

УДК: 524.86He

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ Hg — Mп ЗВЕЗДЫ κ Спс. I. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ

В. М. ДОБРИЧЕВ, Д. В. РАЙКОВА, Т. А. РЯБЧИКОВА,
Г. П. ТОПИЛЬСКАЯ

Поступила 21 октября 1987

Принята к печати 22 августа 1988

Показано, что бланкетированная модель атмосферы Hg-Mп звезды κ Спс с $T_e = 12\,800$ К и $\lg g = 3.7$ (Стемплянь, Мутсам) полностью описывает профили линий H_α , H_γ и H_δ в спектре этой звезды. Методом расчета синтетического спектра определено содержание He в атмосфере: κ Спс $He/H = 0.017$, что почти в 3 раза превышает величину, полученную для этой звезды ранее Адельманом. По изотопному сдвигу линий определено изотопное содержание ${}^3He/{}^4He = 0.35$, что свидетельствует о действии процесса диффузионного разделения элементов в атмосфере κ Спс.

1. *Введение.* В последние годы интенсивное развитие получило исследование спектров звезд в ультрафиолетовой области, особенно спектров пекулярных звезд, где обнаружены линии элементов, не наблюдающиеся в визуальной области. Из-за сильного блендирования спектров в ультрафиолете выделить те или иные интересные линии, а тем более оценить обилие элемента можно только путем расчета синтетического спектра, а для этого важно знать содержание тех элементов, линии которых хорошо представлены в фотографической области спектра. Звезда κ Спс включена в список Hg-Mп звезд для исследования на космическом телескопе и на спутнике «Астрон». Химический состав κ Спс изучался рядом авторов [1—6], однако, в определении содержания почти всех элементов, особенно элементов железного пика, имеется значительное расхождение. Это же относится и к определению параметров атмосферы звезды. В последнее время значительно улучшены системы сил осцилляторов для ряда элементов, а также рассчитаны полностью бланкетированные модели атмосфер некоторых звезд, в том числе и κ Спс, с учетом существующих аномалий химического состава. Поэтому и было решено провести дополнительный детальный анализ химического состава атмосферы κ Спс. Краткие предва-

рительные результаты этого анализа приведены в работе [7]. В первой части настоящей статьи будет проведено подробное обоснование выбора модели атмосферы κ Спс, определено значение параметра микротурбулентной скорости и содержания He методом расчета синтетического спектра.

2. *Наблюдательный материал.* Спектральный анализ Hg-Mn звезды κ Спс был проведен по 3-м спектрам с дисперсией 4.2 А/мм, полученным в фокусе худе 2-м телескопа Национальной астрономической обсерватории Болгарской Академии наук в области 3700—4800 А. Кроме того, были использованы спектры, полученные с помощью Ретикона на 3.6-м телескопе обсерватории Маупа-Кеа. Спектры получены в области λ 4923 и 5035 с полосой 65 А. Эти спектры были любезно присланы нам профессором В. Велау (Канада), подробное описание их приведено в работе [8]. Отождествление линий в спектре κ Спс проводилось обычным образом с использованием списков линий из работ [9—11].

3. *Модель атмосферы.* В литературе имеется значительное расхождение в определении эффективной температуры κ Спс (от 12 800 К в работе [12] до 14 400 К в работе [2]), значения параметра микротурбулентной скорости (от 0 до 5.0 км/с) и в меньшей степени ускорения силы тяжести (от 3.45 до 4.0). В 1981 г. Стемпинь и Мутсам [12] рассчитали бланкетированные модели атмосфер для Hg-Mn звезд 53 Тау и κ Спс с учетом аномалий химического состава. Они нашли, что модель с параметрами $T_e = 12800$ К, $\lg g = 3.7$ хорошо представляет наблюдаемое распределение энергии в спектре κ Спс в области от 1300 до 8000 А. Выходящий поток излучения более чувствителен к температуре, поэтому для проверки эффективного ускорения силы тяжести нами был проведен расчет профилей бальмеровских линий H_α , H_γ и H_δ , крылья которых для данных температур довольно чувствительны к изменению $\lg g$. Расчет проводился по программе Куруда «BALMER»; использовалась теория уширения из работы [13]. Спектр κ Спс в области линии H_α был любезно получен для нас научным сотрудником Крымской астрофизической обсерватории АН СССР И. С. Савановым на 2.6-м телескопе с помощью ПЭС-матрицы. Точность $\sim 2\%$, что соответствует для исследуемой эффективной температуры точности ± 0.1 в $\lg g$. Сравнение вычисленных и наблюдаемых профилей линий H_α , H_γ и H_δ приведено на рис. 1. За исключением самого центра линии H_α модель Мутсама и Стемпиня очень хорошо описывает наблюдаемые профили водородных линий в спектре κ Спс. Одной из возможных причин расхождения для ядра линии H_α является несколько гру-

бая сетка по τ в самых верхних слоях модели атмосферы, что не влияет на расчет спектральных линий других химических элементов. В крыльях линий расхождение не превышает указанной выше точности определения $\lg g$, обусловленной ошибками наблюдений. Поэтому для анализа хими-

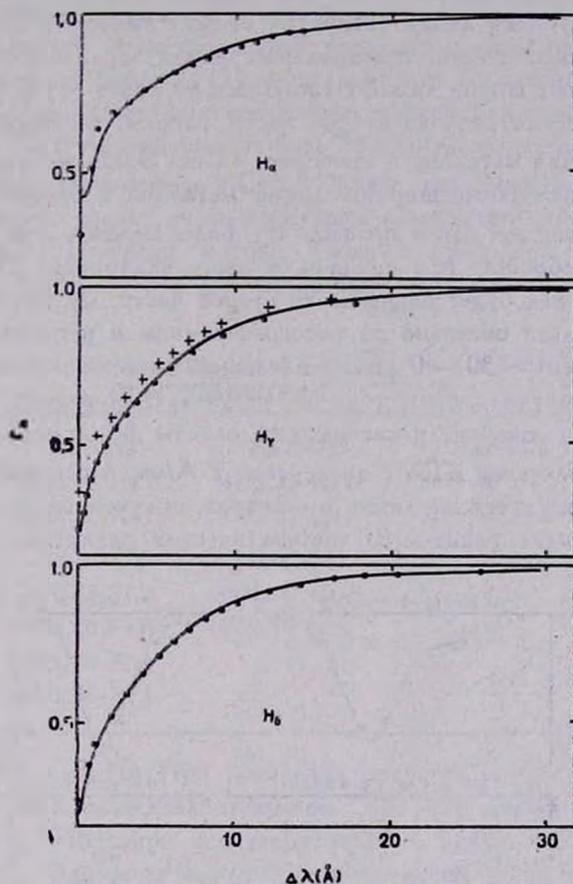


Рис. 1. Сравнение наблюдаемого (●) и теоретического (сплошная линия) профилей H_α , H_γ и H_β . (+) — наблюдения Адельмана [5].

ческого состава мы в дальнейшем использовали для α Спс модель Мутсама и Стемшица с параметрами $T_e = 12800$ К, $\lg g = 3.7$. Совсем недавно Мутсам и Зохлаинг [6] рассчитали новую бланкетированную модель атмосферы α Спс, которую они использовали при анализе химического состава. Новая модель имеет те же параметры, но при ее расчете брался химический состав α Спс, полученный в этой же работе и отличный от того, который использовался в предыдущих расчетах [12]. Сравнение распределе-

ния температуры с глубиной для двух моделей показало, что максимальное отличие не превышает 200—300 К. Мутсам и Зохлаинг также получили хорошее согласие наблюдаемых и теоретических профилей линий H_γ и H_δ . Однако сравнение нашего наблюдаемого профиля H_γ с профилем из работы [5] (см. рис. 1) показало наличие существенного расхождения, которое растет с глубиной линии. Такой же эффект заметен и при сопоставлении эквивалентных ширин спектральных линий. Сравнение нашей системы эквивалентных ширин линий с системами из работ [5] и [6] более подробно будет рассмотрено во второй части работы, посвященной исследованию содержания металлов в атмосфере κ Спс. Здесь же мы только отмечаем, что эквивалентные ширины линий металлов в работе [5] систематически ниже, так же, как и профиль H_γ более мелкий. Это очень похоже на эффект калибровки. Мы проверяли нашу калибровку двумя способами. Во-первых, как будет показано во второй части, мы проводили анализ содержания железа отдельно по фотографическим и ретиконным спектрам с использованием ~ 30 —40 линий в каждой области и с высокой степенью точности получили один и тот же результат. Во-вторых, одним из авторов (Т. А. Р.) уже после завершения работы были получены спектры κ Спс на 6-м телескопе БТА с дисперсией 7 Å/мм. Сравнение эквивалентных ширин одних и тех же линий в спектрах, полученных на разных телескопах, не выявило каких-либо систематических различий.

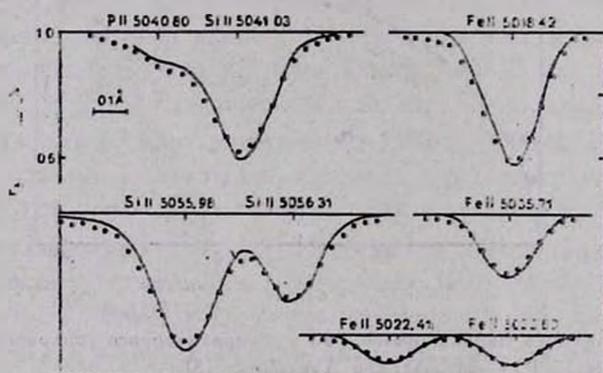


Рис. 2. Синтетический спектр в области некоторых линий Si II и Fe II. ● — наблюдения, — — расчеты для $\lg \text{Si}/\text{H} = -4.40$, $\lg \text{P}/\text{H} = -4.55$, $\lg \text{Fe}/\text{H} = -4.41$

Параметр микротурбулентной скорости выбирался стандартным требованием независимости содержания элемента от эквивалентной ширины линии по линиям Fe II. В атмосфере κ Спс этот параметр оказался близок к 0 км/с, что характерно и для других Hg-Mn звезд.

4. *Расчет содержания гелия.* В имеющейся в нашем распоряжении спектральной области наблюдаются несколько линий He I разной интенсивности. По эквивалентным ширинам 5 линий ($\lambda\lambda$ 4026, 4121, 4471, 4922 и 5016) мы получили среднее содержание He в атмосфере κ Спс $\text{He}/\text{H} = 0.017 \pm 0.008$. Синтетический спектр в области 5 линий He I, исключая λ 4026, рассчитывался по методике, описанной в работе [14]. Линии He I рассчитывались с учетом тонкой структуры, силы осцилляторов для них были взяты из работы [15], а штарковские постоянные затухания из работы [16]. При расчете синтетического спектра для каждой из пяти областей линий He I учитывалось от 5 до 10 спектральных линий элементов, присутствующих в атмосфере κ Спс. Однако реальный вклад в профиль линий He I вносят только очень небольшое количество линий, главным образом Ti II и Fe II, список которых вместе с линиями He I приведен в табл. 1. Силы осцилляторов для линий металлов были взяты из работ

Таблица 1

СПИСОК ЛИНИЙ, УЧАСТВУЮЩИХ В РАСЧЕТЕ
СИНТЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА

He I 4121	He I 4713	He I 5016
4120.81 He I	4713.15 He I	5015.68 He I
4120.91 He I	4713.38 He I	5015.75 Fe II
He I 4471	He I 4922	
4470.87 Ti II	4921.30 Mn II	
4471.10 Fe II	4921.93 He I	
4471.48 He I		
4471.68 He I		

[17] и [20] (для Fe II) При сравнении расчетов с наблюдениями было отмечено, что некоторые наблюдаемые профили линий He I, особенно $\lambda\lambda$ 4471, 4922 и 5016, шире, чем теоретические. Также наблюдается сдвиг по длине волны. Одним из возможных объяснений этого эффекта, хотя и не для всех линий, является наличие в атмосфере изотопа ^3He . В работе [19] исследовалась группа звезд на предмет выявления изотопа ^3He по сдвигу длины волны центра линии He I λ 6678, имеющей самый большой изотопный сдвиг в оптической области $\Delta\lambda = 0.50 \text{ \AA}$. Для κ Спс была получена только верхняя оценка $^3\text{He}/^4\text{He} \leq 0.35$. Наши расчеты синтетического спектра подтвердили изотопное содержание $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.35$ в атмосфере κ Спс. При расчете изотопные сдвиги были взяты такие же, как в работе [19]. На рис. 3 приведено сравнение наблюдаемых и теоретических участков спектра в области линий He I. В центре линий, полученных по фотографическим спектрам, приведены ошибки определения профиля при усреднении

трех спектров. Профили линий $\lambda\lambda$ 4922 и 5016, полученные по ретиконным спектрам с точностью $\leq 1\%$ и более высоким спектральным разрешением и имеющие изотопные сдвиги $\Delta\lambda = 0.33$ и 0.21 Å соответственно, приведены для наглядности с большим масштабом по оси длин волн. Изотопный сдвиг для всех остальных линий He I мал (~ 0.07 Å) и не приведен на рис. 3. Попадающий в область λ 4922 профиль линии He II λ 4921.50 не рассчитывался, поскольку мы не нашли для этой линии данных по силам осцилляторов. Теоретический спектр не везде соответствует одному значению содержания He: для линий $\lambda\lambda$ 4121 и 4713 He/H = 0.027, для остальных линий He/H = 0.0135. В рамках используемых нами атомных констант и теории уширения мы можем отнести это расхождение только за счет ошибок в определении профилей более слабых линий в фотографических спектрах. Точно так же мы не можем объяснить расхождение между ширинами наблюдаемых и теоретических профилей линии He I λ 4471, изотопный сдвиг для которой мал.

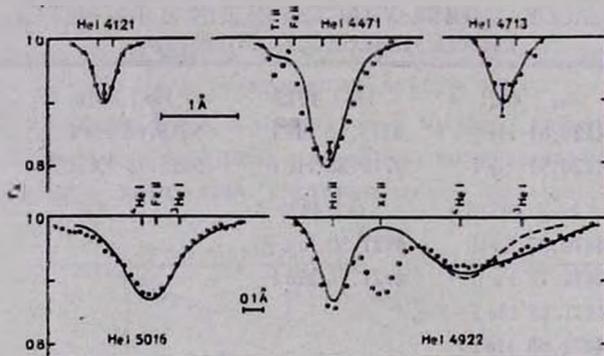


Рис. 3. Синтетический спектр в области S-и линий He I. ● — наблюдения, — — расчеты для He/H = 0.027, $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.35$ ($\lambda\lambda$ 4121 и 4713) и He/H = 0.0135, $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.35$ (остальные линии). - - - - расчет для He/H = 0.0135 без учета ^3He .

Полученное как по эквивалентным ширинам, так и путем расчета синтетического спектра среднее значение содержания He в атмосфере κ Cnc He/H = 0.017 в 6 раз меньше солнечного, но почти в 3 раза больше значения из работы [5] и даже превосходит соответствующие величины для двух других Hg-Mn звезд 53 Tau и μ Lep, исследованных там же. В этой работе для объяснения дефицита He привлекается механизм диффузии, и на примере 3-х звезд сделана попытка проследить изменение содержания He в ходе эволюции, причем степень эволюции от главной последовательности определяется по значению $\lg g$. Существование в атмосфере κ Cnc изотопа ^3He , содержание которого почти на 4 порядка превосходит солнечное, является дополнительным свидетельством в пользу процесса диф-

фузионного разделения элементов в атмосфере звезды, предложенного Мишо [21] и специально рассмотренного для объяснения аномалий ^3He в работах [22, 23]. Что касается эволюции содержания He, то, как показывают результаты нашей работы, которые согласуются с данными работ [1—4, 6] по определению ускорения силы тяжести в атмосфере κ Спс, значение $\lg g = 3.45$ вероятнее всего является заниженным. Поэтому выводы работы [5] об эволюции содержания He в Hg-Mn звездах надо рассматривать с большой осторожностью. Однако мы согласны с автором, что необходимо провести тщательный анализ содержания He в атмосферах Hg-Mn звезд поля по спектрам с высоким отношением сигнала к шуму, особенно в области линий с большим изотопным сдвигом, чтобы проследить ход изменения содержания He и, по возможности, его изотопного состава с параметрами, определяющими структуру атмосферы.

Результаты определения содержания металлов в атмосфере κ Спс будут опубликованы во II части данной работы.

В заключение авторы приносят благодарность проф. В. Велау (Канада) и научному сотруднику КрАО АН СССР И. С. Саванову за любезно присланные спектры κ Спс, д-ру К. Стемпиню (ПНР) за предоставленную модель атмосферы κ Спс и доценту кафедры астрономии Ростовского государственного университета В. В. Леушину за ценные замечания при обсуждении результатов работы.

Секция астрономия с Национальной
астрономической обсерваторией

Болгарской Академии наук

Астрономический совет АН СССР

Ростовский государственный
университет

A SPECTROSCOPIC STUDY OF Hg-Mn STAR κ Cnc.

1. A CHOICE OF MODEL ATMOSPHERE PARAMETERS AND DETERMINATION OF HELIUM ABUNDANCE

V. M. DOBRICHEV, D. V. RAYKOVA, T. A. RYABCHIKOVA,
G. P. TOPILSKAYA

A blanketed atmosphere model for Hg-Mn star κ Cnc with $T_e = 12800$ K, $\log g = 3.7$ (Stepien and Muthsam) is shown to describe fully H_α , H_γ and H_β line profiles observed in the spectrum of this star. Mean helium abundance derived by the method of spectral synthesis is $\text{He}/\text{H} = 0.017$. This value is about 3 times greater than that derived by Adelman for κ Cnc. According to isotopic shifts of he-

limum lines an isotope ratio $^3\text{He}/^4\text{He} = 0.35$ is obtained and this fact is considered as a support for diffusion mechanism operating in the atmosphere of α Cen.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. F. Aller, *Astron. and Astrophys.*, 6, 67, 1970.
2. K. Kodaira, N. Takada, *Ann. Tokyo Astron. Observ., Second Ser.*, 17, 79, 1978.
3. W. D. Heacox, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 41, 675, 1979.
4. B. N. G. Guthrie, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 206, 85, 1984.
5. S. J. Adelman, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, 228, 573, 1987.
6. J. Zschling, H. Muthsam, *Astron. and Astrophys.*, 176, 75, 1987.
7. В. М. Добричев, Д. В. Райкова, Т. А. Рябчикова, *Звездные атмосферы*, Одесск. ун-т, Одесса, 1987, стр. 119 (рук. деп. в УкрНИИИТИ, № 1230—Ук87).
8. J. B. Rice, W. H. Wehlau, *Astrophys. J.*, 278, 721, 1984.
9. C. E. Moore, *A Multiplet Table of Astrophysical Interest*, Princeton, 1945.
10. L. Iglesias, R. Velasco, *Publ. Inst. Opt. "Daza de Valdés"*, No. 23, Madrid, 1964.
11. J. Reader, C. H. Corliss, *NSRDS-NBS 68, part 1*, US Government Printing Office, Washington, DC, 1980.
12. K. Steptén, H. Muthsam, *Astron. and Astrophys.*, 100, 159, 1981.
13. C. R. Vidal, J. Cooper, E. W. Smith, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 25, 37, 1973.
14. В. В. Леушин, Г. П. Топильская, *Астрофизика*, 25, 103, 1986.
15. L. C. Green, N. C. Johnson, E. K. Kolchin, *Astrophys. J.*, 144, 369, 1966.
16. Г. Грим, *Уширение спектральных линий в плазме*, Мир, М., 1978.
17. R. Kurucz, E. Peytremann, *SAO Spec. Rep.*, No. 362, 1975.
18. S. C. Wolff, G. W. Preston, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 37, 371, 1978.
19. M. R. Hartoog, A. P. Cowley, *Astrophys. J.*, 228, 229, 1979.
20. R. L. Kurucz, *SAO Spec. Rep.*, No. 390, 1981.
21. G. Michaud, *Astrophys. J.*, 160, 641, 1970.
22. G. Michaud, S. Vauclair, *Astrophys. Lett.*, 11, 117, 1972.
23. S. Vauclair, G. Michaud, Y. Charland, *Astron. and Astrophys.*, 31, 381, 1974.