

УДК 524.62-32

**С. П. Рыбка**

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного 27

### **Сводный каталог двумерной спектральной классификации звезд с астрометрическими и фотометрическими данными**

*Представлена методика составления сводного каталога, созданного по опубликованному астрометрическому и астрофизическому материалу для изучения кинематики звезд. Он содержит двумерную спектральную классификацию, положения, собственные движения и BV величины для 71 334 одиночных звезд. Преобладающее большинство астрометрических и фотометрических данных выбрано из каталога TYCHO-2. Шесть исходных спектральных каталогов, доступных для пользователей из Страсбургского центра CDS, являются источником классификации спектров звезд в системе МК. Аналогичная информация, размещенная в каталоге HIPPARCOS, была использована как дополнительная.*

*ЗВЕДЕНИЙ КАТАЛОГ ДВОВИМІРНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗІР З АСТРОМЕТРИЧНИМИ ТА ФОТОМЕТРИЧНИМИ ДАНИМИ, Рыбка С. П. — Наведено метод створення зведеного каталогу, складеного на підставі опублікованого астрометричного та астрофізичного матеріалу для вивчення кінематики зір. Він містить двовимірну спектральну класифікацію, положення, власні рухи та BV величини для 71 334 зір. Переважна більшість астрометричних і фотометричних даних вибрана з каталогу TYCHO-2. Шість вихідних спектральних каталогів, які доступні для користувачів із центру CDS у Стразбурзі, є джерелом класифікації спектрів зір у системі МК. Аналогічна інформація, що міститься у каталозі HIPPARCOS, була використана як додаткова.*

*COMPILED CATALOGUE OF MK SPECTRAL CLASSIFICATIONS, INCLUDING ASTROMETRIC AND PHOTOMETRIC DATA, by Rybka S. P. — The catalogue constructed as a tool for stellar kinematic analysis is described. It contains up-to-date information on spectral classifications in the MK system, positions and proper motions in the ICRS system, as well as BV magnitudes for 71 334 single stars. Astrometry and photometry were mainly selected from the Tycho-2. MK spectral types and luminosity classes were combined after revision of 6 original spectral catalogues, available from CDS. Hipparcos spectra classified in the MK system were added to combined data.*

Основная цель работы — объединить в одном каталоге опубликованный астрометрический и астрофизический материал для изучения кинематики возможно большего числа звезд. Новые перспективы в этой области исследований открылись после создания каталога HIPPARCOS. На протяжении многих лет существовала проблема определения вращательных компонент местного поля скоростей по собственным движениям звезд, полученным во вращающейся системе координат. Каталог HIPPARCOS реализует Международную опорную систему координат ICRS в оптическом диапазоне, которая привязана к радиоисточникам и обладает ничтожно малым остаточным вращением. В результате обработки наблюдений, выполненных на борту одноименного астрометрического спутника, впервые были получены собственные движения 117 955 звезд с точностью 0.001"/год при отсутствии систематических ошибок, превышающих 0.0001"/год. За последние годы созданы также новые астрометрические каталоги высокоточных собственных движений, распространяющие систему HIPPARCOS на значительно большее число звезд. Среди них самым массовым каталогом является TYCHO-2 [5]. Он покрывает все небо и содержит собственные движения 2.5 миллионов наиболее ярких звезд, определенных с точностью 0.0025"/год. Однако наблюдательный материал для исследования звездной кинематики должен включать не только собственные движения, но и астрофизические данные. Так, двумерная спектральная классификация звезд в системе Моргана-Кинэна (МК), содержащая наряду с температурным еще и класс светимости, дает информацию о физических свойствах звезд, которые коррелируют с их кинематикой. Кроме того, классификация МК совместно с фотометрией позволяет определять расстояния до звезд. Доля имеющихся спектральных данных по сравнению с собственными движениями невелика, но с течением времени она все же растет. Существующие отдельные и общие каталоги спектральной классификации звезд в системе МК собраны в международных центрах астрономических данных. В частности, они доступны по сети интернет из центра CDS в Страсбурге.

Исходя из практических соображений, работу по созданию сводного каталога астрометрических и астрофизических данных было удобнее разбить на два этапа. На первом этапе составлялся промежуточный каталог, который объединяет имеющийся спектральный материал. На втором — проводилось отождествление звезд полученного списка в астрометрических каталогах, чтобы обеспечить их точными положениями, собственными движениями и звездными величинами.

Для выполнения первого этапа работы из спектрального раздела базы данных Страсбургского центра CDS были выбраны 6 каталогов двумерной спектральной классификации звезд, созданные в 1964—1999 гг. Основные критерии отбора — массовость источников и возможность идентификации входящих в них звезд в астрометрических каталогах. Исключение составили пять томов Мичиганского спектрального обозрения звезд HD в системе МК (от  $-90^\circ$  до  $+5^\circ$  склонения) по причине незаконченности этого проекта. В отобранных источниках сосредоточена значительная часть требуемых данных, они вместе насчитывают более 100000 звезд. Общий объем остальных каталогов раздела, учитывая вышеупомянутые исключения, гораздо меньше. Как правило, они содержат редко встречающиеся звезды, представляющие огромный интерес для астрофизики. Например, белые и красные карлики, звезды с различными аномалиями в спектрах и т. п.

Пять выбранных для данной работы каталогов [2, 3, 6—8] объединяют спектральный материал, собранный по многочисленным литературным источникам, а один [1] является оригинальным и получен из непосредственной обработки наблюдений. В эти каталоги кроме двумерной спектральной

классификации в системе МК помещены также приближенные экваториальные координаты, фотометрические характеристики и номера звезд из других каталогов. Предельная фотографическая звездная величина изменяется от 12–13<sup>m</sup> в старых исходных каталогах до 16<sup>m</sup> — в более новых. Среди идентификаторов звезд встречаются самые разнообразные, но чаще всего — из обозрений HD, BD, CD и CPD. Исходя из цели данной работы, не все звезды отдельных каталогов вошли в состав объединенного. Так, исключались двойные и кратные звезды, поскольку их собственные движения определяются в среднем хуже, чем одиночных звезд. Не рассматривались также звезды скоплений и внегалактические объекты, обладающие своей особенной кинематикой. Для этого использовались специальные признаки звезд, которые обычно приводятся в каталогах.

Прежде чем составить промежуточный каталог, необходимо было выявить данные различных источников, относящиеся к одним и тем же звездам. Методика поиска звезд, общих для двух и более источников, основывалась на сопоставлении их экваториальных координат во всех списках. Предварительно, положения переводились на одно равноденствие J2000.0 (при необходимости), а затем производилась сортировка звезд в соответствии с ростом их прямого восхождения. Следует отметить, что предварительное упорядочение расположения звезд в исходных каталогах позволило повысить эффективность работы алгоритма отождествления. Этот алгоритм заключался в нахождении звезд, для которых разности соответствующих координат в сравниваемых списках не превышали предельно допустимого значения, т. е. критерия отождествления. Из-за плохой точности положений, а она составляет в среднем 1', такая процедура повторялась неоднократно, употребляя каждый раз постепенно увеличивающийся критерий от 0.5' до 1.5' и исключая из рассмотрения уже отождествленные звезды. Несмотря на это, в некоторых случаях не удалось добиться однозначного отождествления звезд. Когда возникали сомнения, для выбора самого подходящего из нескольких отождествленных кандидатов дополнительно привлекались такие характеристики звезд, как оценка их блеска или номера.

Результаты отождествления использовались при объединении выбранных источников двумерной спектральной классификации звезд в промежуточном каталоге. Он составлен таким образом, что все данные для каждой звезды взяты из одного каталога-источника. Отождествленные звезды встречаются в списке один раз, а характеристики для них приводятся из исходного каталога, обладающего самым высоким приоритетом. Назначение приоритета зависело от времени создания каталогов, так что наиболее поздний из них получал наивысший приоритет, полагаясь на соответствующее повышение качества и надежности классифицирования спектров. В результате, промежуточная версия общего каталога содержит двумерную спектральную классификацию, приближенные экваториальные координаты и фотометрические данные около 63 000 одиночных звезд, при этом классификация является их основной характеристикой. Как выяснилось в процессе дальнейшей работы, в объединенном списке все же остались так называемые «звезды-двойники», что обусловлено довольно грубыми координатами, помещенными в исходных каталогах. Такие недостатки были частично устранены при отождествлении звезд этого списка в астрометрических каталогах.

Поскольку при создании промежуточного каталога использовался, хотя и значительный, но не весь имеющийся материал по МК классификации, для возможного расширения полученного списка звезд привлекался каталог HIPPARCOS [9]. Около 33 000 одиночных звезд этого каталога обеспечены

двумерной спектральной классификацией, выбранной в основном из базы данных в Страсбурге. Вследствие одинакового источника информации только часть этой выборки могла дополнить промежуточный каталог. Действительно, 30 % звезд рассматриваемой выборки было отождествлено в этом каталоге при помощи вышеописанной методики. Остальные звезды были включены в объединенный ранее список, расширив его состав до 85 000 звезд. Точные положения, звездные величины, показатели цвета и МК классификация спектров добавочных звезд были взяты из каталога HIPPARCOS.

Так как главным материалом для изучения кинематики звезд являются их собственные движения, то в полученный каталог необходимо было включить такие данные, при этом они должны удовлетворять строгие требования. А именно, определение с высокой точностью в современной системе координат ICRS. Среди существующих каталогов, которые полностью отвечают этим требованиям, TYCHO-2 — самый большой. Поэтому он был выбран в качестве основного источника собственных движений звезд окончательной версии сводного каталога. Кроме того, TYCHO-2 содержит однородные и точные звездные величины в полосах  $B_T$ ,  $V_T$ , что важно для кинематических исследований. Как дополнительные источники перечисленных данных, использовались также каталоги АСТ [10] и HIPPARCOS.

Таким образом, для составления окончательной версии сводного каталога проводилось отождествление звезд промежуточной версии сначала в TYCHO-2, а затем в АСТ и HIPPARCOS по вышеописанной методике. Предварительно, из астрометрических каталогов исключались звезды с ненадежными собственными движениями, а также двойные, кратные и переменные звезды. Учитывая перечисленные ограничения, в промежуточном каталоге удалось отождествить 70681 звезду из TYCHO-2, 492 — только из АСТ и 161 — только из HIPPARCOS. В результате, окончательная версия сводного каталога содержит совокупность этих 71 334 звезд, обеспеченных точными положениями, собственными движениями и звездными величинами по данным астрометрических каталогов, а также двумерной спектральной классификацией — из промежуточной версии. Среди примерно 14 000 неотожествленных звезд, которые поэтому и не вошли в состав окончательной версии, большинство являются довольно слабыми 14—16 величины. Вполне понятно, что идентификация таких звезд в рассматриваемых астрометрических каталогах маловероятна. Однако, в число неотожествленных попали и более яркие звезды, что трудно объяснить. Возможные причины этого — грубые ошибки в координатах и номерах звезд спектральных каталогов, повлиявшие пагубно на результаты идентификации. К сожалению, в астрофизических каталогах нередко присутствуют подобные ошибки, что подтвердилось при выполнении настоящей работы, и особенно касается звездных номеров. Вследствие ненадежности и неоднородности последняя информация в окончательной версии не сохранена, а приводятся номера HD, заимствованные из работы [4], где даны результаты отождествления звезд этого обозрения в TYCHO-2.

Приведем основные характеристики составленного каталога. Он содержит 71 334 одиночные звезды, среди которых 43 012 — объекты южного полушария неба, а 28 322 — северного. Для каждой звезды приводятся точные экваториальные координаты и собственные движения, полученные в системе ICRS/J2000.0 и выбранные из трех массовых астрометрических каталогов. Эти каталоги также послужили источником точных и однородных фотометрических данных, среди которых преобладающее большинство (99.8 %) — звездные величины  $B_T$ ,  $V_T$  в системе TYCHO и всего 0.2 % —  $B_J$ ,  $V_J$  в системе Джонсона. Средняя звездная величина  $V_T$  в каталоге

составляет  $8.7^m$ , а  $B_T$  —  $9.5^m$ . И наконец, все звезды обеспечены двумерной спектральной классификацией в системе МК, собранной из доступных источников таких данных. Вклад каждого из семи использованных источников составляет: каталог HIPPARCOS — 30.9 %; 14 общий каталог спектральной МК классификации [3] — 15.7 %; 13 общий каталог спектральной МК классификации [2] — 18.2 %; классификация спектров звезд в площадках Каптейна 2 — 43 [1] — 4.8 %; расширение каталога МК классификаций [8] — 20.2 %; каталог избранных спектральных типов и классов светимости [7] — 10.0 %; каталог обсерватории Ла-Плата [6] — 0.2 %. Чтобы облегчить обработку спектрального материала, в окончательной версии сводного каталога размещены только самые необходимые из спектральных данных этих источников. А именно, в каталоге содержится однозначная информация о спектральном классе, спектральном подклассе и классе светимости.

В табл. 1 приведено количество звезд каталога в зависимости от их спектрального типа и класса светимости. Из 78 звезд, которые не учтены в

Таблица 1. Распределение звезд сводного каталога по спектральным типам и классам светимости

Спектральный тип	Класс светимости					Всего
	V	IV	III	II	I	
O	370	39	102	29	112	652
B	7808	1362	2271	676	783	12900
A	7601	1207	1171	262	352	10593
F	9768	1569	1079	337	357	13110
G	5700	1606	4620	339	196	12461
K	1923	745	14213	598	166	17646
M	251	9	3239	242	154	3895
Всего	33421	6537	26695	2483	2110	71256

Таблица 2. Описание данных сводного каталога в электронной форме

Байты	Формат	Единицы	Поле	Пояснения
2—5	I4	—	TY	Первая часть номера звезды TYCHO-2
7—11	I5	—	TYC2	Вторая часть номера звезды TYCHO-2
13	I1	—	TYC3	Третья часть номера звезды TYCHO-2
16—21	I6	—	HD	Номер HD по данным [4]
23—24	I2	часы	RAh	Прямое восхождение в системе ICRS на эпоху J2000.0 (ч)
26—27	I2	минуты	RAm	Прямое восхождение (мин)
29—35	F7.4	секунды	RAc	Прямое восхождение (с)
37	A1	—	DE—	Склонение в системе ICRS на эпоху J2000.0 (знак)
38—39	I2	градусы	DEd	Склонение в системе ICRS на эпоху J2000.0 (градусы)
41—42	I2	минуты дуги	DEm	Склонение (минуты дуги)
44—49	F6.3	секунды дуги	DEs	Склонение (секунды дуги)
52—58	F7.1	миллисекунды дуги	pmRA	Годичное собственное движение по прямому восхождению, $pmRA \cdot \cos(DE)$
61—67	F7.1	миллисекунды дуги	pmDE	Годичное собственное движение по склонению
69—74	F6.3	mag	B	Звездная величина $B_T$ или $B_I$
76—81	F6.3	mag	V	Звездная величина $V_T$ или $V_I$
83	A1	—	flag1	Указатель для звездных величин
85—87	A3	—	flag2	Источник астрометрических и фотометрических данных
89—94	A6	—	Sp	Спектральная классификация в системе МК
97	I1	—	flag3	Источник спектральной классификации

этой таблице, 40 — субкарлики VI класса светимости, 37 — углеродные и одна — циркониевая звезда. Кроме вышеперечисленной, в каталоге также имеется дополнительная информация в виде звездных идентификаторов HD и TYCHO-2, указателей источников астрометрического, фотометрического и спектрального материала. Он будет размещен на домашней странице ГАО НАН Украины и доступен для пользователей по сети интернет: <http://www.mao.kiev.ua/SPPM>.

В табл. 2 приводится описание данных этого каталога в электронной форме. Созданный каталог будет применен для изучения кинематики звезд в зависимости от их спектров и расстояний.

1. *Бартая Р. А.* Каталог спектральных классов и классов светимости 10 396 звезд в площадках Каптейна N 2-43 // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.—1979.—№ 51.—С. 2—315.
2. *Buscombe W.* MK spectral classifications, 13th General Catalogue, Epoch 2000, including UBV photometry. — Evanstone, Illinois, Northwestern Univ., 1998.—(ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/III/206).
3. *Buscombe W.* MK spectral classifications, 14th General Catalogue, Epoch 2000, including UBV photometry. — Evanstone, Illinois, Northwestern Univ., 1999.—(ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/III/222).
4. *Fabricius C., Makarov V. V., Knude J., et al.* Henry Draper Catalogue identifications for Tycho-2 stars // *Astron. and Astrophys.*—2002.—386, N 5.—P. 709—710.
5. *Hog E., Fabricius C., Makarov V. V., et al.* The Tycho-2 catalogue of 2. 5 million brightest stars // *Astron. and Astrophys.*—2000.—355, N 2.—P. L27—L30.
6. *Jaschek C., Conde H., de Sierra A. C.* Catalogue of stellar spectra classified in the Morgan-Keenan system // *Publ. La Plata observ., ser. astron.*—1964.—28, N 2.—P. 2—153.
7. *Jaschek M.* Catalogue of selected spectral types in the MK system // *Bull. Inform. CDS.*—1978.—N 15.—P. 121—122.
8. *Kennedy P. M.* MK classification Catalogue Extension. — Mt Stromolo and Siding Spring Observ., Australia, 1983.—(ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/III/78).
9. *The Hipparcos and Tycho Catalogues.* — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—Vol. 1—17.
10. *Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L.* The ACT reference Catalog // *Astron. J.*—1998.—115, N 5.—P. 2161—2166.

Поступила в редакцию 16.12.02