

УДК 524.4

К вопросу о применении метода $P-Q$ диаграмм для изучения звездных скоплений

В. И. Кузнецов

В области вокруг скопления NGC 2244 проведено сравнение истинных цветов звезд, полученных по результатам спектральной классификации звезд до 14.0^m (V) с аналогичными данными по $P-Q$ методу. Классификация проводилась по нерасширенным низкодисперсным спектрограммам по снимкам 70-см менискового телескопа с 4-градусной предобъективной призмой Абастуманской астрофизической обсерватории (обратная дисперсия 66.6 нм/мм у $H\gamma$). Показано, что фотометрический метод неприменим для определения истинных цветов звезд, выделения звезд — вероятных членов скопления и исследования физических характеристик звездных скоплений.

ON THE APPLICATION OF THE P-Q DIAGRAMS METHOD FOR INVESTIGATION OF STAR CLUSTERS, by Kuznetsov V. I.— Intrinsic colour indices obtained from photometric data and from spectral classification of stars up to $V=14.0^m$ in the region around NGC 2244 are compared. The classification is carried out by the method developed for unwidened stellar spectra obtained with the 70-cm meniscus telescope equipped with 4° objective prism at the Abastumani Astrophysical Observatory (dispersion 66.6 nm/mm at $H\gamma$). The $P-Q$ photometric diagram method is shown to be inapplicable for the determination of intrinsic colour indices, for isolation of probable members of clusters, as well as for investigation of physical parameters of star clusters.

В работе [11] на основании фотометрических данных определено, что отношение общего поглощения к селективному в направлении скопления NGC 2244 не отличается от общепринятого и составляет 3.2. При этом, в качестве дополнительного способа для определения величины $R=A_V/E_{B-V}$, использован метод $P-Q$ диаграмм, как один из вариантов метода переменного поглощения. Необходимость проведения этой работы вызвана противоречивыми сведениями [7, 8, 14] о значении величины R в данном направлении.

Кроме того, на основе UBV фотометрии 365 звезд вокруг скопления NGC 2244, методом $P-Q$ диаграмм выделена 161 ранняя $O-A0$ -звезда — вероятные члены скопления. Для этих звезд определены истинные цвета $(B-V)_0$ и другие индивидуальные характеристики. С их помощью построены различные зависимости, диаграммы и определены некоторые параметры скопления NGC 2244: масса звездной составляющей, соотношение ее с массой газовой составляющей ($H I + H II$), возраст [11].

В области диаметром около $40'$ вокруг центра скопления NGC 2244 нами проведена спектральная классификация 193 звезд. Классификация проводилась по нерасширенным низкодисперсным спектрограммам в соответствии с ранее разработанной методикой и критериями [2—4]. В качестве наблюдательного материала использованы снимки, полученные на 70-см менисковом телескопе Абастуманской обсерватории с 4-градусной предобъективной призмой (обратная дисперсия 66.6 нм/мм у $H\gamma$) сотрудником Абастуманской обсерватории М. Д. Метревели. Сравнение этой классификации с оценками спектральных классов в системе MK , приведенными в работе [11], показано на рис. 1. На рис. 2 результаты классификации звезд по нерасширенным низкодисперсным спектрам, сопоставлены с данными каталога [1], полученными в Абастуманской системе критериев [5]. Сравнения, приведенные на рис. 1—2, показывают хорошее согласие.

Для 89 из 193 звезд имеются определения истинных цветов [11]. Кроме того, для некоторых относительно ярких звезд, имеются оценки спектральных классов в системе MK . Таким образом, из 161 звезды — вероятных членов скопления NGC 2244 (приведенных в табл. 4 работы [11]), 104 звезды имеют спектральные оценки. Их легко перевести в истинные цвета и сравнить со значениями $(B-V)_0$, полученными методом $P-Q$ диаграмм. Скопление NGC 2244 является очень молодым, поэтому при переводе спектральных оценок в значения $(B-V)_0$ сделано допущение о принадлежности всех звезд — вероятных членов

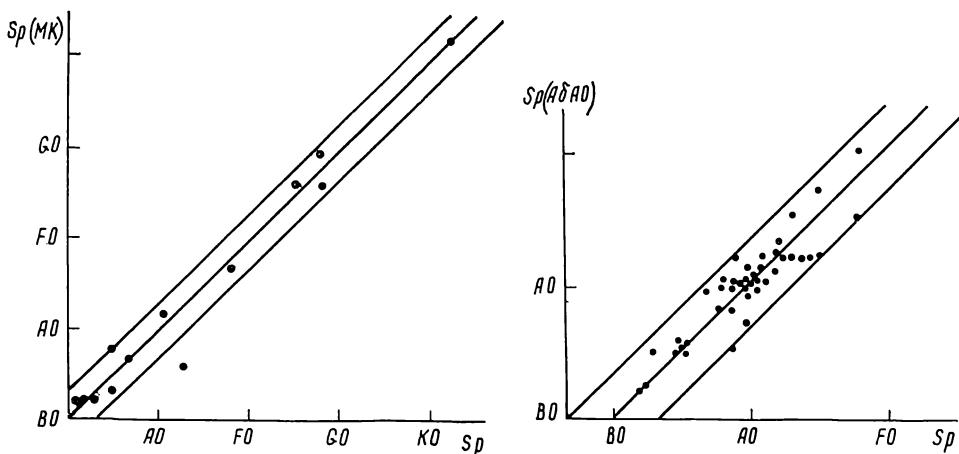


Рис. 1. Сравнение результатов классификации звезд по нерасширенным низкодисперсным спектрам с оценками спектров в системе MK

Рис. 2. Сравнение результатов классификации звезд по нерасширенным низкодисперсным спектрам с результатами спектральной классификации, проведенными в Абастуманской астрофизической обсерватории (АБАО)

скопления к главной последовательности. При этом следует заметить, что различия между значениями $(B-V)_0$ для звезд $O-A$ главной последовательности и гигантов, например, по данным [13], незначительны и составляют 0.01^m . Значения средней разности $(B-V)_0$ между звездами главной последовательности и сверхгигантами также относительно невелики и составляют 0.03^m , 0.07^m и 0.03^m соответственно для O , B и $A0-A5$ звезд.

В табл. 4 [11] приведены фотометрические характеристики 161 звезды — вероятных членов скопления NGC 2244. Истинные цвета этих звезд соответствуют спектральному интервалу $O-A$ [11]. Таким образом, предположение о принадлежности какой-либо звезды этого списка к более позднему спектральному классу (например, $F-M$) приведет к изменению истинного цвета звезды, ее светимости и расстояния. В результате вероятность принадлежности этой звезды скоплению снизится, и она может оказаться звездой фона. Иными словами, существование больших ошибок в определении истинных цветов звезд табл. 4 [11] может привести к серьезным ошибкам, связанным с отделением членов скопления от звезд фона. В свою очередь это отразится на конечных результатах определения физических параметров скопления и их последующей интерпретации. По этим причинам сравнение истинных цветов звезд, полученных фотометрическим и спектроскопическими методами, особенно в интервале величин слабых звезд от 13.0^m до 14.0^m (V), представляет особый интерес. Под фотометрическим методом подразумевается метод $P-Q$ диаграмм [11]. Результаты классификации спектроскопическим способом включают в себя оценки спектров в системе MK , в Абастуманской системе критериев и по нерасширенным низкодисперсным спектрограммам.

В процессе регистрации и классификации нерасширенных низкодисперсных спектров оказалось, что не все звезды табл. 4 [11] могут быть отнесены к спектральному интервалу O—A0. Это объясняется тем, что значение предельной величины классификации звезд O—A0 по нерасширенным низкодисперсным спектрограммам достигает 14.2^m (V) и уменьшается по мере перехода в сторону поздних звезд низкой светимости. (Предел полного охвата звезд O—A0 составляет 14.0^m.) Из 161 звезды O—A0 табл. 4 [11] спектральная классификация про-

Величины, истинные цвета и спектральные классы звезд

Номер звезды	V	(B—V) ₀	Sp ГАО	Sp МК	Sp А6 А0	Номер звезды	V	(B—V) ₀	Sp ГАО	Sp МК	Sp А6 А0
9	13.26 ^m	—0.07 ^m	B2	—	—	197	12.57	—0.13	A0:	—	—
12	13.57	—0.04	G2	—	—	198	12.66	—0.09	B8	—	A
17	13.76	—0.10	G2	—	—	200	8.55	—0.29	—	B0.5 V	B1 V
23	14.06:	0.00	B2	—	—	201	9.68	—0.29	—	B1 V	B1 V
25	13.30	0.00	B5	—	—	203	7.14	—0.32	—	O5 V	O5 V
30	12.72	—0.08	G0	—	—	209	14.21	0.00	B3:	—	—
36	13.31	—0.04	B5	—	—	215	13.40	—0.09	F5:	—	—
40	12.97	—0.11	F5	—	—	217	12.86	—0.05	F6	—	—
47	13.27	—0.14	F6	—	—	223	13.16	—0.05	F3	—	—
54	14.07	—0.08	B0	—	—	226	13.65	—0.11	B2:	—	—
55	13.67	0.00	F6	—	—	229	13.42:	—0.14	G3	—	—
56	12.91:	—0.01	F2	—	—	231	12.56	—0.16	B5	—	B5
59	12.16	—0.16	B9	—	—	232	13.62	—0.07	G0	—	—
61	13.86	—0.03	B5	—	—	233	12.85	—0.19	G0:	—	—
62	12.76	—0.20	B2	—	—	236	13.60	—0.17	G0	—	—
64	14.08	—0.06	B2	—	—	237	13.70	—0.12	B3	—	—
65	12.66	—0.09	G0	—	—	238	13.77	—0.03	B5:	—	—
71	13.97	—0.08	B0	—	—	244	14.02:	—0.12	B0	—	—
74	12.39	—0.12	B7	—	—	249	12.94	—0.11	A3	—	O
79	10.57	—0.24	—	B2 V	B0	261	13.30	—0.12	B1:	—	—
80	9.19	—0.28	—	B0.5 V	B0 V	264	13.50	—0.17	G3:	—	—
84	8.12	—0.31	—	O8 V	O8 V	267	12.84:	—0.14	B7	—	—
85	13.16	—0.04	F6	—	—	268	12.75	—0.00	A5:	—	—
86	13.60	0.00	B7	—	—	274	11.31	—0.24	B5	—	B5
95	13.80	0.00	B7	—	—	289	13.39:	—0.12	G0	—	—
105	13.86:	—0.08	B5	—	—	296	13.80	—0.14	F0	—	—
109	13.71:	—0.09	A0	—	A0:	298	12.57	—0.20	B9	—	A0 V
114	7.56	—0.31	—	O8.5 V	O9 V	299	13.70	—0.12	G8	—	—
115	7.90	—0.29	—	B0 V	B1	304	12.22	—0.22	G2	—	—
116	12.72	—0.10	B8	—	B	307	13.91	—0.08	B2	—	—
122	6.73	—0.32	—	O5 V	O6 V	308	13.67	—0.00	A0	—	—
124	12.96	—0.05	A2	—	—	316	14.13	—0.12	B3	—	—
128	9.32	—0.28	—	B1.5 V	B2 V	321	12.68	—0.24	G5	—	—
130	11.64	—0.20	B3	B2.5 V	B5	322	13.97	—0.13	B5:	—	—
136	13.45	—0.12	G8	—	—	327	13.56	—0.02	A1	—	A0 V
137	13.43:	—0.05	A0	—	A0 V	331	12.68	—0.10	B9	—	A0 V
140	13.84	0.00	A3	—	—	332	13.56	—0.00	A0	—	A0:
141	13.91	—0.09	F3	—	—	334	12.88	—0.19	B7	—	—
145	12.75	—0.10	F5	—	—	337	12.61	—0.11	B8	—	A0:
146	13.24	—0.01	G2	—	—	338	13.84	0.00	B5:	—	—
159	13.84	—0.05	B5	—	—	341	13.69	—0.13	B0:	—	—
160	12.68	—0.08	B8	—	A0 V	342	12.78:	—0.21	G5	—	—
164	13.21	—0.17	B8	—	—	344	13.57 ^m	—0.15 ^m	G1	—	—
167	10.73	—0.25	B2	B2 V	B2 V	345	12.85:	—0.20	B5	—	B5:
169	12.46	—0.16	F8	—	—	352	12.98	—0.22	G5	—	—
172	11.29	—0.21	B2	B2.5 V	B2 V	353	9.44	—0.31	—	—	B2:
174	13.50	0.00	B8	—	—	355	13.33:	—0.19	G5	—	—
180	8.10	—0.30	—	O9 V	O9 III	356	13.70	0.00	B9	—	—
190	11.24:	—0.22	—	B2.5 V	—	357	13.72	—0.12	B2	—	—
192	12.40	—0.14	—	—	B3 V	359	13.62	—0.17	G2:	—	—
193	10.24	—0.24	—	B2 V	B0 V	361	13.82:	—0.13	F5	—	—
194	11.94	—0.17	A3	B6 V	A5 V	362	12.47	—0.17	G3	—	—

ведена только для 104 звезд. Таким образом, остальные 57 звезд должны быть слабее 14.0^m (V). Анализ распределения этих звезд по величинам, проведенный по данным работы [11], показал, что большинство звезд заключено в интервале звездных величин 12.0^m — 14.0^m (V). Отсюда следует вывод: большинство из 57 звезд является звездами поздних спектральных типов (F — M) низкой светимости. По этой причине их спектры на пластинках находятся в области недодержек характеристических кривых негативов и не поддаются классификации.

В таблице для 104 звезд — вероятных членов скопления NGC 2244 приведены их номера, величины и истинные цвета (колонки 1—3),

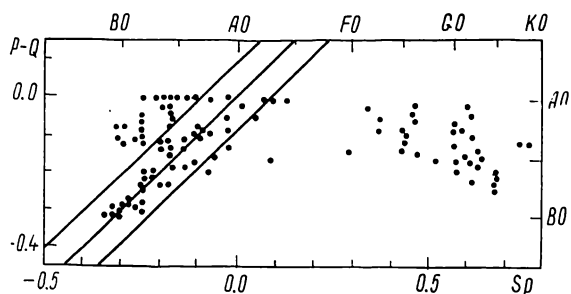


Рис. 3. Сравнение значений истинных цветов $(B-V)_0$, полученных по фотометрическим данным метода $P-Q$ диаграмм с результатами спектральной классификации звезд

определенные фотометрическим методом [11]. В колонках 4—6 приведены результаты классификации, полученные спектроскопическими способами. Сравнение значений истинных цветов звезд, полученных фотометрическим и спектроскопическими способами, приведено на рис. 3. Следует отметить, что согласие сравниваемых результатов значительно хуже, по сравнению с рис. 1—2. В первой части рис. 3 четко обозначилась группа из 35 звезд, спектры которых заключены в интервале $F0$ — $G8$, а не O — $A0$, как это следует из работы [11]. Не различить ранние и поздние звезды по спектрограммам практически невозможно. Поэтому предпочтение в достоверности и точности классификации, а значит, и в определении их истинных цветов, следует отдать спектральным способам, а не фотометрическому (по UBV величинам [11]), на которых базируется $P-Q$ метод. Обращает также на себя внимание большой разброс точек в левой части рис. 3. Это также можно отнести за счет ошибок фотометрического метода, поскольку для отделения O — $B3$ звезд от $A0$ — $A3$ спектроскопическими способами установлены достаточно надежные критерии классификации [2—5].

В фотометрическом методе в качестве критериев для выделения звезд — вероятных членов скопления и определения $(B-V)_0$ используются величины $P = V - R(B-V)$ и $Q = (U-B) - X(B-V)$, где $X = E_{U-B}/E_{B-V}$. Значения величин P и Q звезд поля и скопления зависят от точности определения UBV величин и цветов, на которые могут оказывать влияние эффекты переменности и неразрешимой двойственности (кратности) звезд, особенно проявляющиеся на слабых объектах. Положение главной последовательности нулевого возраста (ГПНВ), а значит и выделение звезд — вероятных членов скопления, будет зависеть от выбранной шкалы абсолютных величин и истинных цветов звезд. Значения величин P , Q , а значит, и $(B-V)_0$ будут зависеть от принятых коэффициентов R и X . Наконец, не следует забывать о неоднозначной зависимости между величиной Q и $(B-V)_0$ для звезд различных спектральных классов и светимостей. Тогда существенные ошибки и неопределенности в определении величин P и Q по вышеуказанным причинам могут привести к грубым ошибкам в определении истинных цветов звезд. Вероятно, это и привело к большим несоответствиям при сравнении истинных цветов, которые имеют место для группы, состоящей из 35 звезд (рис. 3).

Спектральная классификация звезд, в частности, по регистрограммам нерасширенных низкодисперсных спектров, основана на относительной оценке интенсивностей линий, выбранных в качестве критериев классификации, и не зависит от вышеперечисленных параметров, используемых в фотометрическом методе. Установленные критерии классификации [2—4] позволяют проводить спектральную классификацию звезд с точностью в два—три подкласса, что соответствует ошибкам в определении $(B-V)_0$ до $\pm 0.1^m$.

Итак, подводя итоги сравнения истинных цветов звезд, полученных двумя независимыми методами, можно отметить, что большинство из вышеуказанных 57 звезд, входящих в табл. 4 [11], относится к звездам поздних спектральных классов F—M низкой светимости. А из 104 звезд, используемых для сравнения на рис. 3, 35 звезд — это звезды F0—G8. По данным [7], скопление NGC 2244 находится на расстоянии 1600 пс, которому соответствует модуль $(V-M_V)_0 = 11.2^m$. Звезды F—M V класса светимости ($M_V \geq 2.9^m$), являющиеся членами скопления, имеют $V \geq 11.2^m + 2.9^m + A_V = 16.2^m$ и, следовательно, выходят далеко за пределы каталога. Поэтому все F—M звезды, наблюдаемые в направлении на NGC 2244, находятся на малых расстояниях от Солнца и являются звездами фона. Предположение об их принадлежности к скоплению было бы возможным только в том случае, если считать эти звезды сверхгигантами. В принципе массивные звезды, находящиеся в молодых скоплениях, могут быстро проэволюционировать к стадии F—G сверхгиганта. Но исследования диаграммы Герцшпрунга — Рессела показывают, что в этом скоплении ветвь сверхгигантов отсутствует (см. [9]). Все звезды NGC 2244 высоких светимостей вплоть до самой массивной (спектр O4 V) еще не успели сойти с главной последовательности. К тому же величины $(B-V)_0$, приведенные в табл. 4 [11], не согласуются со значениями истинных цветов, характерных для сверхгигантов.

В целом, принимая во внимание большой разброс точек в левой части рис. 3 для ранних звезд, можно констатировать, что около половины звезд табл. 4 [11] являются звездами фона.

В работе [10] приведена некоторая статистика, из которой следует, что по мере перехода к слабым звездам ухудшается согласие между данными о звездах — вероятных членах скопления NGC 2244, выделенных фотометрическим методом [11], и по данным о собственных движениях звезд. Из 119 звезд до 14.1^m (V) — вероятных членов скопления NGC 2244 по данным метода [11] согласие с аналогичными данными по собственным движениям звезд [10] с вероятностью принадлежности к скоплению $P \geq 70\%$ наблюдается только для 52 звезд.

Таким образом, на основании приведенных сравнений, можно сделать общий вывод о том, что половина звезд — вероятных членов скопления NGC 2244, выделенных фотометрическим способом [11], на самом деле являются звездами фона. На несостоятельность отбора членов скопления с использованием только данных *UBV* фотометрии указывали также Сандерс [12], Бурки и Мэдер [6]. Они отмечали, что использование только *UBV* фотометрии может вызвать ошибочное включение в число членов скопления большого количества звезд фона (до 50%), которые на диаграммах цвет — величина могут образовывать ложные последовательности, похожие на главные последовательности скоплений.

Исследование физических характеристик рассеянного скопления NGC 2244 на основе фотометрического метода [11] приводит к завышенным результатам при определении массы звездной составляющей скопления и ее соотношения с массой газовой составляющей (H I + H II). Причисление большого количества звезд фона к вероятным членам скопления и ее соотношения с массой газовой составляющей (H I + H II), пылевой материи в самом скоплении, может исказить форму и размеры

скопления, дать неправильные представления о поведении функции светимости и функции масс. Все это может внести серьезные ошибки при проверке теории происхождения и эволюции звезд.

1. *Ворошилов В. И., Гусева Н. Г., Каландадзе Н. Б. и др.* Каталог BV — величин и спектральных классов 6000 звезд.— Киев: Наук. думка, 1985.— 140 с.
2. *Ворошилов В. И., Каландадзе Н. Б., Кузнецов В. И.* Спектральная классификация звезд по нерасширенным низкодисперсным спектрам. III. Методика и критерии классификации // Астрометрия и астрофизика.— 1972.— Вып. 15.— С. 15—22.
3. *Кузнецов В. И.* Спектральная классификация нерасширенных низкодисперсных спектров звезд. I. Каталог спектров слабых звезд вокруг скопления NGC 6913 // Там же.— 1971.— Вып. 12.— С. 32—40.
4. *Кузнецов В. И.* Классификация звезд по нерасширенным низкодисперсным спектрограммам и некоторые результаты ее применения для изучения структуры Галактики // Там же.— 1978.— Вып. 34.— С. 30—43.
5. *Харадзе Е. К., Бартая Р. А.* О двумерной спектральной классификации звезд с применением предобъективной призмы // Бюл. Абастуман. обсерватории.— 1960.— № 25.— С. 139—153.
6. *Burki G., Maeder A.* On the use of UBV photometric diagrams for inferring the existence of an open star cluster // Astron. and Astrophys.— 1973.— 25, N 1.— P. 71—77.
7. *Johnson H. L.* The galactic cluster NGC 2244 // Astrophys. J.— 1962.— 136, N 3.— P. 1135—1137.
8. *Johnson H. L.* Interstellar extinction in the Galaxy // Ibid.— 1965.— 141, N 3.— P. 923—924.
9. *Hagen G. L.* An atlas of open cluster colour-magnitude diagrams // Publ. D. Dunlap Observ. Univ. Toronto.— 1970.— 4.— P. 48.
10. *Marschall L. A., van Altena W. F., Chiu L. T. G.* Membership of the Rosette nebula cluster NGC 2244 // Astron. J.— 1982.— 87, N 11.— P. 1497—1506.
11. *Ogura K., Ishida K.* UBV photometry of NGC 2244 // Publ. Astron. Soc. Jap.— 1981.— 33, N 1.— P. 149—176.
12. *Sanders M. L.* Comparison of photometric and proper motion memberships in open clusters // Astron. and Astrophys.— 1976.— 46, N 1.— P. 131.
13. *Schmidt-Kaler Th.* Physical parameters of the star // Landolt — Börnstein: Numerical data and functional relationships in science and technology.— Berlin; New York: Springer, 1981.— P. 456.
14. *Turner D. G.* The value of R in Monoceros // Astrophys. J.— 1976.— 210, N 1.— P. 65—75.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 23.04.85,
после доработки 06.06.85