

УДК 524.3

## Исследование химического состава переменной звезды HD 50420 типа $\delta$ Sct

Б. М. Каминский

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины,  
03680, ГСП, Киев-127, Голосиив

*Методом синтетических спектров определены содержания элементов в атмосфере переменной HD 50420 типа  $\delta$  Sct. Использовались высокодисперсные эшелле-спектрограммы, полученные на 6-м телескопе БТА САО РАН. Полученные результаты характеризуют HD 50420 как звезду с незначительным избытком металлов порядка 0.1—0.2 dex, и не согласуются с предположением о ее принадлежности к химически пекулярным звездам типа  $\delta$  Sct.*

*ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЗМІННОЇ ЗІРКИ HD 50420 ТИПУ  $\delta$  Sct, Камінський Б. М. — Методом синтетичних спектрів визначено вміст елементів у атмосфері змінної HD 50420 типу  $\delta$  Sct. Використовувались високодисперсні ешелле-спектрограми, отримані на 6-м телескопі БТА САО РАН. Отримані результати характеризують HD 50420 як зірку з незначним надлишком металів порядку 0.1—0.2 dex, і не узгоджуються з припущенням про її належність до хімічно пекулярних зірок типу  $\delta$  Sct.*

*CHEMICAL ABUNDANCES IN THE  $\delta$  Sct STAR HD 50420, by Kaminskiy B. M. — The abundances of chemical elements in the atmosphere of the  $\delta$  Sct variable star HD 50420 are determined by the method of synthetic spectrum, using the high-dispersion echelle spectrograms obtained with the help of 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory. The atmosphere of HD 50420 is characterized by a negligible overabundance of metals (0.1-0.2 dex on the average). This result does not agree with the suggestion that HD 50420 is a  $\delta$  Sct star.*

### ВВЕДЕНИЕ

Звезда HD 50420 = HR 2557 = V352 Aur была классифицирована в [7] как принадлежащая к типу  $\delta$  Del и имеющая необычный спектр. Однако, в более поздней классификации [6] она отмечена как звезда A9III с нормальным спектром. Такой же результат — нормальная звезда класса A9III — получен и в [11]. Предположение, что HD 50420 принадлежит к типу  $\delta$  Del,

а также то, что на диаграмме Герцшпрунга—Рессела она расположена в полосе неустойчивости, инициировало проведение фотометрического мониторинга [9], и в результате были обнаружены пульсации с амплитудой  $0.02^m$  и периодом около 4 ч. Среди переменных  $\delta$  Sct, к которым принадлежит HD 50420, она является одной из звезд с наибольшей светимостью [9].

Впервые исследование химического состава HD 50420 выполнено в работе [8]. Результаты этого исследования неоднозначны. По содержаниям элементов звезда заняла промежуточное положение между химически пекулярными звездами типа  $\delta$  Del и звездами с нормальным химическим составом. Из-за значительных ошибок определения обилий в этой работе она может быть отнесена как к одному, так и к другому типу, и вопрос о ее химической нормальности или пекулярности остается открытым.

Данная работа посвящена уточнению химического состава HD 50420 и предваряет анализ спектров быстрых неправильных переменных звезд с неизученными спектральными характеристиками и химическим составом, которые получены на том же телескопе одновременно с HD 50420.

#### НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

Спектральные наблюдения HD 50420 были проведены А. Ф. Пугачем 17 декабря 1991 г. на 6-м БТА САО РАН с помощью эшелювого спектрографа «Рысь» с разрешающей способностью  $R = 25000$ , и «красной» ПЗС-матрицей  $520 \times 580$  пкл в качестве приемника излучения [4]. Предварительная обработка (нарезка изображений, удаление частиц, построение дисперсионных кривых и т. д.) осуществлялась по программам, разработанным в САО [1], а также В. О. Скаржевским (частное сообщение). Инструментальный профиль спектрографа определялся по линиям опорного торий-аргонового спектра. Он может быть представлен гауссианой с FWHM = 1.9 пкл. В работе использован спектральный интервал 420—650 нм, однако, поскольку спектрограф «Рысь» имеет скважность приблизительно равную 0.3, часть этого интервала не была зарегистрирована. Также из рассмотрения были исключены порядки, содержащие линии водорода, широкие крылья которых не позволяли уверенно провести континуум. Измерение эквивалентных ширин производилось путем прямого интегрирования.

#### АНАЛИЗ СПЕКТРА

Определение химического состава основывалось на использовании метода синтетических спектров, которые рассчитывались по моделям атмосфер Куруца [10]. При этом использовался список линий, взятый из CD-ROM#23 Куруца, а для линий бария был учтен эффект сверхтонкой структуры. Расчет синтетических спектров производился при помощи пакета программ STARSP, разработанного В. В. Цымбалом.

Содержания определялись следующим образом. Для каждой линии данного элемента синтетический спектр, рассчитанный при пробном значении  $I_{\epsilon}$ , сворачивался с инструментальным профилем и величиной  $V_{\epsilon} \sin i$  и сравнивался с полученным из наблюдений. Затем в случае необходимости содержание изменялось в ту или иную сторону до наилучшего совпадения с наблюдениями. Такой подход позволяет не только использовать некоторые блендированные линии, корректное измерение эквивалентных ширин которых затруднено, но и контролировать правильность проведения континуума.

Для нахождения эффективной температуры использовался метод болцмановского равновесия. При трех значениях  $T_{\text{эф}} = 7200, 7400, 7600$  К были построены зависимости содержаний, найденных по 54 линиям Fe I от

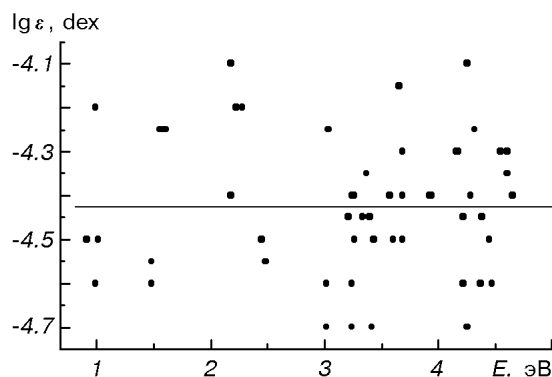


Рис. 1. Зависимость содержаний железа от потенциала возбуждения используемых линий при  $T_{\text{эф}} = 7400$  К

потенциала возбуждения этих линий. Как хорошо видно из рис. 1, при  $T_{\text{эф}} = 7400$  К нет разницы между содержаниями, найденными по линиям с различными значениями потенциала возбуждения и соответственно с различной чувствительностью к температуре. Это значение  $T_{\text{эф}} = 7400$  К, принятое нами как эффективная температура, полностью согласуется со значением, принятым в [8], а также с данными [12], где собраны многочисленные определения  $T_{\text{эф}}$  по фотометрическим калибровкам и профилям водородных линий.

Гравитационный параметр  $\lg g$  определялся из условия ионизационного равновесия, и по линиям Fe I и Fe II было получено значение  $\lg g = 3.0$ . Микротурбулентная скорость определялась обычным путем. Зависимости содержаний железа от эквивалентных ширин использовавшихся линий, построенные при  $\xi_1 = 2, 3, 4$  км/с, аппроксимировались прямыми. Путем

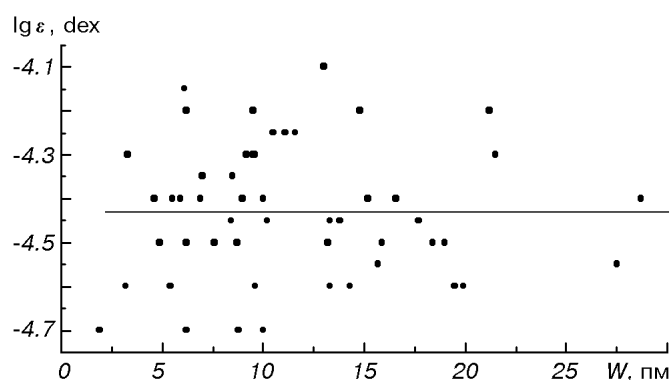


Рис. 2. Зависимость содержаний железа от эквивалентных ширин используемых линий при  $\xi_1 = 3.4$  км/с

интерполяции получено значение  $\xi_1 = 3.4$  км/с (рис. 2).

Согласно [5] для переменных типа  $\delta$  Sct максимальные изменения эффективной температуры и  $\lg g$  вследствие пульсаций не превышают 150 К и 0.2 dex для звезд с максимальными амплитудами  $0.3^m$ . С уменьшением амплитуды переменности эти колебания уменьшаются, и следует ожидать, что для HD 50420 (амплитуда  $0.02^m$ ) они являются пренебрежимо малыми.

С найденными значениями  $T_{\text{эф}}$ ,  $\lg g$  и  $\xi_1$  описанным выше способом получены содержания химических элементов в атмосфере HD 50420. В

Химический состав звезды HD 50420

Химический элемент	[X]/H, dex	$\sigma$ , dex	Количество линий	Kurtz [8]	
				[X]/H, dex	Количество линий
C I	-0.04	0.13	4	-0.35	2
O I	-0.12	0.06	4	—	—
Mg I	+0.05	0.06	2	—	—
Si I	-0.31	0.13	5	—	—
Si II	-0.1	—	1	-0.32	1
Ca I	+0.31	0.04	20	-0.61	6
Sc II	+0.17	0.15	3	+0.23	8
Ti II	+0.22	0.1	18	-0.14	30
Cr I	+0.07	—	1	-0.17	5
Cr II	+0.23	0.06	10	+0.13	9
Mn I	-0.1	0.05	2	-0.28	11
Fe I	+0.08	0.02	62	-0.38	119
Fe II	+0.1	0.04	19	-0.31	21
Ni I	-0.02	0.06	8	-0.47	5
Zn I	-0.2	—	1	-1.08	1
Sr II	+0.35	—	1	-0.12	2
Y II	+0.02	0.17	2	+0.56	4
Zr II	+0.26	0.03	2	+0.48	4
Ba II	+0.24	0.29	3	-1.01	1

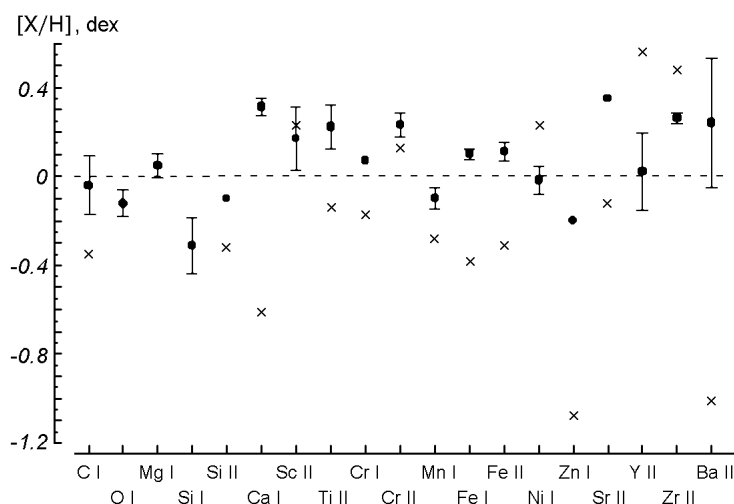


Рис. 3 Химический состав HD 50420 относительно солнечного содержания элементов. Точки — настоящая работа, крестики — данные [8]

таблице и на рис. 3 представлены относительные содержания элементов (отнесенные к солнечному содержанию [2]):

$$[X/H] = \lg \epsilon(\text{HD50420}) - \lg \epsilon(\odot).$$

Также там представлены результаты [8], в которые предварительно была внесена поправка на разницу в используемых силах осцилляторов. Средние квадратичные ошибки определения содержания элементов (третья графа таблицы) составляют 0.1—0.15 dex. Мы оцениваем погрешность полученных значений в 0.15 dex для элементов, содержание которых определялось по более чем 5 линиям, и 0.3 dex — при меньшем числе линий.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные нами содержания химических элементов в атмосфере HD 50420 показали заметно меньший разброс относительно солнечного содержания, чем в работе [8]. Исключив из рассмотрения ненадежные определения, сделанные по единственной линии, можно охарактеризовать HD 50420 как звезду с незначительным избытком металлов порядка 0.1—0.2 dex. Наблюдается дефицит кислорода и марганца (–0.1 dex), а также кремния (–0.3 dex). Таким образом, содержание элементов для звезды HD 50420 близко к солнечному, что не дает поводов причислять ее к химически пекулярным звездам типа  $\delta$  Del.

Полученные нами значения содержаний элементов оказались систематически выше оценок [8] в среднем на 0.3 dex. Такое расхождение не является неожиданным. Во-первых, методика вычисления содержаний в [8] имеет две особенности, которые приводят к занижению оценок содержаний, во-вторых, полученное нами значение микротурбулентной скорости значительно ниже, и в-третьих, измеренные нами эквивалентные ширины оказались систематически на 20 % выше, чем в [8].

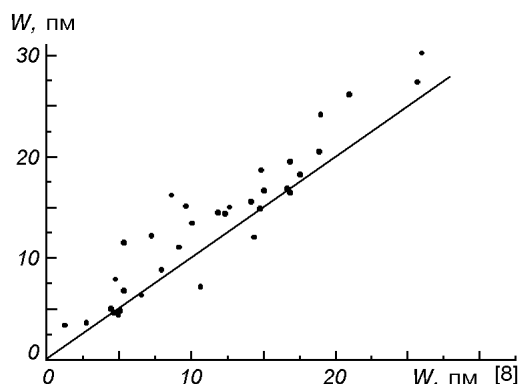
Следует отметить, что в работе [8] химический состав исследуемых звезд сравнивался с химическим составом звезд-стандартов, который находился по такой же методике, т. е. в этом случае систематические расхождения должны быть исключены. Вследствие особенностей методики значения содержаний элементов в атмосферах стандартных звезд оказались также заниженными относительно солнечного содержания примерно на 0.6 dex. Однако, если предположить, что истинный химический состав этих стандартных звезд близок к солнечному, то содержания для HD 50420, найденные в [8] относительно звезд-стандартов, не отличаются от наших оценок относительно Солнца более чем на 0.2 dex (наши оценки ближе к солнечным). Согласно [8] звезда HD 50420 имеет повышенную металличность (около +0.3 dex) относительно звезд-стандартов, что в совокупности с заметными отклонениями содержаний некоторых элементов и привело к предположению о ее химической пекулярности.

Методические особенности исследования [8] ранее обсуждались в работе [3]. Во-первых, использовались модели атмосфер, рассчитанные без учета поглощения в линиях металлов, что приводит к занижению содержаний. Во-вторых, для всех линий постоянная затухания вычислялась как  $\gamma = 10\gamma_k$ , где  $\gamma_k$  — «классическое» значение, а такое приближение во многих случаях является завышенным и может приводить к занижению оценок содержаний элементов.

Значения микротурбулентных скоростей, полученных нами (3.4 км/с) и в работе [8] (5.5 км/с) существенно различаются. Как отмечено в работе [8], все значения  $\xi_t$  могут быть систематически завышенными на величину до 3 км/с, а приведенный там же пример демонстрирует ошибку в 6 км/с. Среди возможных причин такой погрешности называются недостаточно высокая дисперсия, неверный расчет постоянной затухания, недостаточный учет покровного эффекта. Действительно, все значения  $\xi_t$ , полученные в [8], лежат в пределах 4.5—7 км/с и характерны скорее для сверхгигантов. В то же время программными звездами в [8] были звезды V—III классов светимости, для которых характерны микротурбулентные скорости порядка 3—4 км/с. Поэтому мы считаем полученное нами значение  $\xi_t = 3.4$  км/с более надежным.

Сравнение измеренных эквивалентных ширин с опубликованными в [8] показано на рис. 4. Видно, что наши эквивалентные ширины систематически больше; средняя величина отклонения порядка 20 %. Такой сдвиг

Рис. 4. Сравнение измеренных эквивалентных ширин линий HD 50420 с данными [8]



можно объяснить различными дисперсиями спектрального материала, различными приемниками излучения и существенно различными методиками как первичной обработки, так и измерений эквивалентных ширин. Аналогичное сравнение, проведенное в [8] по нескольким программным звездам, не может дать уверенных выводов, поскольку продемонстрировало как согласованность с результатами одних авторов, так и систематический сдвиг относительно измерений других. В последнем случае систематический сдвиг имеет такую же величину и знак, что и сдвиг, найденный нами. Это косвенным образом свидетельствует, что полученная нами шкала эквивалентных ширин соответствует данным других авторов. Принимая во внимание все сказанное выше, мы не можем сделать четких выводов в пользу истинности какой-либо из шкал. Поэтому при любой интерпретации результатов этой работы следует принимать во внимание, что полученные нами содержания химических элементов, возможно, могут быть систематически завышены на 0.1 dex.

Автор выражает благодарность А. Ф. Пугачу за любезно предоставленный спектральный материал и Г. У. Ковальчуку за помощь в первичной обработке.

1. Галазутдинов Г. А. Система обработки звездных эшеле-спектров. — САО, 1992.—(Препринт / РАН, САО; № 92).
2. Любимков Л. С. Химический состав звезд. — НПФ «Астропринт», 1995.
3. Любимков Л. С., Рачковская Т. М. Атмосферы пульсирующих переменных типа  $\delta$  Sct. I. Анализ спектров 20 CVn и  $\delta$  Del // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—71.—С. 127—143.
4. Панчук В. Е, Клочкова В. Г., Галазутдинов Г. А. Эшеле-спектрометр с ПЗС-матрицей для 6-метрового телескопа // Письма в Астрон. журн.—1993.—19, № 11.—С. 1061—1069.
5. Рачковская Т. М. Результаты исследования спектров восьми пульсирующих переменных типа  $\delta$  Sct // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1988.—80.—С. 3—18.
6. Cowley A. P. Spectral classification of the bright F stars // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1976.—88.—P. 95.
7. Cowley A. P., Crawford D. L. Classification of some bright stars with unusual spectra // Publ. Astron. Soc. Pacif.—1971.—83.—P. 296.
8. Kurtz D. W. Metallicity and pulsation: an analysis of the Delta Delphini stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1976.—32, N 3.—P. 651—679.
9. Kurtz D. W. HR 2557: A luminous  $\delta$  Scuti star // PASP.—1977.—89.—P. 941.
10. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1979.—40.—P. 1—340.
11. Morgan W. W., Abt H. A. The spectral classification of the F stars of intermediate luminosity // Astrophys. J.—1972.—77.—P. 35.
12. Solano E., Fernley J. J. Spectroscopic survey of  $\delta$  Scuti stars. I. Rotation velocities and effective temperatures // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.—1997.—122.—P. 131.