

УДК 524.3

## Об одной особенности линий межзвездного покраснения

И. И. Шустарёв

Показано, что линии межзвездного покраснения имеют сложную структуру. Обсуждается возможность связи такой структуры с различиями химического состава звезд.

*ON ONE SPECIAL FEATURE OF THE INTERSTELLAR REDDENING LINES, by Shustarev P. N.—It is shown that the interstellar reddening lines are of a complex structure. The possibility of connection of this structure with differences in stellar chemical composition is discussed.*

Как известно, наклон линий покраснения, являющихся траекториями, по которым звезды «спускаются» с линии нормальных цветов на двухиндексной диаграмме цвет — цвет при наличии межзвездного поглощения, зависит от спектрального класса звезд. По рисункам 1 — 44 из работы [1] видно, что при изменении спектрального класса от *O* до *A* кроме изменения наклона линий покраснения увеличивается дисперсия точек. По мнению авторов [1], такое размывание линий покраснения в основном связано с неточностью спектральной классификации звезд. Настоящая работа посвящена более детальному анализу этого эффекта.

Пусть две физические величины *A* и *B* связаны между собой линейной зависимостью. Очевидно, что если мы проведем серию измерений значений *A*, *B* и нанесем эти данные на график зависимости *A* от *B*, то получим облако точек, вытянутое вдоль прямой  $A = kB + C$ . Если перпендикулярно этой прямой провести другую прямую и на нее параллельно первой перенести все точки, то полученное распределение точек на перпендикулярной прямой должно быть нормальным, так как оно связано лишь с ошибками измерений величин *A* и *B*. Как известно, линии межзвездного покраснения являются прямыми (для средне- и узкополосных фотометрических систем) или параболами с небольшой кривизной (для широкополосных систем). Таким образом, все изложенное можно отнести и к линиям покраснения.

Из каталога [10], в котором приведены фотометрические данные для звезд в Женевской системе и для большинства из них даны спектральные классы в системе МК, мы отобрали непекулярные и непременные звезды класса *O* главной последовательности без эмиссионных особенностей (146 звезд). Соответствующие данные нанесли на двухиндексную диаграмму  $U - V$ ,  $B1 - V$ . Методом наименьших квадратов через точки диаграммы проведена прямая, а затем все точки перенесены параллельно ей на перпендикулярную прямую. Далее нашли распределение этих точек вдоль перпендикулярной прямой, для чего провели такое преобразование координат, что ось ( $B1 - V$ ) совпала с перпендикулярной прямой (проходящей через точку  $U - V = B1 - V = 0$ ); в дальнейшем координаты точек вдоль этой оси будем обозначать как  $(B1 - V)_m$ . Полученное распределение точек представлено на рис. 1. Проверка с помощью критерия Пирсона показала, что с вероятностью более 97.5 % данное распределение не является нормальным. По виду кривой распределения (рис. 1), полученной методом скользящего среднего, можно предположить, что она полимодальная, т. е. является суммой нескольких

нормальных кривых. Для уточнения этого методом, изложенным в [5], мы исследовали множество полученных значений  $(B1 - V)_m$  на однородность. Проведенный анализ показал, что данное множество неоднородно, состоит по крайней мере из трех подмножеств, причем границы, проведенные между ними, имеют весьма высокую значимость — более 99 %. Таким образом, множество точек, по которым определяется линия покраснения, неоднородно, состоит из трех подмножеств, через которые необходимо проводить индивидуальные линии покраснения.

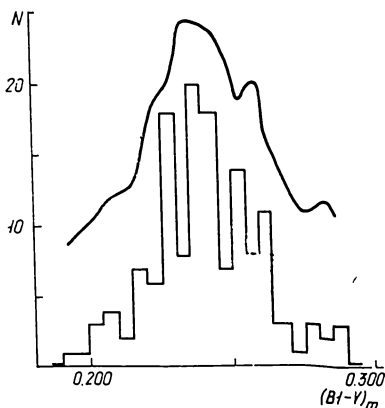


Рис. 1. Распределение значений  $(B1 - V)_m$  для звезд класса О главной последовательности

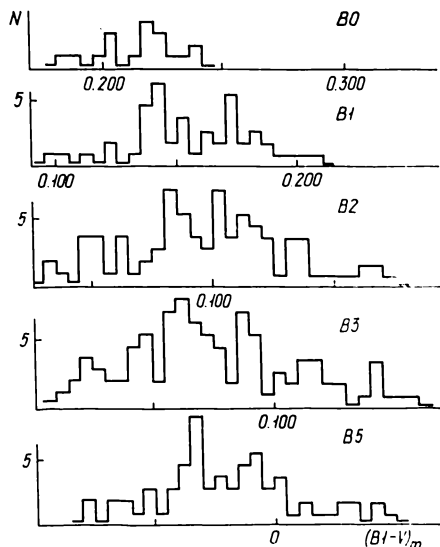


Рис. 2. Распределение значений  $(B1 - V)_m$  для В-звезд ранних спектральных подклассов главной последовательности

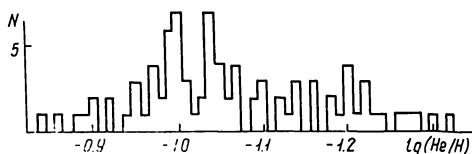
Аналогичный анализ проведен по линиям покраснения, полученным по фотометрическим данным для ранних В-звезд главной последовательности из [10]. Это 18 звезд В0, 47 звезд В1, 88 звезд В2, 103 звезды В3 и 68 звезд В5. Соответствующие распределения приведены на рис. 2. Применение к ним критерия Пирсона показало, что в среднем с вероятностью около 90 % все эти кривые не являются нормальными. Правда, применение в этом случае критерия Пирсона не совсем корректно, так как здесь число звезд в каждой группе сравнительно невелико. В случае спектрального класса В3, где число рассматриваемых звезд наибольшее, распределение не является нормальным с вероятностью более 99 %. Таким образом, анализ линий покраснения, полученных по ранним В-звездам, подтверждает сделанный по линии покраснения О-звезд вывод о том, что в случае горячих звезд линия покраснения распадается на несколько линий.

Но тогда размывание линий покраснения, которое наблюдается с уменьшением эффективной температуры звезд (от класса О к классу А), является на самом деле результатом разделения одной линии покраснения на несколько (хотя вполне вероятно и некоторое увеличение дисперсии точек) и связано либо с увеличением различия между наклоном разных линий, либо с увеличением расстояния между точками пересечения линий покраснения с кривой нормальных цветов. Доказать это довольно трудно, так как в нашем случае точек недостаточно, а расстояния между максимумами на наших кривых распределения сильно зависят от точного определения наклона линии покраснения и перпендикуляра к ней, что в свою очередь связано с наличием в выборке до-

статочного большого числа покрасневших звезд. В настоящей работе нас больше интересует сам факт разделения одной линии покраснения, а не величина их взаимного расхождения.

Рассмотрим теперь причины, которые могут вызвать разделение. Возможно, что такая картина возникла вследствие эффекта зависимости наклона линий покраснения от галактической долготы звезд, т. е. каждая нормальная кривая, входящая в общую кривую распределения на рис. 1, соответствует отдельной линии покраснения с определенным

Рис. 3. Распределение значений  $\lg(\text{He}/\text{H})$  для горячих звезд из работ [7, 8]



наклоном. Для проверки такой возможности вычислено значение критерия независимости, которое показало, что с вероятностью более 99.5 % значения  $(B1 - V)_m$  и галактическая долгота являются независимыми.

Рассмотрим возможность разделения линии покраснения вследствие различий эффективных температур звезд. Для этого также был определен критерий независимости спектральных подклассов O-звезд от значений  $(B1 - V)_m$ . Оказалось, что с вероятностью более 99.9 % эти величины являются независимыми. Здесь нельзя придавать большого значения такой вероятности, поскольку, как известно, ошибки спектральной классификации горячих звезд весьма велики. Если все же такая зависимость существует, то мы должны сделать вывод о том, что имеется несколько наиболее вероятных значений эффективной температуры, а это противоречит современным представлениям.

Наконец, по нашему мнению, наиболее вероятной причиной разделения линий покраснения является различие в химическом составе звезд. В [4] показано, что звезды классов G — K диска Галактики имеют два наиболее вероятных значения металличности  $[\text{Fe}/\text{H}]$ . Из каталога [10] мы отобрали гиганты класса K. Для этих звезд описанным выше методом мы получили кривые распределения значений  $(B1 - V)_m$  отдельно для каждого спектрального подкласса. Необходимо отметить, что здесь полимодальность видна хуже, иногда практически отсутствует. Кривые распределения затем делились на две части либо между максимумами, либо же по максимуму (если кривая одновершинна), и отдельно для полученных двух групп по значениям  $(B1 - V)_m$  вычислялись  $[\text{Fe}/\text{H}]$  по данным [6]. Они оказались равными  $0.07 \pm 0.03$  и  $-0.31 \pm 0.07$  (по 45 звездам), что близко к значениям 0.08 и  $-0.22$  [4]. Таким образом, точки на двухиндексной диаграмме для звезд поздних спектральных классов, если и не разделяются достаточно надежно на два подмножества, все же имеют достаточно надежную тенденцию к распределению в направлении, перпендикулярном линии покраснения в зависимости от значения металличности. Следовательно, различия в химическом составе, а точнее различные значения коэффициентов блокирования линиями поглощения железа в соответствующих спектральных областях, приводят к разделению точек на двухиндексной диаграмме по отношению к линии покраснения.

Аналогичный эффект возможен и у горячих звезд в связи с различным содержанием гелия. Как показано в работах [7, 8], содержание гелия изменяется довольно значительно, что приводит к ощутимым изменениям фотометрических величин. По всем данным из [7, 8], для 90 звезд получено распределение  $\lg(\text{He}/\text{H})$ , приведенное на рис. 3. Снова имеем полимодальное распределение, причем анализ показал, что множество значений  $\lg(\text{He}/\text{H})$  неоднородно и здесь можно выделить по крайней мере три подмножества (три вершины на распределении со

значениями  $-1.00$ ,  $-1.04$  и  $-1.20$ ), границы между которыми имеют уровень значимости более 95 %. Аналогичные полимодальные распределения получаются для данных о содержании гелия из работ [2, 3, 9, 11]. Мы привели только распределение, построенное по данным [7, 8], так как в этих работах рассмотрено наибольшее число звезд и используемый наблюдательный материал здесь более однородный.

К сожалению, в случае горячих звезд оказалось невозможным непосредственно получить корреляцию между значениями  $(B1 - V)_m$  и  $\lg(\text{He}/\text{H})$ , как в случае звезд поздних спектральных классов, так как для горячих звезд предполагаемые нами нормальные распределения (рисунки 1, 2), из которых состоит общая кривая распределения, достаточно далеко отстоят друг от друга. Это приводит к тому, что правое крыло одного нормального распределения находится в области значений  $(B1 - V)_m$ , в которой находится левое крыло другого нормального распределения (т. е. к смешиванию небольших значений  $\lg(\text{He}/\text{H})$  правого крыла первого распределения с большими значениями левого крыла второго). Поэтому получаемые средние значения  $\lg(\text{He}/\text{H})$  слабо коррелируют с  $(B1 - V)_m$ .

Таким образом, множество точек на двухиндексной диаграмме  $(U - V)$ ,  $(B1 - V)$ , составляющих линию покраснения, распадается на несколько подмножеств в направлении, перпендикулярном линии покраснения. Это позволяет считать, что более реальна аппроксимация имеющегося множества наблюдательных точек не одной, а несколькими (в соответствии с числом подмножеств) линиями покраснения. Проведенное исследование показывает, что наиболее вероятная причина разделения линии межзвездного покраснения заключается в различии химического состава близких к Солнцу звезд диска Галактики.

1. Ажусенис А., Страйжис В., Суджюс И. Уточнение кривых реакции и параметров системы  $U, B, V$ . Зависимость наклона линий покраснения от спектрального класса по данным наблюдений // Бюл. Вильнюс. астрон. обсерватории.— 1966.— № 18.— С. 34—67.
2. Клочкова В. Г., Панчук В. Е. Содержание гелия в атмосферах В-звезд — членов рассеянных скоплений // Письма в Астрон. журн.— 1986.— 12, № 12.— С. 928—935.
3. Любимков Л. С. Содержание гелия в атмосферах звезд, входящих в О-ассоциации и молодые скопления // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 1976.— 55.— С. 112—126.
4. Марсаков В. А., Сучков А. А. Распределение металлов среди звезд диска и происхождение подсистем Галактики // Письма в Астрон. журн.— 1978.— 4, № 11.— С. 500—504.
5. Родионов Д. А. Статистические решения в геологии.— М.: Недра, 1981.— 230 с.
6. Morel M., Bentolila C., Cayrel de Strobel G., Hauck B. A catalogue of  $[\text{Fe}/\text{H}]$  determinations // Abundance effects in classification: IAU Symp. N 72.— Dordrecht; Boston: Reidel, 1976.— P. 223—259.
7. Nissen P. E. The helium-to-hydrogen ratio in B stars, as determined from photoelectric observations of a narrow-band index of the He I  $\lambda$  4026 line // Astron. and Astrophys.— 1974.— 36, N 1.— P. 57—68.
8. Nissen P. E. Evidence of helium abundance differences between young groups of stars // Ibid.— 1976.— 50, N 3.— P. 343—352.
9. Peterson D. M., Shipman H. L. Helium abundances in NGC 2264, II Scorpii, and I Lacertae // Astrophys. J.— 1973.— 180, N 2.— P. 635—646.
10. Rufener F. Third catalogue of stars measured in the Geneva Observatory photometric system // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.— 1981.— 45, N 2.— P. 207—366.
11. Wolff S. C., Heasley J. N. The determination of the helium abundance in main-sequence B stars // Astrophys. J.— 1985.— 292, N 2.— P. 589—600.

Шемахин. астрофиз. обсерватория АН АзССР  
им. Н. Туси

Поступила в редакцию  
23.03.87