

УДК 524.3—355

## МК-КЛАССИФИКАЦИЯ И НЕПРЕРЫВНЫЕ СПЕКТРЫ РАННИХ ЗВЕЗД

Е. В. РУБАН

Поступила 5 января 1984

Принята к печати 15 апреля 1984

В статье рассмотрена взаимосвязь между спектральными подклассами в МК-классификации и наблюдаемыми параметрами непрерывных спектров ранних звезд: бальмеровскими скачками, спектрофотометрическими градиентами и не зависящими от межзвездного покраснения кривыми  $Q_\lambda$ . Показано, что ни один из них не находится в строгом соответствии со спектральным подклассом. Обсуждаются возможные причины этого несоответствия.

1. *Введение.* Общепринятая в настоящее время МК-классификация, основанная на исследовании относительных интенсивностей линий поглощения, характеризует физические условия во внешних слоях атмосферы звезды, где происходит формирование линий. При этом она не учитывает внутренние слои атмосферы, где образуется непрерывный спектр, а также те факторы, которые заметно влияют на непрерывный спектр и мало сказываются на линиях. Поэтому вопрос о соответствии между спектральным подклассом в МК-системе и характеристиками непрерывного спектра нуждается в тщательном исследовании.

Изучение степени этого соответствия важно, в частности, по следующим двум причинам:

а) Иногда (например, при определении закона межзвездного покраснения или при исследовании особенностей в непрерывном спектре эмиссионных и пекулярных звезд) возникает необходимость сравнить наблюдаемое распределение энергии с некоторым стандартным. В этих случаях обычно проводится МК-классификация для исследуемой звезды, а за стандартное принимается распределение энергии в спектре какой-либо нормальной звезды того же подкласса или среднее для звезд данного спектрального подкласса распределение. При этом важно знать, насколько распределение энергии в спектре используемой стандартной звезды или среднее являются репрезентативными и каков разброс индивидуальных распределений относительно среднего.

6) В некоторых случаях нет возможности получить спектрограмму звезды, пригодную для классификации, но спектрофотометрические характеристики можно найти (например, по снимкам с объективной призмой). Возникает вопрос, насколько надежно по этим спектрофотометрическим данным можно определить спектральный класс и класс светимости в МК-системе.

Вопрос о соответствии МК-классификации непрерывным спектрам звезд уже исследовался разными авторами на основе изучения тех или иных параметров непрерывного спектра. Наиболее широко этим занимались французы Шалонж, Барье и Диван, которые предложили свою классификацию звезд по непрерывным спектрам (см. [1]), использующую параметры  $\varphi_b$  (спектрофотометрический градиент в видимой области спектра, примыкающей к бальмеровскому скачку),  $D$  (бальмеровский скачок) и  $\lambda_1$  (длину волны, соответствующую падению интенсивности непрерывного спектра у границы серии Бальмера на величину  $D/2$ ). Однако широкого применения французская классификация не нашла из-за своих недостатков:  $\lambda_1$  сильно зависит от применяемой аппаратуры, а  $\varphi_b$  — от межзвездного покраснения. Тем не менее, несмотря на эти недостатки, Шалонж [1] на ее основе сделал важный вывод о том, что нет строго однозначного соответствия МК-классификации параметрам непрерывного спектра, а наблюдается некоторое рассеяние точек, которое автор объяснил не только ошибками измерений, но и реальными различиями в атмосферах звезд, а частности, для звезд классов A—F (они интересовали его в первую очередь) различиями в содержании металлов.

С развитием трехцветной широкополосной фотометрии была указана возможность проведения спектральной классификации звезд по фотометрическим данным. Джонсон и Морган [2] ввели некоторый не зависящий от межзвездного покраснения параметр  $Q$ , который (при фиксированном законе межзвездного покраснения) может быть найден непосредственно по данным трехцветной фотометрии. Величина этого параметра для ранних звезд однозначно связана со спектральным классом. Методика  $Q$ -классификации была распространена Страйжисом [3] на случай спектрофотометрических наблюдений и применялась с этой целью другими авторами (например, [4]).

Поскольку работы Шалонжа и сотрудников основаны на результатах фотографических наблюдений, а детали проведения  $Q$ -классификации до конца не выяснены, интересно провести сопоставление параметров  $\varphi$ ,  $D$  и  $Q_1$  со спектральными подклассами в МК-системе на основе высокоточных данных. В настоящей работе это сопоставление проведено для нормальных звезд классов O9—A0 с незначительным покраснением ( $E_{B-v} < 0^m 1$ ) по результатам фотоэлектрической спектрофотометрии [5].

2. *Зависимости спектрофотометрического градиента в видимой области спектра и бальмеровского скачка от спектрального подкласса.* По результатам спектрофотометрических наблюдений звезд, выполненных экспедицией АН СССР в Чили [5], для 114 звезд были вычислены спектрофотометрические градиенты в трех участках спектра ( $\lambda\lambda$  3200 ÷ 3700; 3725 ÷ 5125; 5225 ÷ 7025) и бальмеровский скачок  $D$ . Заатмосферное распределение энергии в спектре каждой звезды предварительно исправлялось за влияние межзвездного ослабления света («отбеливалось»). Методика «отбеливания» и результаты вычисления «отбеленных» градиентов  $\varphi^\circ$  и скачков  $D$  приведены в работе [6]. Эти данные и будут использоваться в настоящей работе.

На рис. 1 приведены зависимости  $\varphi_b^\circ$  ( $\lambda\lambda$  3725 ÷ 5125) и  $D$  от спектрального подкласса. Максимальные ошибки определения градиента и скачка показаны вертикальными отрезками (для звезд в начале спектральной последовательности они равны соответственно 0.01 и 0.008, для звезд класса А0 — 0.017 и 0.012). Видно, что характер расположения точек на обоих графиках одинаков. Звезды классов светимости III—V перемешаны. Через соответствующие им точки проведены средние кривые. Отклонения точек от средних кривых значительно превосходят ошибки определений. Звезды классов светимости II не уклоняются существенно от средней для звезд классов светимости III—V кривой. Лишь сверхгиганты I располагаются ниже и могут быть отделены от звезд других классов.

Рассмотрим влияние различных причин на разброс точек относительно средней кривой для классов светимости III—V на примере рис. 1b.

Как видно из рисунка, ширина полосы рассеяния точек равна 0.12 ÷ 0.15. Такое большое рассеяние не объяснить одними ошибками определений  $D$ . Неопределенность спектральной классификации в данном случае практически отсутствует, поскольку в список нормальных звезд [6] входят звезды (за исключением BS 4401, 5543, 7236 и 8781 [7, 8, 9]), для которых имеются два или больше одинаковых определения спектрального класса и класса светимости, полученных независимо. Следовательно, у звезд одного и того же спектрального подкласса существуют реальные различия. Это могут быть, во-первых, различия физических условий в атмосферах: в химическом составе, температурах, ускорениях силы тяжести на поверхности и, во-вторых, внешние различия звезд, не связанные непосредственно с атмосферой: во вращении звезд и, возможно, в окружающих нормальные В-звезды протяженных оболочках, мантиях [10].

Как следует из теории, различие в химическом составе в атмосферах звезд классов O9—A0 должно сказываться на их непрерывных спектрах очень незначительно, причем лишь для самых горячих звезд, когда может быть ощутимо присутствие He, и для A0-звезд, когда начинает чувствоваться наличие металлов. Согласно моделям звездных атмосфер [11, 12, 8—548

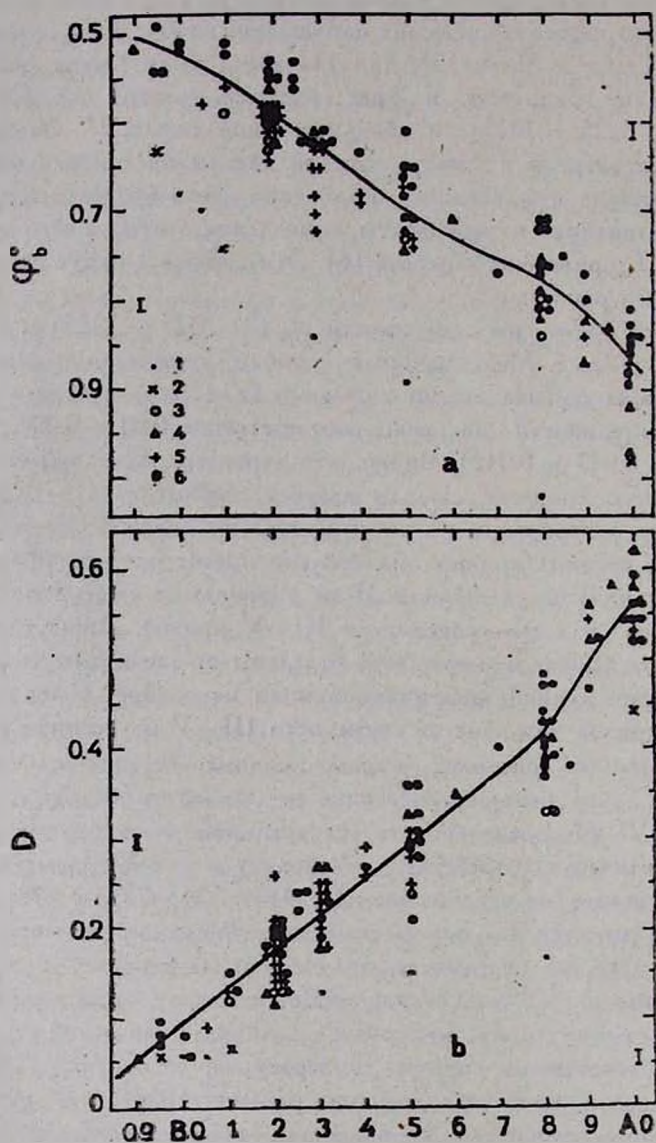


Рис. 1. Зависимости спектрофотометрического градиента  $\varphi^\circ$  (а) и бальмеровского скачка  $D$  (б) от спектрального подкласса для звезд разных классов светимости: 1 — Ia, 1ab; 2 — Ib; 3 — II; 4 — III; 5 — IV; 6 — V.

13], влияние различных химического состава на непрерывные спектры в этих крайних случаях значительно меньше 1%.

Различие температур звезд лежит в основе МК-классификации, поскольку температура — основная характеристика атмосферы звезды, которая определяет наличие и относительные интенсивности линий поглощения разных элементов в разных стадиях ионизации в ее спектре. Тем не менее, наблюдаемое различие  $D$  у звезд одного подкласса может быть связано с различиями температур звезд и объясняться дискретностью при отнесении звезды к одному из подклассов.

Чтобы исключить дискретность спектральной классификации, перейдем к более строгой зависимости  $D$ ,  $(B-V)_0$  (рис. 2а), где  $(B-V)_0$  — «отбеленные» показатели цвета, полученные из двухиндексной диаграммы  $(U-B, B-V)$  пересечением линий покраснения, проходящих через точки, соответствующие наблюдаемым показателям цвета, с кривыми нормальных цветов, которые табулированы для разных классов светимости в [3].

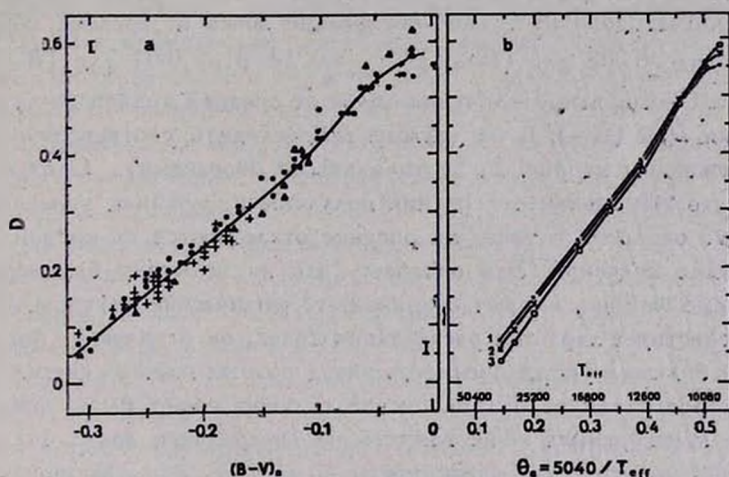


Рис. 2. а — Зависимость бальмеровского скачка  $D$  от  $(B-V)_0$  (обозначения те же, что на рис. 1); б — Теоретические зависимости  $D$  от  $T_{\text{eff}}$  для разных моделей атмосферы [13]: 1 —  $\lg g = 4.5$ ; 2 —  $\lg g = 4.0$ ; 3 —  $\lg g = 3.5$ .

Поскольку  $(B-V)_0$ , являясь характеристикой эффективной температуры звезды, изменяется с температурой непрерывно, то зависимость  $D$  от  $(B-V)_0$  отражает температурную зависимость бальмеровского скачка. Это означает, что все различия  $D$  за счет различий температуры должны происходить (с точностью до ошибок) вдоль кривой рис. 2а.

Сравнение рис. 2а с рис. 1б показывает, что разброс точек на рис. 2а существенно меньше, т. е., действительно, различие  $D$  для звезд одного

подкласса определяется в основном различиями температур в атмосферах звезд.

Однако рассеяние точек на рис. 2а все еще нельзя объяснить ошибками определения  $D$ . Правда, некоторый вклад в рассеяние дают ошибки величин  $(B-V)_0$ . Они могут возникнуть из-за ошибок наблюдаемых значений  $(U-B)$ ,  $(B-V)$  и возможных вариаций закона межзвездного покраснения, когда наклон линии покраснения отличается от принятого. Можно показать, что из-за ошибок наблюдений ( $\leq \pm 0^m.01$ ) мы не ошибемся в определении  $(B-V)_0$  больше, чем на  $\pm 0^m.005$ . При малых покраснениях ( $E_{B-V} < 0^m.1$ ) неопределенность  $(B-V)_0$  из-за отличий закона покраснения от принятого не превышает  $0^m.005$  даже в случае крайнего закона покраснения в Лебеде, для которого наклон линии покраснения равен  $0.81$  [3] (нормальный наклон линии покраснения, использованный нами в [6],  $0.72$ ). Таким образом, ширина полосы рассеяния точек по оси абсцисс на рис. 2а из-за неопределенности  $(B-V)_0$  не больше  $0^m.01$ , что обеспечивает дополнительное отклонение точек от средней кривой по вертикали на  $0.008$  для  $(B-V)_0 < -0^m.12$  и на  $0.01$  для  $(B-V)_0 \geq -0^m.12$ . Суммарные отклонения точек от средней кривой из-за ошибок определения  $D$  и  $(B-V)_0$  не должны превосходить соответственно  $0.016$  и  $0.022$  (показаны на рис. 2а вертикальными отрезками). Следует подчеркнуть, что эти оценки отклонений получены из крайних значений ошибок. Однако около 30% точек на рисунке отклоняются от кривой за пределы крайних значений. Это означает, что на величину бальмеровского скачка, кроме ошибок, влияют еще какие-то физические факторы. Об этом же свидетельствует характер рассеивания точек: он отличен от нормально-го заметна большая упорядоченность звезд разных классов светимости.

Некоторое различие бальмеровских скачков может быть обусловлено различием в ускорениях силы тяжести на поверхности звезд. На рис. 2б изображены теоретические зависимости  $D$  от  $T_{\text{эф}}$  при различных значениях  $\lg g$  (по моделям Куруча [13]). Как следует из этих зависимостей, отклонение точек от средней кривой на рис. 2а при изменении  $g$  в 10 раз должно отличаться у звезд разных температур, но для большинства звезд оно не должно превышать  $0.005$ . Лишь для самых горячих звезд оно может доходить до  $0.015$ , а для звезд с  $T_{\text{эф}} < 10\,000\text{ К}$  — до  $0.02$ . Поскольку реальные отличия  $g$  для звезд классов светимости III—V меньше (см. табл. 3—4 в [10]), то приведенная оценка отклонений является максимальной. Наблюдаемые же различия в  $D$  могут превосходить эти максимальные оценки (с учетом, конечно, ошибок), за исключением, быть может, самых горячих звезд.

Посмотрим, как влияют на  $D$  внешние различия звезд. Некоторый вклад в увеличение разброса точек может дать вращение звезд, оказываю-

щее влияние на распределение энергии в спектре. Однако быстрое осевое вращение В-звезд влияет на все наблюдаемые параметры спектра, в том числе и на спектральный класс, приводя, как показала теория (см. обзор в работе [14]), к понижению эффективных температур вращающихся звезд по сравнению с невращающимися той же массы. Поэтому обнаружить эффект вращения из наблюдений очень трудно. Это осложняется еще и тем, что наблюдаемые характеристики вращающейся звезды должны зависеть не только от скорости вращения, но и от ориентации оси вращения к лучу зрения, а для звезд известны (в основном) лишь проекции скорости вращения на луч зрения. Отклонения  $\Delta D$  от средней кривой в зависимости от  $\sin i$ , взятых из [15], для рассматриваемых звезд не показали сколько-нибудь заметного вращательного эффекта. Но это не отрицает определенного вклада в разброс точек вращения, которое проявляется, согласно теории [16], как гравитационный и температурный эффекты.

Наличие мантий вокруг нормальных В-звезд главной последовательности не является еще окончательно доказанным. Однако имеются факты (в частности, истечение вещества из некоторых нормальных В-звезд [17—19]), подтверждающие их существование. Кроме того, некоторым косвенным подтверждением является известная связь звезд типов В и Ве (спектральные особенности последних объясняются влиянием окружающих их протяженных оболочек). а) Некоторые нормальные В-звезды вдруг становятся эмиссионными, показывая яркие линии в спектрах (такой звездой оказалась нормальная, согласно [7—9], звезда BS 4037, в спектре которой нами была обнаружена эмиссия в  $H_\alpha$  [5]). б) Многие звезды типа Ве имеют спокойные стадии нормальных В-звезд (у Ве-звезды 28 Тау спокойная стадия длилась 33 года [20]; эмиссионная звезда BS 5440, согласно наблюдениям экспедиции АН СССР в Чили, в 1971—1972 гг. имела нормальный спектр В-звезды; аналогичные примеры см. в [21]). в) Непрерывные спектры В и Ве-звезд часто схожи. (в табл. 1 приведены результаты определения бальмеровских скачков  $D$  для 16 Ве-звезд [21], наблюдавшихся в чилийской экспедиции. В последнем столбце даны значения  $D_{\text{ср}}$  для звезд тех же спектральных подклассов, снятые с кривой рис. 1б. Видно, что у 10 звезд скачки такие же, как у нормальных В-звезд и только у шести они заметно меньше.) г) Многие В-звезды заподозрены в переменности (в списке [6] таких около 20%). С другой стороны, у всех Ве-звезд наблюдается иррегулярная переменность [10, 21].

Обратимся теперь к сравнению непрерывных спектров нормальных звезд и сверхгигантов. На рис. 1а и 1б сверхгиганты располагаются ниже средних кривых для звезд классов III—V, т. е. они холоднее и имеют меньшие скачки. Как показали многочисленные исследования (см. библиографию в [10]), из сверхгигантов происходит непрерывное истечение вещества, в результате чего вокруг них образуются протяженные расширяю-

щиеся оболочки. С теоретической точки зрения, отличия спектров сверхгигантов от спектров звезд главной последовательности объясняются, с одной стороны, тем, что в переносе излучения в разреженных атмосферах сверхгигантов возрастает роль рассеяния излучения свободными электронами. Это сказывается как на уменьшении величины бальмеровского скачка  $D$  (из-за суммарного действия поглощения излучения атомами водорода и рассеяния его свободными электронами), так и на увеличении спектрофотометрических градиентов (излучение выходит из менее глубоких и более холодных слоев). С другой стороны, излучение протяженных оболочек, имеющее меньшие спектрофотометрические температуры, чем звезда, и отрицательную величину  $D_{об}$ , накладываясь на излучение звезды, приводит к уменьшению  $D$  и увеличению градиентов.

Таблица 1

БАЛЬМЕРОВСКИЕ СКАЧКИ ВЕ-ЗВЕЗД

| BS   | Название        | Sp                 | $D$  | $D_{ср}$ |
|------|-----------------|--------------------|------|----------|
| 1789 | 25 Ori          | B1 Ve              | 0.13 | 0.13     |
| 1934 | $\omega$ Ori    | B2 IIIe            | 0.09 | 0.18     |
| 1956 | $\alpha$ Col    | B7 IVe             | 0.36 | 0.38     |
| 2343 | $\nu$ Gem       | B6 IVe             | 0.35 | 0.34     |
| 2492 | 10 CMa          | B2 IIIe            | 0.09 | 0.18     |
| 2538 | $\gamma$ CMa    | B2 IVe             | 0.04 | "        |
| 2745 | 27 CMa          | B3 III (e) p-shell | 0.18 | 0.22     |
| 2749 | $\omega$ CMa    | B2.5 Ve            | 0.17 | 0.20     |
| 3034 | $\phi$ Pup      | B1 IVe             | 0.00 | 0.13     |
| 3237 |                 | B1.5 IVe           | 0.04 | 0.16     |
| 3498 |                 | B2.5 Ve            | 0.23 | 0.20     |
| 4537 |                 | B4 V(e)            | 0.26 | 0.26     |
| 4621 | $\delta$ Cen    | B2 IVe             | 0.10 | 0.18     |
| 5193 | $\mu$ Cen       | B2 IV-Ve           | 0.16 | "        |
| 5440 | $\eta$ Cen      | B2 IV(e)           | 0.14 | "        |
| 8628 | $\epsilon$ Ps A | B7 IVe             | 0.41 | 0.38     |

Таким образом, наличие мантии, явно присутствующей в сверхгигантах и Ве-звездах (из них, в отличие от сверхгигантов, происходит иррегулярное истечение вещества), может оказывать аналогичное (но, конечно, меньшее) влияние и на непрерывные спектры звезд других классов светимости. Для оценки возможного влияния оболочки на излучение звезды воспользуемся результатами расчетов показателей цвета, приведенными Луудом в работе [22]. На рис. 3 дана диаграмма  $U-B$ ,  $B-V$  с расчетными данными для звезды B3V с оболочкой, излучающей на  $\lambda$  5500 до 25%

общего непрерывного излучения, при наличии межзвездного ослабления  $A_B$  от  $0^m$  до  $0^m.5$ . На диаграмму нанесены данные для трех звезд класса V3V из нашего списка [6]. Как видно, отклонение крайней правой точки вправо и вверх соответствует более, чем 5%-ному вкладу излучения оболочки. Такая оболочка должна изменить и  $\varphi_b$  и  $D$ .

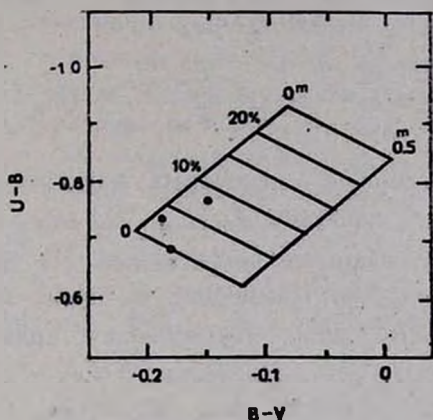


Рис. 3. Влияние межзвездного покраснения и наличия оболочки на цвета звезд класса V3V (взято из работы [22]). Нанесены цвета нормальных звезд из списка [6] (точки).

Подведем итог. Несомненно, что звезды, относимые к одному и тому же спектральному подклассу, могут иметь заметно отличающиеся бальмеровские скачки и спектрофотометрические градиенты. Частично эти различия вызываются ошибками определений этих величин, но главным образом физическими факторами. Из них наиболее существенными являются различия температур в атмосферах звезд одного спектрального подкласса и возможное наличие вокруг звезд протяженных оболочек. С другой стороны, из рассмотрения рис. 1 следует, что определение параметров  $\varphi$  и  $D$  позволяет оценить спектральный класс лишь с точностью до двух-трех подклассов и выделить только звезды — сверхгиганты, и, возможно, яркие гиганты. Ясно, что достигнуть существенного улучшения, увеличивая точность определения параметров  $\varphi$  и  $D$ , невозможно.

3. Q-классификация. Величины  $\varphi$  и  $D$  представляют собой некоторые характерные параметры непрерывных спектров, при определении которых, однако, часть информации, содержащаяся в результатах спектрофотометрических наблюдений, теряется. Проведем теперь непосредственное сопоставление распределений энергии, найденных в [5] для области  $\lambda\lambda$  3100÷7375, со спектральными подклассами в МК-системе. Для такого сопо-

ставления необходимо исправить наблюдаемые распределения за межзвездное покраснение. Методика «отбеливания», изложенная в [6], требует знания некоторых дополнительных сведений о звезде (помимо самого наблюдаемого распределения), поэтому, следуя [3], воспользуемся преобразованием кривых  $m_\lambda$  ( $m_\lambda = -2.5 \lg E_\lambda$ , где  $E_\lambda$  — монохроматическая освещенность, приводимая в [5]), в не зависящие от межзвездного покраснения кривые  $Q_\lambda$  по формуле

$$Q_{\lambda_1, m_{\lambda_1}, m_{\lambda_2}} = (m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}) - \frac{E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_1}}}{E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}}} (m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}). \quad (1)$$

Здесь  $m_{\lambda_1}$  и  $m_{\lambda_2}$  — величины в некоторых фиксированных длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , а отношение избытков  $E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_1}}/E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}}$  вычисляется по заданному закону межзвездного покраснения. На двухиндексной диаграмме  $(m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2})$ ,  $(m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2})$  величина  $Q_\lambda$  представляет собой ординату точки пересечения линии покраснения с прямой  $m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = 0$ , и поэтому она не зависит от покраснения. Следует отметить, что величины  $Q_\lambda$  менее неопределенны, чем параметры  $Q$  в случае гетерохромных величин, поскольку для монохроматических величин линии покраснения являются прямыми, а не параболлами [3], и  $E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_1}}/E_{m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}}$  не зависит от спектрального класса.

Кривые  $Q_\lambda$  были вычислены для тех же звезд, для которых вычислялись  $\varphi$  и  $D$ . Для нормировки были выбраны величины  $m_{\lambda_1}$  и  $m_{\lambda_2}$  для  $\lambda_1 4200$  и  $\lambda_2 5550$ , близких к  $\lambda_{\text{эф}}$  полос  $B$  и  $V$  системы  $UBV$ . В этих длинах волн у ранних звезд нет заметных спектральных деталей. Отношение  $E/E$  рассчитывалось для нормального закона межзвездного ослабления света [23].

Среднеквадратичная ошибка величины  $Q$ , вычисляемая по формуле

$$\sigma_Q = \sqrt{2 [1 + E/E + (E/E)^2]} \sigma_m \quad (2)$$

(см. [3], стр. 263), не превышает  $\pm 0^m 03$  при средней точности спектрофотометрических наблюдений  $\sigma_m = \pm 0^m 01$ .

Однако ошибка в величине  $Q$  из-за вариаций закона межзвездного покраснения в случае абсолютных спектрофотометрических наблюдений не столь мала, как при относительных фотометрических измерениях. Действительно, если отношение колор-эксцессов  $E/E$  изменится по сравнению с нормальным на величину  $\Delta(E/E)$ , то  $Q$  при этом изменится на величину.

$$\Delta Q = -\Delta(E/E)(m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}). \quad (3)$$

Для звезд классов O9 — A0  $m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} \approx -1$ , и формула (3) принимает вид

$$\Delta Q \approx \Delta(E/E). \quad (4)$$

(Различие  $\Delta(E/E)$  для разных законов покраснения (см. [24]) может достигать 0.5 (при данной нормировке) на длине волны  $\lambda$  3400).

Такая сильная зависимость кривых  $Q_{\lambda}$  от закона межзвездного покраснения является серьезным недостатком при использовании их для классификации. Тем не менее, изучим возможности использования найденных кривых для классификации нормальных звезд. При этом особое внимание следует обратить на области спектра, в которых кривые  $Q_{\lambda}$  сильно меняются вдоль спектральной последовательности, в частности, для ранних звезд на область длин волн короче  $\lambda$  4000.

Сравнение кривых  $Q_{\lambda}$  для звезд одного спектрального подкласса показало, что, наряду с относительным сходством кривых, могут быть значительные расхождения как в УФ, так и в красной области спектра. Рис. 4 иллюстрирует это для звезд B5 разных классов светимости.

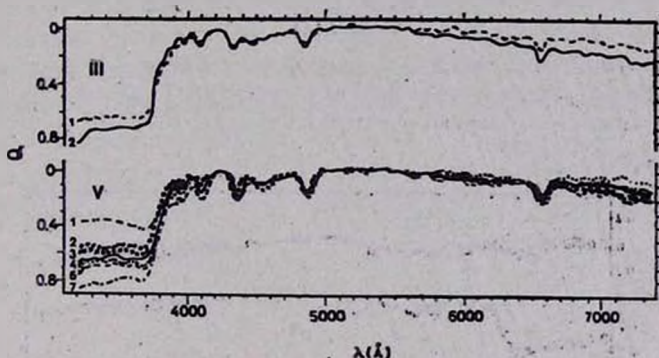


Рис. 4. Кривые  $Q_{\lambda}$  для звезд подкласса B5 классов светимости III (1 — BS 5221, 2 — BS 1735) и V (1 — BS 5543, 2 — BS 4773, 3 — BS 3192, 4 — BS 2056, 5 — BS 3442, 6 — BS 3574, 7 — BS 8425).

Для сравнения звезд разных подклассов, но одного класса светимости кривые  $Q_{\lambda}$  для них построены на одном рисунке (см. рис. 5 для V класса). Общий характер изменений кривых вдоль спектральной последовательности отражает температурную обусловленность этих изменений. Однако разделение по подклассам не всегда строгое. Кривые  $Q_{\lambda}$  у соседних подклассов часто перекрываются.

Изменение хода кривых от звезд главной последовательности к сверхгигантам для разных спектральных подклассов иллюстрируется рис. 6. У звезд ранних подклассов (B0) зависимость  $Q_{\lambda}$  от класса светимости

практически отсутствует. У более поздних подклассов заметно характерное различие в распределении энергии в спектрах сверхгигантов и звезд главной последовательности.

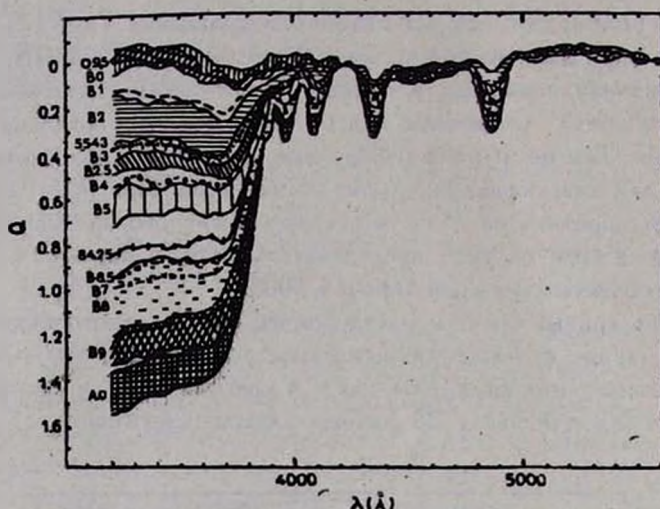


Рис. 5. Кривые  $Q_\lambda$  для звезд V класса светимости и разных спектральных подклассов (обозначены разными символами или приведены с разной штриховкой, если подкласс представлен несколькими звездами). Звезды BS 5543 и 8425 относятся, согласно [7—9], к классу B5.

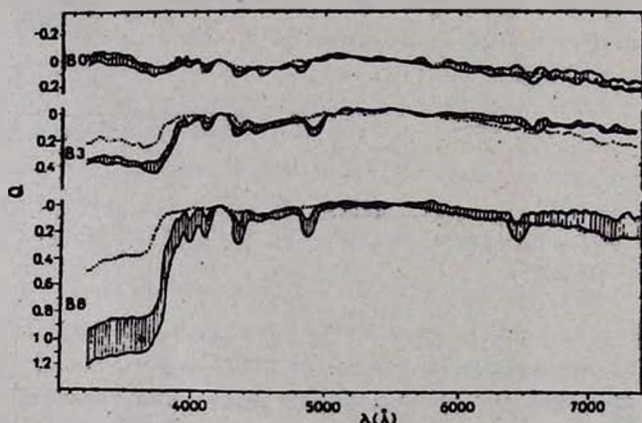


Рис. 6. Кривые  $Q_\lambda$  для звезд главной последовательности (штриховка) и сверхгигантов (точки) спектральных подклассов B0, B3 и B8.

Наблюдаемое несоответствие между спектральным подклассом, установленным по линиям, и формой кривой  $Q_\lambda$  в отдельных случаях может быть очень большим. Так, звезда BS 5543 по непрерывному спектру при-

надлежит скорее подклассу B3V (см. рис. 5), а не B5V, как следует из классификации по линиям, а звезда BS 8425 того же подкласса в МК-классификации имеет непрерывный спектр более позднего подкласса (если, конечно, эти различия не связаны с вариациями закона межзвездного покраснения).

4. *Заключение.* Проведенное сопоставление спектральных подклассов в МК-классификации с непрерывными спектрами ранних звезд на основе высокоточного наблюдательного материала показало, что нормальные звезды одного подкласса имеют заметно отличающиеся непрерывные спектры. Это связано как с различиями физических условий в атмосферах звезд, так и с различными внешними факторами, например, возможным наличием вокруг звезд протяженных оболочек, мантий (существование мантии не влияет на МК-классификацию, если только она не проявляется в линейчатом спектре).

Это, с одной стороны, сильно осложняет использование нормальных звезд в качестве спектрофотометрических стандартов. Действительно, нельзя утверждать с уверенностью (без дополнительного анализа), что полученные из наблюдений параметры непрерывного спектра некоторой нормальной звезды определенного подкласса в МК-классификации характеризуют излучение атмосфер других звезд того же подкласса. С другой стороны — ограничивает возможности проведения МК-классификации по измерениям непрерывного спектра.

Автор благодарен В. А. Гаген-Торну за руководство работой и Д. Е. Щеголеву за ценные замечания при прочтении рукописи.

Главная астрономическая  
обсерватория АН СССР

## THE MK-CLASSIFICATION AND CONTINUOUS SPECTRA OF EARLY-TYPE STARS

E. V. RUBAN

The correspondance of the spectral sub-classes in MK classification to observed parameters of continuous spectra (Balmer discontinuities, spectrophotometric gradients and reddeningfree  $Q_1$  curves) for early-type stars is considered. None of these is shown to agree strictly with the spectral sub-class. The nature of the scatter is discussed.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Шалонж, Астрон. ж., 33, 490, 1956.
2. H. L. Johnson, W. W. Morgan, Ap. J., 117, 313, 1953.
3. В. Страйжис, сб. «Многоцветная фотометрия звезд». Вильнюс, Моклас, 1977.
4. A. Gutierrez-Moreno, G. Cortés, Cerro Calan Santiago Obs. Publ., 2, 245, 1977.
5. Н. А. Алексеев, Г. А. Алексеева, А. А. Архаров и др., Труды ГАО АН СССР, 83, 3, 1978.
6. Е. И. Газен-Торн, Е. В. Рубан, Бальмеровские скачки, спектрофотометрические градиенты и температуры звезд по результатам спектрофотометрических наблюдений. Депонирована в ВИНТИ, 10. II. 1983 г., № 6001-83, 24 стр.
7. D. Hoffleit, Catalog of Bright Stars, New Haven, 1964.
8. Y. M. Blanco, S. Demers, G. G. Douglass, M. P. Fitzgerald, Publ. US Naval Obs. 2-nd Ser., 21, 1968.
9. P. M. Kennedy, W. Buscombe, MK Spectral Classification, Evanston, 1974.
10. B stars with and without Emission Lines, ed. A. B. Underhill, V. Doazan, NASA Sp-456, 1982.
11. D. Mihalas, Ap. J. Suppl. ser., 9, 321, 1965.
12. D. Mihalas, Ap. J. Suppl. ser., 13, 1, 1966.
13. R. L. Kurucz, Ap. J. Suppl. ser., 40, 1, 1979.
14. В. Житкевичюс, В. Страйжис, Бюлл. Вильнюсской обс., 34, 30, 1972.
15. А. А. Боярчук, Н. М. Копылов, Изв. Крымской обс., 34, 44, 1964.
16. J. Hardorp, P. A. Strittmatter, Ap. J., 151, 1057, 1968.
17. T. P. Snow, D. C. Morton, Ap. J. Suppl. ser., 32, 429, 1976.
18. H. J. G. L. M. Lamers, J. B. Rogerson, Astron. Astrophys., 66, 417, 1978.
19. H. J. G. L. M. Lamers, R. P. Snow, Ap. J., 219, 504, 1978.
20. В. Г. Горбачук, И. Н. Минин, Нестационарные звезды, Физматгиз, М., 1963.
21. A. Slettebak, Ap. J. Suppl. ser., 50, 55, 1982.
22. А. Лууд, Публ. Тартуской обс., 46, 55, 1978.
23. A. E. Whitford, A. J., 63, 201, 1958.
24. K. Nandy, Nature, 243, 21, 1973.