

УДК 524.31—355

Двумерная количественная спектральная классификация звезд спектральных классов F5 — K0

Б. Н. Рустамов

На основе измеренных эквивалентных ширин избранных линий поглощения в интервале спектральных классов F5 — K0 разработаны критерии классификации звезд по двум параметрам — спектральному классу и абсолютной звездной величине. Эквивалентные ширины линий измерены по спектрограммам, полученным в фокусе Кассегрена 2-м телескопа Шемахинской астрофизической обсерватории с помощью (2×2)-призменного спектрографа с обратной дисперсией 9.4 нм/мм у H_{γ} в области 500—360 нм.

Для определения спектральных классов использовали шесть критериев. Ошибка определения спектрального класса в среднем составляет ± 0.6 спектрального подкласса. Для определения абсолютных звездных величин выбраны четыре критерия. Средняя квадратичная ошибка определения абсолютной величины в зависимости от выбранного критерия составляет $\pm (0.5—0.7^m)$.

Применяемую методику можно использовать для двумерной количественной спектральной классификации нестационарных звезд различных типов.

TWO-DIMENSIONAL QUANTITATIVE SPECTRAL CLASSIFICATION OF THE F5-K0 STARS, by Rustamov B. N.— On the basis of measured equivalent widths of selected absorption lines in the F5-K0 spectral range the criteria of stellar classification are developed by spectral class and absolute stellar magnitude. The equivalent widths are measured on spectrograms obtained in the Cassegrain focus of the 2 m telescope ($\lambda\lambda$ 500—360 nm, dispersion 9.4 nm/mm at H_{γ}). Six criteria were used for determining the spectral classes. The error of determination is about ± 0.6 of spectral subclass. In order to obtain the absolute magnitudes four criteria were used. The mean square error depending on the selected criteria is $\pm (0.5—0.7^m)$. The procedure can be used for two-dimensional quantitative spectral classification of nonstable stars of different types.

Количественная двумерная спектральная классификация звезд — важный метод изучения физических условий в их атмосферах по спектрограммам с умеренной дисперсией. С помощью этого метода по эквивалентным ширинам линий можно определить такие важные характеристики звезды, как спектральный класс и абсолютная звездная величина.

Так как измеренные эквивалентные ширины линий зависят от применяемой аппаратуры и дисперсии, необходимо разработать собственную систему спектральных критериев.

В статье [3] разработана двумерная количественная спектральная классификация звезд B9 — F8 по спектрограммам, полученным на 2-м телескопе ШАО АН АзССР с помощью (2×2)-призменного спектрографа. Цель данного исследования — разработка количественной двумерной спектральной классификации звезд в интервале спектральных классов F5 — K0. Для этого отобраны стандартные звезды спектральных классов F5 — K0 и классов светимости I — V. Спектрограммы звезд получены в июне — ноябре 1982 г. в фокусе Кассегрена 2-м телескопа Шемахинской астрофизической обсерватории на (2×2)-призменном спектрографе с обратной дисперсией 9.4 нм/мм у H_{γ} в области 500—360 нм. Применялись пластинки Kodak 103a-O, которые обрабатывались в стандартных условиях. Для получения нормальных плотностей на одной и той же пластинке фотографировались 3—4 спектра с разными экспозициями. Окончательно для обработки выбрано по две и более спектрограмм каждой звезды. Всего обработано 80 спектрограмм 30 стандартных звезд (табл. 1).

Разработка двумерной количественной спектральной классификации звезд состоит в получении редуцированных кривых, связывающих спектральный класс или абсолютную звездную величину с эквивалентными ширинами выбранных линий.

Критериев для определения спектрального класса и класса светимости довольно много, они установлены разными авторами (см., например, [1, 2, 4, 5]) применительно к различным инструментам и дисперсиям. Для повышения точности определения спектрального класса и класса светимости желательно использовать отношения эквивалент-

ных ширин линий, которые показывают четкую зависимость от спектрального класса или от абсолютной звездной величины. В рассматриваемом спектральном интервале хорошим критерием для классификации спектров звезд являются отношения интенсивностей линий водорода и металлов, так как первые ослабевают, а вторые усиливаются при переходе к более поздним классам. Поэтому во всех работах при классификации звезд по спектральным классам, в которых используется отношение эквивалентных ширин линий, обязательно одна из линий — линия водорода.

Таблица 1. Наблюдавшиеся стандартные звезды

HD	Название звезды	V	Sp (MK) [7-9]	M_V [6]	HD	Название звезды	V	Sp (MK) [7-9]	M_V [6]
483	—	7.2	G2 III	—	185 144	σ Dra	4.7	K0 V	+5.9
5015	—	4.8	F8 IV	+1.9	185 758	α Sge	4.4	G0 II	-2.1
10 761	\omicron Psc	4.3	G8 III	+0.4	188 512	β Aql	3.7	G8 IV	+3.0
13 974	δ Tri	4.9	G0 V	+4.4	189 067	—	7.1	G2 V	+4.7
20 902	α Per	1.9	F5 Ib	-4.6	192 713	22 Vul	5.4	G2 Ib	-3.5
26 630	μ Per	4.1	G0 Ib	-4.5	193 370	35 Cyg	5.2	F5 Ib	-4.6
35 956	—	6.8	G0 V	+4.4	194 069	—	6.4	G2 II	-2.0
52 497	ω Gem	5.2	G5 II	-2.0	197 177	49 Cyg	5.5	G8 II	-2.0
101 501	61 UMa	5.5	G8 V	+5.5	200 077	—	6.6	F8 V	+4.0
160 922	ω Dra	4.8	F5 V	+3.2	200 723	—	6.3	F5 III	+1.0
167 944	—	7.1	F8 III	—	203 156	—	5.8	F5 II	—
176 155	FF Aql	5.4	F8 Ib	-3.3	206 859	9 Peg	4.3	G5 Ib	-4.5
177 249	49 Dra	5.4	G5 II	—	208 110	—	6.6	G0 III	—
180 583	—	6.1	F8 II	—	210 264	—	7.1	G5 III	+0.4
180 809	θ Lyr	4.4	K0 II	-2.0	221 861	—	5.7	K0 Ib	-6.1

Таблица 2. Средние значения эквивалентных ширин линий (W_λ , нм) или их отношений для двумерной спектральной классификации

HD	Для определения Sp						Для определения M_V			
	438.4	432.5	429.1	427.2	422.6	406.4	$\frac{[425.0]}{[421.6]}$	414.4	407.8	$\frac{[407.8]}{[404.6]}$
483	0.23	0.17	0.19	0.20	0.18	0.12	1.20	—	0.17	1.70
5015	0.18	0.16	0.14	0.14	0.14	—	—	0.08	0.14	1.40
10 761	0.30	0.18	0.32	0.26	0.22	0.18	0.92	0.18	0.15	1.15
13 974	0.21	0.17	0.17	0.17	0.16	0.12	—	0.06	0.11	1.10
20 902	0.14	0.12	0.12	0.13	0.15	0.07	—	—	0.19	—
26 630	0.17	0.14	0.18	0.14	0.19	0.12	—	0.17	0.22	1.83
35 956	0.20	—	0.21	0.13	—	0.10	—	—	0.06	—
52 497	0.26	0.18	0.24	0.22	0.25	0.16	1.33	0.20	0.19	1.58
101 501	0.36	0.22	0.35	—	0.27	0.22	2.14	—	—	—
160 922	0.12	0.09	0.12	0.10	0.14	—	—	—	0.10	—
167 944	0.14	0.12	0.13	0.10	0.12	—	—	0.13	—	—
176 155	0.16	0.13	0.13	0.12	0.17	0.07	—	0.12	0.24	4.00
177 249	0.25	0.16	0.26	0.18	0.19	0.14	1.25	0.21	0.17	1.55
180 583	0.16	0.12	0.16	0.11	0.18	0.07	—	—	0.17	1.89
180 809	0.37	0.23	0.34	0.33	0.29	0.27	1.17	0.26	0.20	1.18
185 144	0.34	0.20	0.22	0.28	0.27	0.20	2.00	0.13	0.11	0.55
185 758	0.19	0.14	0.20	0.13	0.16	0.13	—	—	0.14	1.56
188 512	0.30	0.20	0.28	0.25	0.23	0.23	1.86	0.11	0.12	0.86
189 067	0.22	0.19	0.22	0.18	0.18	0.14	2.00	0.08	0.11	0.92
192 713	0.24	0.16	0.26	0.20	0.21	0.15	0.75	0.19	0.20	1.67
193 370	0.10	0.10	0.13	0.15	0.14	0.05	—	—	0.19	—
194 069	0.24	0.16	0.21	0.15	0.22	0.13	0.80	0.16	0.19	1.58
197 177	0.31	0.18	0.32	0.25	0.22	0.17	0.65	0.22	0.18	1.13
200 077	0.16	0.14	0.16	0.12	0.15	0.09	—	0.08	0.12	1.09
200 723	0.12	—	0.12	0.10	0.12	0.07	—	—	0.17	—
203 156	0.11	0.09	0.13	—	0.11	—	—	—	—	—
206 859	0.32	0.20	—	0.21	0.26	0.20	0.92	0.17	0.21	2.10
208 110	0.13	0.10	0.15	0.12	0.10	—	—	—	0.11	1.83
210 264	0.27	0.20	—	0.19	0.22	0.17	1.90	0.19	0.16	1.00
221 861	0.37	0.24	0.34	0.29	0.30	0.25	1.07	0.32	0.25	1.25

Мы намерены применить указанную методику к нестационарным звездам, в частности к звездам типа FU Ori. Известно, что звезды этого типа в прошлом имели в водородных линиях мощную эмиссию, которая может проявляться и в настоящее время в скрытом виде. Поэтому мы вынуждены исключить водородные линии и подобрать

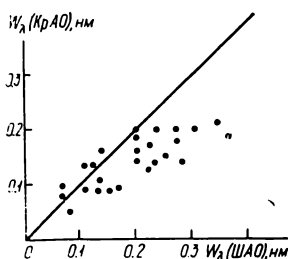


Рис. 1. Сравнение эквивалентных ширин избранных линий по нашим измерениям и по данным работы [2]

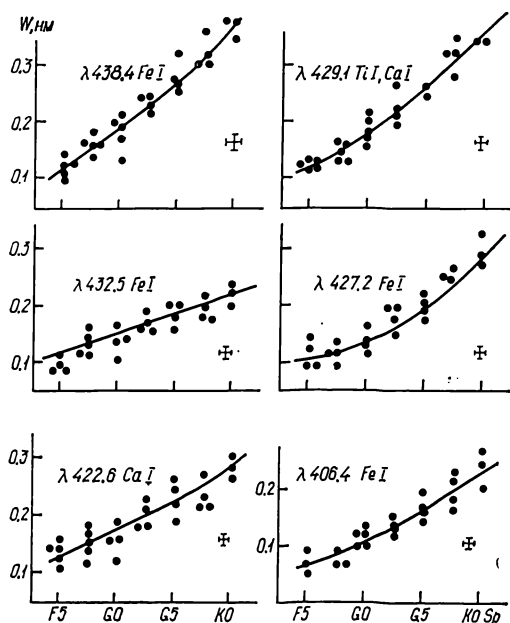


Рис. 2. Редукционные кривые зависимости эквивалентных ширин избранных линий от спектрального класса

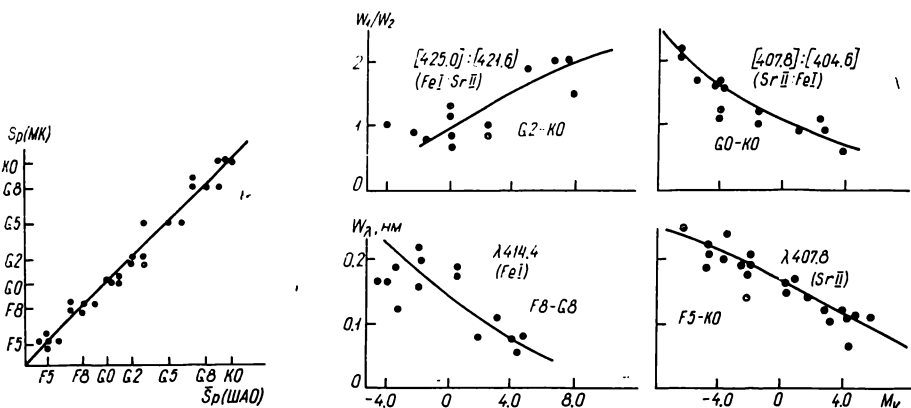


Рис. 3. Сравнение исходных спектральных классов в системе МК с полученными нами спектральными классами стандартных звезд

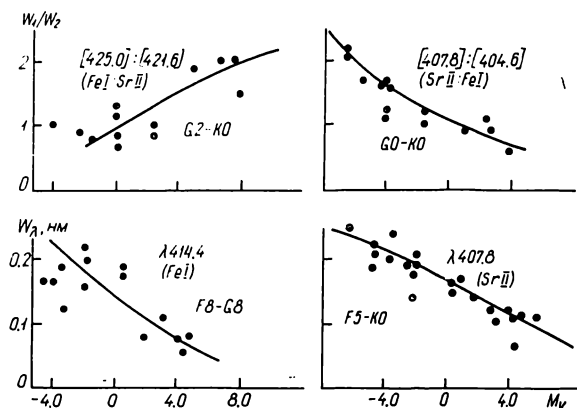


Рис. 4. Редукционные кривые для классификации по абсолютной величине

другие критерии. После тщательного изучения спектрограмм были выбраны следующие шесть линий, эквивалентные ширины которых использовались для определения спектрального класса.

λ , нм	438.4	432.5	429.1	427.2	422.6	406.4
Элемент	Fe I	Fe I	Ti I, Ca I	Fe I	Ca I	Fe I

Средние значения эквивалентных ширин этих линий приведены в табл. 2. Ошибка определения эквивалентных ширин составляет ± 0.03 нм для линии λ 438.4 нм и $\pm (0.015 - 0.020)$ нм для остальных линий.

Сопоставим наши значения эквивалентных ширин с данными Э. Р. Мустеля и др. [2], которые использовали спектрограммы, полученные на призмном спектрографе со сходной дисперсией (7.2 нм/мм у H_{γ}). Сравнение наших эквивалентных ширин для

трех звезд (61 UMa, β Aql, σ Dra) из табл. 2 с данными [2] свидетельствует о некоторых систематических различиях (рис. 1), связанных с использованием различной аппаратуры.

При построении редуционных кривых (рис. 2) спектральные подклассы располагались в следующем порядке: F5, F8, G0, G2, G5, G8, K0. В выбранных нами критериях спектральных классов эффект светимости заметно не проявляется. Поэтому на рис. 2 приведены средние кривые для звезд всех классов светимости. С помощью полученных редуционных кривых заново определялись спектральные классы стандартных звезд. Спектральные классы, определенные для каждой звезды по всем критериям, усреднялись, и выводился средний спектральный класс звезды. Сравнение исходных спектральных классов в системе МК с полученными нами спектральными классами стандартных звезд показано на рис. 3. Ошибка определения спектрального класса в среднем составляет ± 0.6 спектрального подкласса.

При сопоставлении спектров стандартных звезд различных светимостей одного и того же спектрального подкласса для классификации звезд по абсолютным величинам выбраны четыре критерия:

Линия (λ , нм)	Элемент
[425.0] : [421.6]	Fe I : Sr II
414.4	Fe I
407.8	Sr II
[407.8] : [404.6]	Sr II : Fe I

Эквивалентные ширины линий, использованных для определения абсолютных величин (или их отношения), даны в табл. 2. Рабочие интервалы спектральных классов для разных критериев были разными. Редуционные кривые по всем критериям для классификации по абсолютной величине приведены на рис. 4. Там же указаны интервалы спектральных классов, в которых применим данный критерий.

Разброс точек вокруг некоторой средней кривой (рис. 4) обусловлен в большей степени эффектами спектрального класса, чем ошибками определения эквивалентных ширин. Средняя квадратичная ошибка определения абсолютной величины в зависимости от выбранного критерия составляет $\pm (0.5-0.7^m)$.

Автор выражает благодарность Р. Е. Гершбергу за постановку задачи и постоянное внимание к данной работе, а также Х. М. Миканову за помощь в наблюдениях.

1. Бартая Р. А. Массовая двумерная спектральная классификация звезд в площадках Каптейна и применение ее данных к решению звездно-астрономических задач // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.— 1979.— 50.— С. 3—85.
2. Мустель Э. Р., Галкин Л. С., Кумайгородская Р. Н., Боярчук М. Е. Количественная спектральная классификация звезд классов F0 — K5 с хорошо определенными расстояниями // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1958.— 18.— С. 3—37.
3. Тимошенко Л. В. Количественная двумерная спектральная классификация для призмного спектрографа Шемахинской астрофизической обсерватории // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел.— Киев : Наук. думка, 1985.— С. 78—86.
4. Фенина З. Н. Система критериев двумерной количественной спектральной классификации для переменных звезд типа RR Лиры // Перемен. звезды.— 1975.— 20, № 1.— С. 103—115.
5. Шуикашвили М. А. Двумерная количественная спектральная классификация звезд F0 — G0 по спектрам, полученным с предобъективной призмой // Бюл. Абастум. астрофиз. обсерватории.— 1969.— 37.— С. 43—67.
6. Breakiron L. A., Uppgren A. R. A catalog of parallax stars with MK spectral classifications // Astrophys. J. Suppl. Ser.— 1979.— 41, N 4.— P. 709—741.
7. Harlan E. A., Taylor D. C. MK classifications for F- and G-type stars // Astron. J.— 1970.— 75, N 4.— P. 507—508.
8. Keenan P. C., Pitts R. E. Revised MK spectral types for G, K and M stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.— 1980.— 42, N 4.— P. 541—563.
9. Morgan W. W., Keenan P. C. Spectral classification // Ann. Rev. Astron. Astrophys.— 1973.— 11.— P. 29—50.

Шемахин. астрофиз. обсерватория
АН АзССР

Поступила в редакцию 11.05.86,
после доработки 18.08.86