

УДК 524.352

300 часов спектрографических наблюдений на телескопе Zeiss-50"

В.В. Леушин

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз,
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
tamalpan@yandex.ru

Поступила в редакцию 20 декабря 2012 г.

Мое знакомство с 50" телескопом начиналось летом 1963 г. во время студенческой практики, руководителем которой был И.М. Копылов. Непосредственно с работой телескопа и спектрографов меня знакомил Э.А. Витриченко. В этот же сезон там наблюдал Н.А. Козырев, который работал с призмным спектрографом. В течение недели я был на телескопе с ним. По итогам этих наблюдений Н.А. Козырев выступил с докладом на астрофизическом семинаре КрАО, где сообщил об обнаружении линий технеция в спектре Венеры.

В это же время я работал со спектрами Ар-звезды ϵ UMa с обратной дисперсией 23 А/мм у H_γ , полученными И.М. Копыловым с призмным спектрографом телескопа Zeiss-50" и зарегистрированными на микрофотометре Молля. Результаты опубликованы в моей первой статье (Леушин, 1965).

Дальнейшая моя работа на телескопе Zeiss-50" протекала в период с мая 1966 г. по июль 1967 г. В этот период мной было получено около 350 спектрограмм для 56 Ар и 28 нормальных звезд в области спектральных классов В5-F0 ярче 5.5 звездной величины. Спектрограммы звезд были получены на спектрографе АСП-11. Обратная дисперсия 13–15 А/мм, область спектра 3500–4500 Å. Спектры получались на фотоэмульсиях Kodak Oa-O и Kodak Oa-J, для ярких звезд – на Agfa Diapositiv. Калибровка спектрограмм проводилась на лабораторном спектрографе ИСП-51, регистрация – на микрофотометре в прямых интенсивностях (Абражевский, 1965). Проекция ширины щели спектрографа АСП-11 на пластинке при наблюдениях выбиралась равной 0.026 мм (т.е. порядка величины зерна эмульсии). Регистрограммы спектров измерялись на приборе «Графоанализатор», состыкованном с ЭЦВМ «Минск-1» (Леушин и др., 1970). Полученные значения эквивалентных ширин спектральных линий поглощения были использованы для всестороннего анализа спектральных и физических характеристик Ар-звезд и сравнения их с нормальными звездами.

На основе двумерной количественной спектральной классификации (Леушин, 1971) был сделан вывод о дефиците гелия в атмосферах горячих пекулярных звезд (Si- и Mn-пекулярность) и об избытке железа в звездах с аномальными линиями Si и Mn. Возможно, что дефицит гелия в атмосферах звезд Ар связан с избытком железа и по этому признаку Ар-звезды можно разбить на две группы: в первую входят звезды Ар с аномальными линиями Si и Mn, во вторую – звезды с остальными типами пекулярностей.

Введение и вычисление для Ар-звезд количественных характеристик пекулярности – степени пекулярности Р (Леушин, 1971) показало непрерывность и постепенность перехода от нормальных звезд к пекулярным. «Пекулярные элементы» (то есть элементы, линии которых

усилены в спектрах Ар-звезд) делятся на две группы: 1) Mn, Hg, Ga, P и 2) R.E., Si, Sr. Степени пекулярности в группах коррелируют друг с другом, а между группами – нет. Зависимость степени пекулярности от магнитного поля ($\text{extr } H_e$): рост P с увеличением $|\text{extr } H_e|$, обнаруженная для величин P второй группы, позволяет заключить, что магнитное поле, по-видимому, оказывает существенное влияние на величину P.

Интересные результаты были найдены по полученным спектрам при анализе водородных и кальциевых линий поглощения в Ар-звездах и сравнении их с нормальными (Леушин, 1973; Леушин, 1982).

Зависимость эквивалентных ширин водородных линий от Sp у пекулярных звезд ранних спектральных классов до A1–A2 отличается от таковой у нормальных звезд. Средняя кривая W_λ –Sp для Ар-звезд сдвинута в сторону поздних спектральных классов примерно на один подкласс: различие температур составляет примерно 1000–1500 K.

У пекулярных звезд спектральных классов A2 и более поздних эквивалентные ширины линий H_γ и H_δ на 10–15 % больше, чем у нормальных.

Глубина водородных линий в спектрах звезд Ар несколько больше, примерно на 0.07, чем в спектрах нормальных звезд.

Различия электронных плотностей $\lg n_e$ в атмосферах пекулярных и нормальных звезд очень малы, но имеют место. Электронные плотности в верхних слоях пекулярных звезд несколько выше, чем у нормальных.

Разность $\Delta \lg n_e = \lg n_e (H_\gamma, H_\delta) - \lg n_e (n_m)$ для нормальных звезд в среднем на 0.22 больше, чем для пекулярных.

Полученные эффекты не являются ошибками наведения контуров водородных линий на регистрограммах, так как подобные ошибки должны оказывать одинаковое влияние на пекулярные и нормальные звезды. Кроме того, реальность этих различий подтверждается сопоставлением наших результатов с результатами других авторов.

Рассмотренные различия можно объяснить следующими причинами.

1. Можно было бы объяснить их различием светимостей (M_V) пекулярных и нормальных звезд, так называемым эффектом светимости. Однако величины M_V , определенные по тригонометрическим параллаксам (Леушин, 1971), и значения $\lg n_e$ свидетельствуют как будто о равенстве, в среднем, абсолютных величин исследуемых нормальных и пекулярных звезд.

2. Уменьшение эквивалентных ширин водородных линий может быть вызвано дополнительным источником поглощения в атмосферах пекулярных звезд по сравнению с нормальными. Таким источником может быть поглощение металлами, обилие которых в значительной степени повышено в атмосферах звезд Ар по сравнению с нормальным содержанием. Одним из главных поглощающих агентов может быть кремний, количество которого в некоторых звездах Ар больше, чем гелия. Сопоставление теоретических зависимостей W_λ линии H_γ от эффективной температуры при различном содержании кремния в атмосфере звезд показывает, что эквивалентные ширины при увеличенном содержании кремния в звездах ранних спектральных классов уменьшены, а в звездах спектрального класса A2 не зависят от его содержания. Начиная от спектрального класса A2, с увеличением содержания кремния W_λ и $\Delta \lambda$ водородных линий увеличиваются. Связано это с изменениями коэффициента поглощения в водородных линиях. Некоторую разницу между интенсивностями линий можно объяснить влиянием непрерывного поглощения атомами кремния.

3. Меньшую интенсивность излучения в центре линий водорода (большее значение R_0) в звездах Ар, вероятно, можно объяснить наличием увеличенного покровного эффекта. Действительно, слой, эффективно поглощающий в линиях металлов, должен несколько охлаждать вышележащие слои атмосферы, которые дают излучение в центре линий водорода, и таким образом уменьшать интенсивность этого излучения.

300 часов спектрографических наблюдений на телескопе Zeiss-50"

4. Различие в $\Delta \lg n_e$ для пекулярных и нормальных звезд можно объяснить неодинаковой степенью ионизации рассматриваемых слоев в пекулярных и нормальных звездах, что, вероятно, обусловлено уменьшенным температурным градиентом в звездах Ар. Однако существует еще одна причина, которая может объяснить этот факт. Если последние определяемые линии серии Бальмера эффективно образуются в тех же слоях, где и линии металлов, а обилие последних там повышено, то в этих слоях возможно увеличение электронной плотности за счет ионизации металлов, например, кремния. Это увеличение, по нашим расчетам, может достигать до 1.5–2 раз, т. е. до нужной величины. Понятно, что в пекулярных звездах разных типов рассмотренные механизмы играют различную роль.

Если в нашем исследовании вместо количественных спектральных классов использовать эффективные температуры, полученные выводы принципиально не изменятся. Правда, сразу можно сказать, что эффективная температура, полученная по характеристикам водородного спектра (по распределению энергии в спектре звезды, по контурам водородных линий) и таким образом связанная с показателями цвета В–V и U–B, сдвинет кривую для пекулярных звезд в сторону кривой для нормальных, если взять вместо спектрального класса температуру. Это следует из сопоставления спектральных классов с показателями цвета В–V и U–B. С другой стороны, эффективная температура не является равнозначной характеристикой для пекулярных и нормальных звезд, так как структуры атмосфер тех и других звезд различны. Различие структур является следствием избыточного содержания и неоднородного распределения металлов в атмосферах пекулярных звезд.

Таким образом, один основной факт, наличие которого подтверждается многочисленными наблюдениями звезд Ар, а именно – повышенное по сравнению с нормальным содержание легкоионизируемых элементов в верхних слоях атмосфер пекулярных звезд, может объяснить весь комплекс различий характеристик атмосфер (полученных по водородным линиям) пекулярных и нормальных звезд.

Проанализированы данные о содержаниях кальция в атмосферах пекулярных звезд, полученные с помощью моделей атмосфер и по литературным источникам. Изучен спектр CaI и CaII в звездах Ар. Показано, что в среднем эквивалентные ширины линии К CaII в спектрах звезд Ар соответствуют их показателям цвета В–V, хотя и наблюдается больший разброс, чем для нормальных звезд. На основе анализа эффективных температур, используемых при нахождении содержания кальция, методов определения содержания и точности измерения эквивалентных ширин линий Ca I и Ca II делается заключение о нормальном в среднем содержании кальция в атмосферах звезд Ар. Усиление и ослабление интенсивности линии К CaII в спектрах пекулярных звезд, вероятнее всего, объясняется отличием структур атмосфер звезд Ар от нормальных.

В области температур звезд Ар населенности уровней кальция для линий в видимой области меняются больше, чем на два порядка, в то время как для железа эти изменения меньше одного порядка. Поэтому даже незначительное изменение температуры в пределах, обусловленных неточностью ее определения, не сказываясь существенно на определяемом содержании железа, резко меняет величину [Ca]. Аномальное поведение линии К CaII, связанное скорее всего с аномалиями в структурах атмосфер звезд Ар, является причиной расхождения величин [Ca], полученных по линиям нейтрального кальция и по линии К CaII.

Линия К CaII является, вероятно, наилучшим индикатором отличия структуры атмосфер пекулярных звезд от нормальных. Тщательное изучение водородных линий показывает существование этих отличий, но эффекты структуры, особенно температурные, сравнительно мало сказываются на эквивалентных ширинах и контурах водородных линий, так как последние здесь достигают максимума.

Усиление или ослабление линии К CaII в звездах Ар по сравнению с нормальными с теми же В–V скорее всего вызывается отличием структур атмосфер Ар и нормальных звезд и

большой чувствительностью линии к изменениям температуры. Большая чувствительность линии К Са II к структурным температурным изменениям звезд Ар в атмосферах (наличие таких изменений не вызывает сомнений) препятствует точному определению величин [Са], в то же время другие линии Са I и Са II из-за малой интенсивности и очень большого блендирования измеряются крайне неточно и дают при стандартном анализе неуверенные сведения.

Литература

- Абражевский Б.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 34. С. 331.
Леушин В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 34. С. 151.
Леушин В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1971. Т. 43. С. 113.
Леушин В.В., Якомо А.А., Русак Н.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1970. Т. 41–42. С. 384.
Леушин В.В. // Астрофизические исследования. 1971. Т. 3. С. 36.
Леушин В.В. // Астрофизические исследования. 1973. Т. 5. С. 70.
Леушин В.В. // Астрон. журн. 1982. Т. 59. С. 543.