

УДК: 524.38—355

О РЕАЛЬНОСТИ НАБЛЮДАЕМЫХ ХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ Ам-ЗВЕЗД С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИХ ДВОЙСТВЕННОСТИ

А. С. ЛЮБИМКОВ

Поступила 5 мая 1989

Принята к печати 25 июня 1989

Промоделирован спектр двойной системы, который затем анализируется как спектр одиночной звезды. В результате такого анализа воспроизведены характерные химические аномалии Ам-звезд. Сделан вывод, что пренебрежение фактором двойственности может приводить к результатам, не соответствующим реальному химическому составу компонентов системы.

Химический состав Ам-звезд обнаруживает ряд характерных особенностей, описание которых можно найти, например, в обзоре Боярчука и Саванова [1]. Довольно часто у звезд этого типа наблюдается дефицит относительно легких элементов, таких, как С, О, Mg, Ca и Sc. При переходе к более тяжелым элементам вместо дефицита появляется избыток, который имеет тенденцию расти с увеличением атомного номера Z , достигая у редких земель порядка величины и более. Таким образом, химические аномалии Ам-звезд показывают характерную зависимость от Z .

Природа Ам-звезд окончательно пока не выяснена. Существует две основных точки зрения на происхождение наблюдаемых химических аномалий: одна гипотеза рассматривает их как следствие нуклеосинтеза, другая предлагает в качестве возможной причины диффузию элементов в атмосфере. Выбор в пользу той или иной гипотезы можно сделать лишь на основе достоверных сведений о химическом составе Ам-звезд. Однако всегда ли данные, полученные даже по высококачественным спектрам, отражают реальный химический состав? Мы покажем, что фактор двойственности Ам-звезд, которым до сих пор полностью пренебрегали, может оказывать сильное влияние на определяемое содержание элементов.

Абт [2], исследовав 25 Ам-звезд, установил, что 22 из них являются спектрально-двойными. Учитывая, что некоторые реально существующие двойные не обнаруживают свою двойственность, так как плоскости их орбит наклонены под достаточно большим углом к лучу зрения, Абт пред-

положил, что все Ап-звезды могут быть спектрально-двойными. Если это так, тогда возникает следующий вопрос: в какой мере химические аномалии, наблюдаемые у Ап-звезд, отражают реальное содержание элементов в атмосферах компонентов? Ответ на него можно получить путем моделирования спектра двойной системы.

Будем рассматривать Ап-звезду как неразрешенную двойную систему, все наблюдаемые спектральные и фотометрические характеристики которой являются комбинацией соответствующих характеристик входящих в нее звезд А и В. Соотношения, задающие связь между индивидуальными характеристиками компонентов А и В, с одной стороны, и параметрами суммарного спектра, с другой стороны, получены нами ранее (см. [3]). В частности, эквивалентная ширина W_{AB} линии в общем спектре двойной системы связана с ширинами W_A и W_B той же линии, в спектрах звезд А и В следующим равенством:

$$W_{AB} = \frac{W_A + \beta W_B}{1 + \beta}, \quad (1)$$

где

$$\beta = \frac{F_c(B)}{F_c(A)} \cdot \left(\frac{R_B}{R_A} \right)^2, \quad (2)$$

причем в последней формуле $F_c(A)$ и $F_c(B)$ — это потоки в континууме, излучаемые звездами А и В в рассматриваемой длине волны, а R_A и R_B — радиусы компонентов. Если известны массы компонентов M_A и M_B и ускорения силы тяжести в их атмосферах g_A и g_B , тогда

$$\left(\frac{R_B}{R_A} \right)^2 = \frac{M_B}{M_A} \cdot \frac{g_A}{g_B}. \quad (3)$$

Моделирование спектра двойной системы проводилось следующим путем. Задавались эффективная температура T_{eff} и ускорение силы тяжести g каждого из компонентов, по соответствующей модели атмосферы (в основу положены модели Куруца [4]) вычислялись эквивалентные ширины W_A и W_B в собственных спектрах компонентов, затем с помощью соотношений (1)—(3) определялись ширины W_{AB} в комбинированном спектре; отметим, что в рассмотренном ниже случае $\beta = 0.2—0.3$. Аналогичный переход от индивидуальных характеристик к комбинированным был выполнен также для фотометрического индекса $[c_1]$ и отношения освещенностей E_{4825}/E_{3625} (аналог бальмеровского скачка). Далее полученные величины $[c_1]$, E_{4825}/E_{3625} и W_{AB} анализировались обычным методом при предположении, что мы имеем дело с одиночной звездой.

Задавая параметры T_{eff} и g компонентов, мы исходили из того факта, что Ап-звезды встречаются в скоплениях разного возраста, в том числе и

в очень молодых, то есть их возраст t может быть очень малым. Поэтому в качестве примера был рассмотрен случай, когда оба компонента имеют возраст $t = 0$, то есть лежат на начальной главной последовательности. Согласно эволюционным расчетам Менгела и др. [5] этому случаю у А-звезд соответствуют значения $\lg g \approx 4.4$. Принятые параметры T_{eff} и $\lg g$ приведены в табл. 1; для определенности компонентом А будем назы-

Таблица 1

Компонент	T_{eff}	$\lg g$	ξ_t , км/с	$M/M_\odot$	$R/R_\odot$
А	10000	4.40	2	2.0	1.5
В	7250	4.35	4	1.4	1.3

вать более горячую звезду. Там же указана скорость микротурбулентности ξ_t , которая в соответствии с разницей в T_{eff} выбрана более высокой для относительно холодного компонента В. Принятым параметрам T_{eff} и $\lg g$

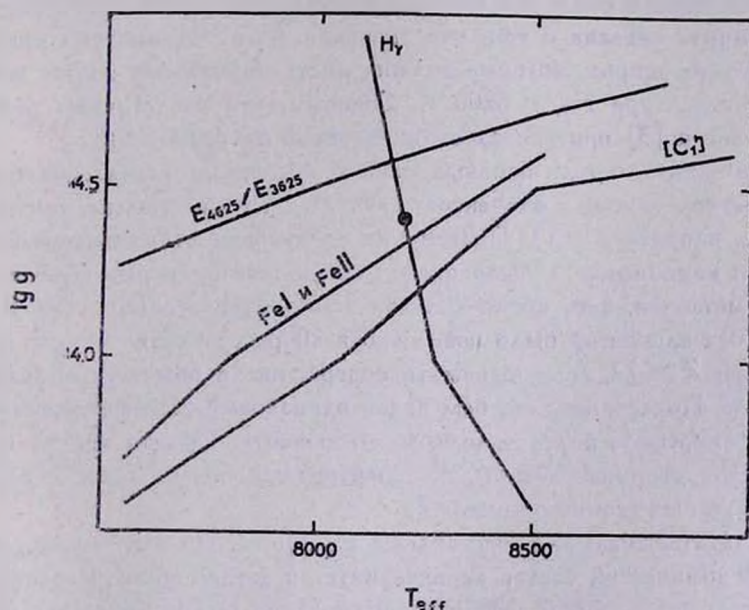


Рис. 1. Диаграмма для определения «средних» параметров T_{eff} и $\lg g$ двойной системы. Точка соответствует принятой модели.

соответствуют массы M и радиусы R , приведенные в таблице (Менгел и др. [5]).

Итак, суммарный спектр двойной системы, полученный путем моделирования, анализируется как спектр одиночной звезды. Сначала по значе-

ниям E_{4025} / E_{3825} , $[c_1]$ и эквивалентной ширине W_{AB} линии H_γ были найдены эффективная температура и ускорение силы тяжести: $T_{eff} = 8200$ K, $\lg g = 4.4$. Для контроля был применен еще один критерий — ионизационное равновесие по линиям Fe I и Fe II, который подтвердил правильность выбора значений T_{eff} и $\lg g$ (рис. 1). Подчеркнем, что это фиктивные параметры, характеризующие «в среднем» спектр двойной звезды. Далее, на основе модели атмосферы, соответствующей этим параметрам, по значениям W_{AB} , рассматриваемым как наблюдаемые эквивалентные ширины, было определено содержание 23 элементов. Для анализа выбирались такие спектральные линии, которые обычно используются при исследовании химического состава АМ-звезд. Когда линий было много (для элементов группы железа), отбирались линии разных мультиплетов. Наибольшее число — двадцать линий — рассмотрено для Fe I.

Сначала для обоих компонентов был принят нормальный (солнечный) химический состав. Оказалось, что в результате анализа значений W_{AB} для большинства элементов получается дефицит содержания, например, 0.55 dex для кальция и около 0.2 dex для тяжелых элементов. Причина подобного дефицита связана с тем, что значения W_{AB} получаются ниже тех эквивалентных ширин, которые должна иметь нормальная звезда при найденной температуре $T_{eff} = 8200$ K. Отметим, что аналогичный результат был получен в [3] при исследовании двойной системы π Sgr.

Химический состав, наблюдаемый у АМ-звезд, характеризуется общим избытком тяжелых элементов, начиная с группы железа, точнее с титана (см., например, [6]). Поэтому на следующем этапе нашего исследования для компонента А было принято по-прежнему нормальное содержание всех металлов, в то время как для компонента В содержание Ti и более тяжелых элементов было повышено в 20 раз, то есть $\lg \epsilon_B = \lg \epsilon_\odot + 1.30$ при $Z \geq 22$, если выражать содержание в обычной логарифмической шкале. Подчеркнем, что был задан одинаковый избыток тяжелых элементов в атмосфере более холодного компонента. Однако анализ суммарного спектра двойной системы, как выяснилось, показал совсем иную зависимость $\lg \epsilon$ от атомного номера Z .

Результаты анализа представлены на рис. 2. Из него видно, что полученный химический состав характеризуется следующими особенностями. Во-первых, найден общий дефицит относительно легких элементов (для Ca около 0.8 dex), хотя их содержание у обоих компонентов нормальное. Во-вторых, для элементов группы железа в среднем получен умеренный избыток (а для Fe и Ti даже несколько повышенное содержание), хотя в действительности их избыток у холодного компонента равен 1.3 dex. В-третьих, для редких земель ($Z \sim 60$) обнаружено наибольшее отклонение от нормального содержания, достигающее 1.0 dex. Избыток того же порядка найден для тория, очень тяжелого элемента с $Z = 90$, исследован-

ного по линии Th II λ 4019.13; такой же результат был получен в [7] из анализа наблюдаемых профилей λ 4019.13. В целом же рис. 2 демонстрирует тот самый ход химических аномалий с ростом Z , который характерен для Ат-звезд.

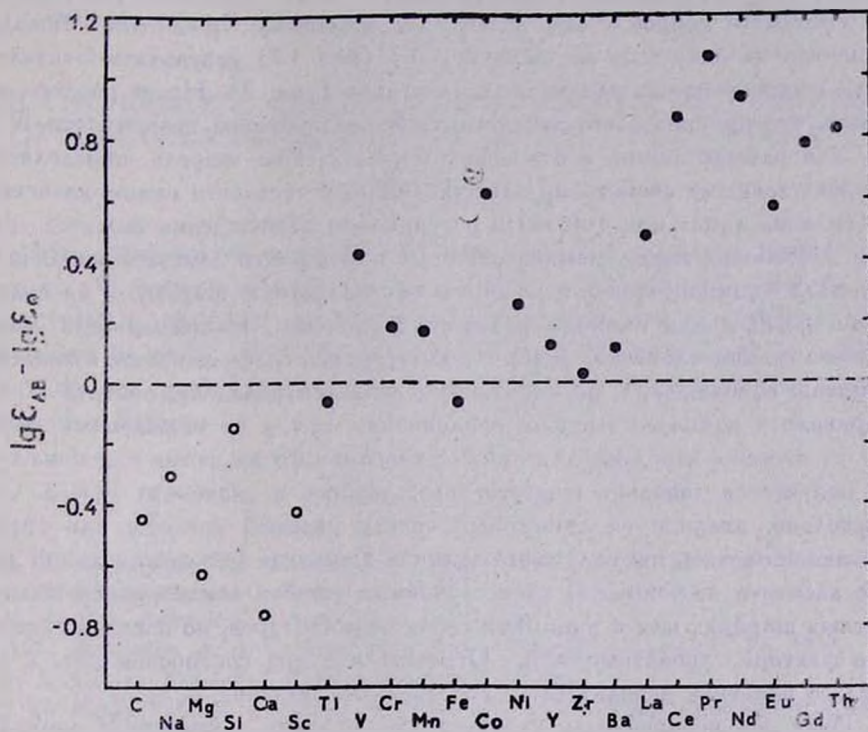


Рис. 2. Содержание элементов, определенное по теоретическому спектру двойной системы, проанализированному как спектр одиночной звезды. Штриховая линия соответствует нормальному (солнечному) содержанию, светлые кружки — элементам с нормальным содержанием у обоих компонентов, заполненные кружки — элементам, содержание которых у компонентов В повышено в 20 раз.

Отметим, что при анализе химического состава была использована микротурбулентная скорость $\xi_t = 3.5$ км/с, найденная по эквивалентным ширинам W_{Ab} линий Fe I. Далее, мы приняли избыток 1.3 dex в содержании тяжелых элементов для более холодного компонента В; если бы вместо этого принять ту же величину 1.3 dex для компонента А, тогда все избытки на рис. 2 оказались бы существенно меньше.

Для сравнения был рассмотрен также случай, когда содержание тяжелых элементов у компонента В повышено в 50 раз, то есть $\lg \epsilon_B = \lg \epsilon_{\odot} + 1.70$ при $Z \geq 22$. По эквивалентным ширинам W_{Ab} линий Fe I в этом случае определена микротурбулентная скорость $\xi_t = 4.3$ км/с. В ре-

зультате анализа суммарного спектра снова получился характерный ход химических аномалий с ростом Z , только общий избыток относительно тяжелых элементов стал несколько выше. Железо и титан показали практически нормальное содержание, откуда можно заключить, что эти два элемента мало чувствительны к вариациям e_L .

Интересен вопрос о том, почему при повышении $\lg e_H$ для тяжелых элементов на одну и ту же величину 1.3 (или 1.7) результаты оказались столь неодинаковыми для разных элементов (рис. 2). Наши расчеты показали, что причина этого заключается в неодинаковой зависимости W от T_{eff} для разных линий, а эта зависимость, в свою очередь, определяется индивидуальными свойствами каждой линии, в частности самим значением W (сильная линия или слабая) и потенциалом возбуждения нижнего уровня χ . Поскольку между компонентами А и В имеется заметное различие в T_{eff} , вклад компонентов в суммарную эквивалентную ширину W_{AB} оказывается разным для линий с разными свойствами. Например, для линий редкоземельных элементов и тория, которые все слабы и имеют низкие потенциалы возбуждения, определяющим оказался вклад компонента В, что и привело к наиболее высоким отклонениям $\lg e_{AB}$ от нормальных значений. Интересно, что даже для линий одного и того же атома или иона иногда получается довольно существенный разброс в значениях $\lg e_{AB}$. Следовательно, анализируя суммарный спектр двойной системы как спектр одиночной звезды, мы получаем различие в оценках $\lg e_{AB}$ для линий данного элемента не только за счет случайных ошибок в измеренных эквивалентных ширинах или в принятых силах осцилляторов, но и вследствие самого фактора двойственности. Отметим, что при построении рис. 2 для каждого элемента использованы усредненные значения $\lg e_{AB}$.

Итак, мы воспроизвели характерную картину химических аномалий Ап-звезд, предположив лишь, что содержание элементов группы железа и более тяжелых у холодного компонента повышено на одну и ту же величину 1.3 dex или 1.7 dex. Рассмотренный пример моделирования спектра двойной звезды позволяет сделать важный вывод: анализ комбинированного спектра двойной системы, выполненный обычным методом, то есть без учета двойственности, может приводить к результатам, не соответствующим реальному химическому составу компонентов. Отсюда следует, что если действительно все Ап-звезды являются двойными, то данные об их химическом составе требуют пересмотра. В частности, как показали наши расчеты (рис. 2), обнаруженный у Ап-звезд дефицит относительно легких элементов может оказаться фиктивным, а умеренный избыток элементов группы железа — сильно заниженным по сравнению с их содержанием в атмосфере более холодного компонента. Изложенные результаты демонстрируют важную роль двойственности в исследованиях химического состава Ап-звезд.

Очевидно, что фактор двойственности необходимо учитывать при исследовании не только Ам-звезд, но и других двойных, обнаруживающих аномалии химического состава.

Крымская астрофизическая
обсерватория

ON THE REALITY OF OBSERVED CHEMICAL PECULIARITIES OF Am-STARS FROM STANDPOINT OF THEIR DUPLICITY

L. S. LYUBIMKOV

The spectrum of a binary star was modelled with the further analysis as a spectrum of a single star. As a result of such analysis the characteristic chemical peculiarities of Am-stars are reproduced. The conclusion is made, that the ignoring of duplicity can lead to results, which do not correspond to the real chemical composition of components of a binary.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. A. Boyarchuk, I. S. Savanov, In "Upper Main Sequence Stars with Anomalous Abundances", eds. C. R. Cowley et al., Reidel, 1986, p. 433.
2. H. A. Abt, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 6, 37, 1961.
3. Л. С. Любимков, Э. А. Самедов, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, 77, 97, 1987.
4. R. L. Kurucz, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 1, 1979.
5. J. G. Mengel, A. V. Sweigart, P. Demarque, P. G. Gross, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, 733, 1979.
6. Л. С. Любимков, И. С. Саванов, *Астрофизика*, 19, 505, 1983.
7. Л. С. Любимков, И. С. Саванов, *Астрофизика*, 22, 63, 1985.