

УДК 52 (085)

М. В. Мартинов, Н. В. Майгурова, Г. І. Пінігін

Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія»
вул. Обсерваторна 1, Миколаїв, 54030

**Астрометричні подвійні з невидимими супутниками
у площадках аксіального меридіанного круга
Миколаївської обсерваторії**

У результаті спостережень у 2008—2011 рр. на аксіальному меридіанному крузі НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» були отримані два каталоги загальною чисельністю 284 557 об'єктів. Для пошуку імовірних кандидатів у подвійні і кратні системи було застосовано методу, яка перевіряє різниці «квазімиттєвих» і «довготривалих» власних рухів на статистичну значущість. Отримано список із 9 379 об'єктів — імовірних кандидатів у подвійні і кратні системи, що мають невидимі супутники.

АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ДВОЙНЫЕ С НЕВИДИМЫМИ СПУТНИКАМИ В ПЛОЩАДКАХ АКСИАЛЬНОГО МЕРИДИАННОГО КРУГА НИКОЛАЕВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ, Мартынов М. В., Майгурова Н. В., Пинигин Г. И. — В результате наблюдений в 2008—2011 гг. на аксиальном меридианном круге НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» были получены два каталога общей численностью 284 557 объектов. Для поиска вероятных кандидатов в двойные и кратные системы была применена методика, проверяющая разности «квазимгновенных» и «долговременных» собственных движений на статистическую значимость. Был получен список из 9379 объектов — вероятных кандидатов в двойные и кратные системы, обладающие невидимыми спутниками.

ASTROMETRIC BINARIES WITH INVISIBLE COMPONENTS IN FIELDS OF THE AXIAL MERIDIAN CIRCLE OF THE NIKOLAEV OBSERVATORY, by Martynov M., Maigurova N., Pinigin G. — Two catalogues (284557 objects in all) were compiled as a result of observations in

2008—2009 with the axial meridian circle of the RI “Nikolaev Astronomical Observatory”. A comparison of quasi-instantaneous measured proper motions with long-term averaged proper motions is used as a procedure of searching for probable candidates in multiple systems. If the differences for proper motions are statistically significant, the objects very probably are double stars. Our list of probable candidates for double and multiple systems with invisible companions contains 9379 objects.

Один з актуальних напрямків досліджень близьких до Сонця зірок — пошук і вивчення зірок з невидимими (на даному етапі розвитку техніки спостережень) супутниками субзіркових мас. У ході таких досліджень, що ведуться в різних обсерваторіях світу [4, 6], виявлено періодичні коливання орбітального руху багатьох зірок, викликані наявністю невидимого супутника.

Є багато методів визначення подвійної природи небесного об'єкта, який візуально видається одиночним. У даній роботі використовується порівняно новий метод пошуку невидимих компонентів подібних систем [6]. Він був розроблений при створенні каталогу FK6 і ґрунтується на порівнянні власних рухів зірок, отриманих за різні часові інтервали, у припущенні, що для подвійної системи з «невидимим» компонентом рух її фотоцентра на тривалому проміжку часу буде не лінійним, а хвилеподібним. Якщо звичайна практика отримання власних рухів за наземними спостереженнями спирається на спостереження з різницею епох $T = 20 \dots 50$ років і більше, то власні рухи, отримані з різницею епох $T = 10$ років і менше, можуть розглядатися в рамках даної методики як «квазімиттеві».

В роботі [6] порівнювалися «квазімиттеві» власні рухи, взяті з каталогу HIPPARCOS, і середні («довготривалі») власні рухи за сторіччя, приведені в каталозі FK5, а також отримані порівнянням положень HIPPARCOS з положеннями каталогу GC. Якщо різниця власних рухів виявлялась статистично суттєвою відносно похибки їхнього визначення, то об'єкт з великою ймовірністю вважався подвійною системою. Було запропоновано назвати клас таких об'єктів « β -подвійні» (β binary). В іншому випадку зірка є «кандидатом у одиночні зірки» (single star candidate), якщо немає інших підтверджень її кратної природи.

Основне статистичне припущення, яке було взяте за основу виявлення β -об'єктів, ґрунтується на F -критерії, де:

$$F^2 = \frac{\overline{RA}^2}{RA} + \frac{\overline{DEC}^2}{DEC},$$

\overline{RA} , \overline{DEC} — відповідні різниці «довготривалих» і «квазімиттевих» власних рухів, RA , DEC — похибки їхнього визначення.

В роботі [6] запропоновано вважати β -подвійними ті об'єкти, для яких $F > 3.44$. При такому значенні на 10000 зірок прийдеться усього

27 помилкових визначень μ -подвійних, якщо їхні власні рухи в порівнюваних каталогах є нормально розподіленими величинами, в одній опорній системі, за відсутності значних систематичних помилок.

Дану методику вирішено застосувати до каталогів, отриманих за результатами ПЗЗ-спостережень на аксіальному меридіанному крузі (АМК, $D = 18$ см, $F = 2.49$ м, S1C 1094 1160 пкл, 16 16 мкм) [2] НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» у 2008—2011 рр.

Каталог 2008—2009 рр. містить положення та власні рухи 140 321 зірки, розташованих в основному у площадках вздовж екліптики (98 %) і навколо зірок з великими власними рухами [3]. Спостереження виконувалися в інтегральному світлі без застосування фільтра. Гранічна зоряна величина каталогу дорівнює 16.5^m .

У 2010—2011 рр. програму спостережень на АМК становили зірки з великими власними рухами. Список для спостережень вибрано з каталогів LSPM [5] і зведеного каталогу зірок з великими власними рухами h-rms2 [1], створеного в Головній астрономічній обсерваторії Національної академії наук України Г. О. Івановим. В результаті обробки отримано положення і власні рухи 142621 зірки у площадках навколо програмних об'єктів. Спостереження виконувалися із застосуванням V-фільтра системи Джонсона — Каззінса — Бесселя; гранічна зоряна величина отриманого масиву склала 15.5^m .

За опорний каталог при виконанні астрометричних редукцій в обох випадках використовувався каталог UCAC2. Середня квадратична помилка каталожного положення зірки лежить в межах 20—65 мсд по прямому сходженню і 30—70 мсд по схиленню. Середнє число спостережень одного об'єкта складає 7.8 раза (в каталог увійшли зірки з числом спостережень не менш трьох разів).

Для крос-ідентифікації каталогів АМК 2008—2009 рр. і 2010—2011 рр. в інших зоряних каталогах, отримання власних рухів і пошуку μ -подвійних М. В. Мартиновим розроблено програмний пакет «reto». Це пакет із 48 консольних скриптів, створених на сучасній мультиплатформовій мові програмування Python.

На даний момент пакет «reto» працює з 18 каталогами: 2MASS, AC2000, CMC (1-11), CMC14, HIPPARCOS, NPM, PPMX, «Tycho-2», UCAC2, UCAC3, UCAC4, USNO-A2.0, XPM, а також з каталогами зірок з великими власними рухами h-rms2 і LSPM (> 40 і 150 мсд/рік відповідно), каталогом подвійних і кратних систем WDS, каталогом променевих швидкостей RAVE, списком зірок-кандидатів у подвійні і кратні системи « μ -подвійні». Також програмний пакет допускає порівняно швидке і нескладне розширення бази для крос-ідентифікації, тобто підключення інших каталогів. За допомогою програмного пакету «reto» виконано крос-ідентифікацію отриманих на АМК даних з десятима іншими зоряними каталогами. Результати крос-ідентифікації представлено в табл. 1.

Після цього виконано аналіз власних рухів на предмет пошуку μ -подвійних. Результати даного пошуку представлено в табл. 2. Спо-

Таблиця 1. Результати крос-ідентифікації каталогів АМК 2008—2009 рр. і 2010—2011 рр. (усього 284 557 об'єктів)

Каталог	Кількість об'єктів	Ідентифіковано об'єктів АМК, %	Наявність власних рухів у каталозі	<i>T</i> , роки
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

Таблиця 2. Результати пошуку *p*-подвійних в каталогах АМК 2008—2011 рр. при *F* 3.44

Каталог АМК	$p_{(AMK - CMC14)}$ $p_{(AMK - 2MASS)}$	$p_{(AMK - CMC14)}$ $p_{(CMC14 - CMC11)}$ $p_{(HIP)}$
	$p_{(AMK - USNO-A2.0)}$ (3 <i>p</i> 2 <i>p</i>)	$p_{(AMK - USNO-A2.0)}$ $p_{(XPM)}$ $p_{(AMK - NPM)}$ (6 <i>p</i> 9 <i>p</i>)
2008—2009 рр. (141936)	1 216	4 886
2010—2011 рр. (142621)	1 342	4 493
Усього	2 558	9 379

чатку були зіставлені між собою три різниці між власними рухами, отримані на різниці положень каталогів: (АМК – СМС-14), (АМК – 2MASS), (АМК – USNO-A2.0). При цьому власні рухи $p_{(AMK - CMC14)}$ та $p_{(AMK - 2MASS)}$ отримано на різниці епох близько 10 років, тому їх слід вважати «квазімиттевими» і не можна порівнювати між собою. У той же час власні рухи $p_{(AMK - USNO-A2.0)}$ отримано для різниці епох 30—60 років, тому їх можна розглядати як «довготривалі» і зіставляти з $p_{(AMK - CMC14)}$ або $p_{(AMK - 2MASS)}$.

Потім кількість порівнюваних власних рухів було збільшено до шести: з одного боку — «квазімиттеві» $p_{(AMK - CMC14)}$, $p_{(CMC14 - CMC11)}$ та $p_{(HIPPARCOS)}$, з іншого — визначені на значно більшому проміжку часу, так звані «довготривалі», $p_{(AMK - USNO-A2.0)}$, $p_{(XPM)}$, $p_{(AMK - NPM)}$. Із шести значень власних рухів можна скласти до дев'яти порівню-

ваних різниць власних рухів (для однієї і тієї ж зірки може не бути усіх шести значень власних рухів). У припущенні, що для визначення об'єкта як « α -подвійний» досить, якщо хоча б одна різниця з дев'яти задовольняє F -критерій, кількість кандидатів у подвійні і кратні системи збільшилася приблизно у чотири рази, що видно з табл. 2.

Одиночна зірка може бути помилково віднесена до α -подвійних як через некоректну оцінку точності каталожних даних, так і через помилки крос-ідентифікації, яка нерідко утруднена, наприклад, для «швидких» зірок. Незважаючи на ймовірнісну природу методики визначення α -подвійних, належність об'єкта до їхнього списку доцільно враховувати при виконанні подальших досліджень цих зірок. Спостереження на великих інструментах могли б у майбутньому підтвердити їхню подвійну природу, а також визначити ряд астрофізичних характеристик.

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу результатів спостережень на аксіальному меридіанному крузі Миколаївської астрономічної обсерваторії протягом 2008—2011 рр. за допомогою оцінки статистичної суттєвості різниць «квазімиттєвих» і «довготривалих» власних рухів відносно помилок їхнього визначення отримано список імовірних кандидатів у подвійні і кратні системи, що мають невидимі супутники, загальною чисельністю 9 379 об'єктів.

Ця методика виявлення астрометричних подвійних є лише першим етапом вивчення класу α -подвійних, що знаходить кандидатів у подвійні і кратні системи на досить чисельних масивах зоряних каталогів. Для ретельнішого вивчення та отримання фізичних характеристик імовірних подвійних і кратних систем, що візуально виглядають одиночними зірками, потрібні інші методи, які б продовжили роботу з отриманим списком α -подвійних. Зокрема, перспективним видається залучення методу аналізу часових рядів, але він вимагає значного розширення списку залучених каталогів з різними епохами спостереження — для їхньої крос-ідентифікації та якомога щільнішого наповнення історії спостереження α -подвійного об'єкта. Для останньої мети багатообіцяючими є віртуальні інтернет-технології (VAO), які останнього часу отримали велике поширення в астрономії.

1. *Иванов Г. А.* Каталог звезд с большими собственными движениями (версия 2.0) // Кинематика и физика небес. тел.—2008.—**24**, № 6.—С. 480—483.
2. *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. — С.-Пб: ИТА РАН, 1996.—С. 91—96.
3. *Майгурова Н. В., Мартынов М. В., Пинигин Г. И.* Каталог звёзд в площадках аксиального меридианного круга Николаевской обсерватории // Кинематика и физика небес. тел.—2013.—**29**, № 1.—С. 68—80.

4. 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 Астрон. журн.—2011.—**37**, № 6.— С. 458—469.
5. *Lepine S., Shara M.* A Catalog of Northern Stars with Annual Proper Motions Larger than 0.15 (LSPM-NORTH Catalog) // *Astron. J.*—2005.—**129**, N 3.—P. 1483—1522.
6. *Wielen R., Dettbarn C., Jahreiss H., et al.* Indications on the binary nature of individual stars derived from a comparison of their HIPPARCOS proper motions with ground-based data. I. Basic principles // *Astron. and Astrophys.*—1999.— **346**.— P. 675—685.

Стаття надійшла до редакції 10.12.12