 977	0.3	+	~1950-2000
NPM	~400 000	1.5	+	1947-1988
PPMX	~18 млн.	56	+	~1900-2000
Tycho-2	~2.5 млн.	7	+	~1900-2000
USNO-A2.0	~526 млн.	96	-	-
XPM	~314 млн.	93	+	~1950-2000

Для кросс-идентификации каталогов АМК 2008-2009 гг. и 2010-2011 гг. в других звездных каталогах, получения собственных движений и поиска объектов 'delta-mu binary' Мартыновым М.В. разработан программный пакет "peto" (от лат. "искать, добиваться, стремиться"). Это пакет консольных скриптов (всего – 48 скриптов), написанных на современном мультиплатформенном языке программирования Python.

На данный момент пакет "peto" работает с 18 каталогами: 2mass, AC2000, СМС (1-11), СМС14, Hipparcos, NPM, PPMX, Tycho-2, UCAC2, UCAC3, UCAC4, USNO-A2.0, XPM, а также с каталогами звезд с большими собственными движениями h-rms2 и LSPM (более 40 и 150 mas/year соответственно), каталогом двойных и кратных

систем WDS, каталогом лучевых скоростей RAVE, списком звёзд-кандидатов в двойные и кратные системы delta-mu binaries. Также программный пакет допускает сравнительно быстрое и несложное расширение базы для кросс-идентификации, т.е. подключение других каталогов. С помощью программного пакета “reto” выполнена кросс-идентификация полученных на АМК данных с десятью звёздными каталогами. Результаты кросс-идентификации представлены в табл. 1.

Затем выполнен анализ собственных движений на предмет поиска  $\Delta\mu$  binaries объектов. Результаты данного поиска представлены в табл. 2. Вначале были сопоставлены между собой 3 разности между собственными движениями: полученными на разности положений каталогов АМК и CMC-14, АМК и 2mass, АМК и USNO-A2.0. При этом собственные движения  $pm_{(AMK - CMC-14)}$  и  $pm_{(AMK - 2MASS)}$  получены на разности эпох около 10 лет, поэтому их можно рассматривать как «квазимгновенные» и нельзя сравнивать между собой. В то же время собственные движения  $pm_{(AMK - USNO-A2.0)}$ , полученные для разности эпох 30-60 лет, можно рассматривать как «долговременные» и сопоставить с  $pm_{(AMK - CMC-14)}$  или  $pm_{(AMK - 2MASS)}$ .

**Таблица 2.** Результаты поиска  $\Delta\mu$  binaries объектов в каталогах АМК 2008-2011 гг. при  $F \geq 3.44$ .

Каталог АМК	$pm_{(AMK - CMC-14)}$ , $pm_{(AMK - 2MASS)}$ ----- $pm_{(AMK - USNO-A2.0)}$  (3 $pm \rightarrow 2 \Delta pm$ )	$pm_{(AMK - CMC-14)}$ , $pm_{(CMC-14 - CMC-11)}$ , $pm_{(Hip)}$ ----- $pm_{(AMK - USNO-A2.0)}$ , $pm_{(XPM)}$ , $pm_{(AMK - NPM)}$ (6 $pm \rightarrow 9 \Delta pm$ )
2008-2009 гг. (141 936)	1 216	4 886
2010-2011 гг. (142 621)	1 342	4 493
Всего:	2 558	9 379

Затем количество сравниваемых собственных движений было увеличено до 6: с одной стороны – «квазимгновенные»  $pm_{(AMK - CMC-14)}$ ,  $pm_{(CMC-14 - CMC-11)}$  и  $pm_{(Hipparcos)}$ ; с другой – определённые на значительно большем промежутке времени, так называемые «долговременные»,  $pm_{(AMK - USNO-A2.0)}$ ,  $pm_{(XPM)}$ ,  $pm_{(AMK - NPM)}$ . 6 собственных движений даёт до 9 сравниваемых разностей собственных движений (для одной и той же звезды может не быть всех 6-и собственных движений). В предположении, что для определения объекта как  $\Delta\mu$  binary достаточно, если хотя бы одна разность из 9 будет удовлетворять критерию  $F$ , количество кандидатов в двойные и кратные системы увеличилось примерно в 4 раза, что видно из табл. 2.

Одиночная звезда может быть ошибочно отнесена к  $\Delta\mu$ -binary как из-за некорректной оценки точности каталожных данных, так и из-за ошибок кросс-идентификации, нередко затруднённой, например, для “быстрых” звёзд. Несмотря на вероятностную природу методики определения  $\Delta\mu$  binaries, принадлежность объекта к их списку имеет смысл учитывать при выполнении дальнейших исследований этих звёзд. Наблюдения на больших инструментах могли бы в будущем подтвердить их двойную природу, а также определить ряд их астрофизических характеристик, необходимых, в частности, для детального изучения галактической окрестности Солнца.

### **Выводы**

В результате анализа результатов наблюдений на Аксиальном меридианном круге Николаевской астрономической обсерватории в течение 2008-2011 гг. с помощью оценки статистической значимости разностей «квазимгновенных» и «долговременных» собственных движений по отношению к ошибкам их определения был получен список вероятных кандидатов в двойные и кратные системы, обладающие невидимыми спутниками, общей численностью 9 379 объектов.

Данная методика выявления астрометрических двойных является лишь первым этапом изучения класса  $\Delta\mu$  binaries объектов, извлекающим кандидаты в двойные и кратные системы из весьма многочисленных массивов звёздных каталогов. Для более тщательного изучения и получения физических характеристик предполагаемых двойных и кратных систем, представляемых визуально одиночными звёздами, требуются другие методы, которые бы продолжили работу с полученным списком  $\Delta\mu$  binaries. В частности, перспективным выглядит привлечение методов анализа временных рядов, но он требует значительного расширения списка привлекаемых каталогов с различными эпохами наблюдения – для их перекрёстной кросс-идентификации и как можно более плотного наполнения истории наблюдения  $\Delta\mu$  binary объекта. Для последней цели также многообещающими являются виртуальные интернет-технологии (VAO), получившие столь большое распространение в астрономии в последнее время.

### **Литература**

1. *R. Wielen, C. Dettbarn, H. Jahreiß, H. Lenhardt, and H. Schwan.* Indications on the binary nature of individual stars derived from a comparison of their HIPPARCOS proper motions with ground-based data. I. Basic principles // *Astronomy and Astrophysics*, 1999, V. 346, 675-685.
2. *Хруцкая Е.В., Бережной А.А., Ховричев М.Ю.* Исследование движений быстрых звёзд на основе результатов наблюдений, полученных с помощью Пулковского нормального астрографа // *Письма в астрономический журнал*, 2011, т. 37, № 6, 458-469.
3. *Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Процюк Ю.И. и др.* ПЗС–аксиальный меридианный круг Николаевской обсерватории // *Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики: Тр. конф. - СПб: ИТА РАН, 1996, 91–96.*
4. *Майгурова Н.В., Мартынов М.В., Пинигин Г.И.* Каталог звёзд в площадках аксиального меридианного круга Николаевской обсерватории // *Кинематика и физика небесных тел*, 2013, № 1, 68-80.

### **SEARCH FOR $\Delta\mu$ -BINARY SYSTEMS IN THE FIELDS OF AXIAL MERIDIAN CIRCLE OF NIKOLAEV OBSERVATORY**

**Martynov M., Maigurova N., Pinigin G.**  
*RI "Nikolaev Astronomical Observatory"*

Two catalogs of the 284,557 stars were received as a result of observations in 2008-2009 with using Axial Meridian Circle of RI "Nikolaev Astronomical Observatory". The comparison of the quasi-instantaneously measured proper motion with the long-term averaged proper motion is used as method of analysis of their data. If the differences of the proper-motion  $\Delta\mu$  are statistically significant with respect to their measured errors, the objects are very probably double stars. The list of the probable candidates of the double and multiple systems with invisible companions is contained 9,379 objects.