

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АС ГЕРКУЛЕСА

1. ПАРАМЕТРЫ АТМОСФЕРЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Ю. В. Борисов, В. Е. Панчук

Две спектрограммы (9 Å/мм) полуправильной переменной звезды АС Геркулеса, полученные на БТА летом 1984 г. для двух фаз ($\varphi=0^{\text{p}}4$ и $0^{\text{p}}0$) кривой изменения блеска, анализируются методом моделей атмосфер.

По результатам анализа группы линий Fe и Fe⁺ средней и слабой интенсивности определены параметры атмосферы: $T_e=5800$ К, $\lg g=1.2$, $\xi_t=6.3$ км/с, а также дефицит содержания железа $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.25$. Получена кривая распространенности элементов железного пика. Рассмотрены ошибки метода.

Two spectrograms, 9 Å/mm, of the variable star AC Herculis for the two phases [of the light curve ($\varphi=0^{\text{p}}4$ and $0^{\text{p}}0$)] are carried out with the BTA telescope in summer 1984.

The parameters of AC Herculis atmosphere $T_e=5800$ К, $\lg g=1.2$, $\xi_t=6.3$ км/с and metallicity relative to the Sun $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.25$ are determined by the model atmosphere method analysing the FeI and FeII line groups of the middle and weak intensities. The chemical abundances of the seven elements are determined. The errors of the analysis method are discussed too.

Звезды типа RV Тельца, к которым относится изучаемый в данной работе объект, принадлежит классу переменных звезд-сверхгигантов, занимающих на диаграмме Герцшпрунга—Рессела промежуточное положение между долгопериодическими цефеидами и звездами типа Миры Кита [1, 2]. Изменение блеска звезд типа RV Тельца характеризуется цикличностью (продолжительность цикла от 30 до 140 сут [3]), которая сопровождается изменением формы кривой блеска, а иногда и более радикальными перестановками следования очередности глубоких и мелких минимумов. В течение цикла спектральный класс изменяется от ранних F до поздних K-подклассов. Качественная картина изменения вида спектра АС Геркулеса описана в [4–7]. Известны звезды типа RV Тельца, принадлежащие как к промежуточной, так и к сферической составляющей Галактики [2, 3], причем в ряде случаев эта принадлежность подтверждена исследованиями химического состава их атмосфер, выполненными в основном методом кривых роста [8, 9]. Среди звезд данного типа встречаются представители углеродной последовательности, и, согласно [4] и [10], АС Геркулеса является одним из представителей углеродных звезд. Все это свидетельствует о том, что выделяемый по фотометрическим признакам класс полуправильных переменных звезд типа RV Тельца неоднороден по эволюционному статусу.

Выбор АС Геркулеса в качестве предмета исследований методом моделей атмосфер обусловлен наиболее устойчивой формой кривой изменения блеска, что позволяет приводить к одному периоду наблюдения, выполненные на большом промежутке времени. Это обстоятельство позволяет также сравнить наши определения параметров атмосфер с данными предыдущих исследований. В работе [9] звезда исследована дифференциальным методом кривых роста по спектрограммам с обратной дисперсией 14 Å/мм. Величина микротурбулентной скорости, определенная по линиям нейтрального железа, равна 3 км/с, дефицит содержания железа относительно солнечного равен $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.18$. В работе [7] звезда исследована методом моделей атмосфер с применением

сетки моделей [11]. Анализ восьми высокодисперсионных спектрограмм, полученных для фазы кривой изменения блеска $\theta^{\circ}43$, практически совпадающей с фазой, для которой выполнены определения в [9], дал несколько иное значение микротурбулентной скорости — $\xi_t = 5.3$ км/с, а значение металличности осталось практически прежним — $[Fe/H] = -1.22$. Для фаз, на которых атмосфера звезды наиболее возмущена гидродинамическими движениями ($\theta^{\circ}15$ и $\theta^{\circ}69$) в [7] не удалось подобрать LTE моделей, с достаточной точностью описывающих наблюдаемые эквивалентные ширины.

Мы решили повторить модельный анализ, атмосферы АС Геркулеса, опираясь на спектрограммы высокой дисперсии, полученные на БТА, и на спектрограммы средней дисперсии, полученные на

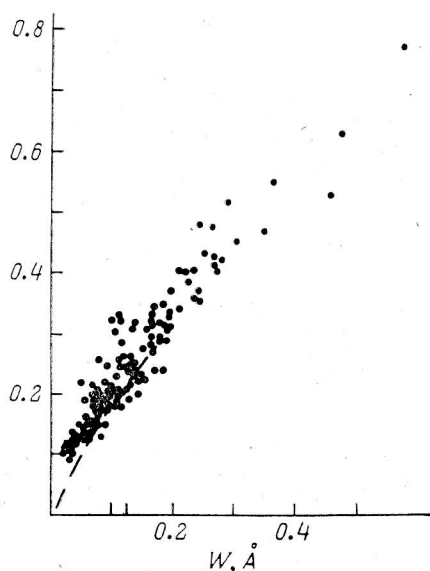


Рис. 1. Сравнение наблюдаемой и теоретической зависимостей эквивалентной ширины W от центральной глубины r спектральной линии для ОЗСП БТА, обратная дисперсия 9 \AA/мм . $\varphi = 0.14$.

1-м телескопе Института астрофизики АН ТаджССР, для всех фаз кривой изменения блеска. Такой анализ позволит интерпретировать данные спектральной классификации этой звезды и оценить параметры атмосферы методом, свободным от недостатков метода кривых роста. Существенным обстоятельством является также то, что мы не используем оценку эффективной температуры по цвету звезды (этот способ нежелателен при анализе спектров удаленных звезд или звезд, окруженных околозвездными оболочками). В данной работе остановимся на результатах оценки параметров атмосферы по линиям нейтрального и ионизованного железа и результатах определения металличности.

Наблюдения и первичная обработка. Наблюдательный материал получен на ОЗСП БТА в ночи 15/16 июня и 30/31 июля 1984 г. Согласно выведенным Ерлексовой [12] элементам кривой изменения блеска

$$\text{Min } I (J. D.) = 2444856.2 + 75.46E,$$

фазы соответственно равны $\theta^{\circ}4$ и $\theta^{\circ}0$. Начальный момент указанных элементов оп-

ределен в результате фотоэлектрических наблюдений, выполненных в 1981 г. на 70-см рефлекторе Гиссарской обсерватории. Визуальными и фотоэлектрическими наблюдениями в 1984 г. установлено, что колебания блеска следуют указанной эфемериде.

Обе спектрограммы получены на фотоэмульсии Kodak 2aO в диапазоне длин волн λ 3900—4900 \AA с обратной дисперсией 9 \AA/мм . Высота спектрограмм 0.6 мм, спектральное разрешение 0.3 \AA . Спектрограммы звезды и спектра калибровки записаны на микрофотометре интенсивностей конструкции С. Н. Ключкова.

Непрерывный спектр в указанном диапазоне проведен по пикам интенсивности с учетом того обстоятельства, что на данных фазах не отмечено появления эмиссионных линий. По неблендированным линиям построена зависимость эквивалентной ширины W от центральной глубины. Вместе с ней на рис. 1 штриховой линией отмечена теоретическая зависимость W от r , полученная в [13] для спектрального разрешения 0.3 \AA . Уровень непрерывного спектра в [13] вычислен при расчете синтетического спектра, поэтому сравнение теории и наблюдений на рис. 1 может служить независимым способом контроля определения эквивалентных ширин.

Анализ спектров полуправильных переменных звезд типа RV Тельца усложнен эффектом раздвоения и (или) дополнительного уширения линий, что связывается с прохождением ударных волн через атмосферу [6, 14], а также с наличием абсорбционных компонентов, возникших в течение предыдущего цикла [3]. Фазы этого явления фиксированы не очень точно из-за вариаций

ТАБЛИЦА 1
Параметры линий в спектре АС Геркулеса

| Длина волны, Å | W, мÅ | | lg gf | χ_L , см ⁻¹ | Длина волны, Å | W, мÅ | | lg gf | χ_L , см ⁻¹ |
|----------------|----------------------------|----------------------------|-------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|--------|-----------------------------|
| | $\varphi = 0^{\text{P}}00$ | $\varphi = 0^{\text{P}}40$ | | | | $\varphi = 0^{\text{P}}00$ | $\varphi = 0^{\text{P}}40$ | | |
| FeI | | | [22] | | 4491.400 | 323 | 221 | -2.70 | 23031.300 |
| 4017.152 | 171 | | -0.98 | 24574.655 | 4508.290 | | 263 | -2.43 | 23031.300 |
| 4062.444 | 75 | | -0.84 | 22946.810 | 4515.340 | | 243 | -2.58 | 22939.350 |
| 4065.381 | 55 | | -1.41 | 27666.334 | 4555.893 | 408 | 290 | -2.42 | 22810.357 |
| 4073.751 | 67 | | -0.98 | 26339.682 | 4576.330 | | 198 | -3.08 | 22939.350 |
| 4076.618 | 100 | | -0.52 | 25899.974 | 4582.835 | 228 | 137 | -3.165 | 22939.358 |
| 4114.450 | 135 | | -1.29 | 22838.320 | 4620.051 | | 134 | -3.40 | 22810.330 |
| 4134.468 | 171 | | -0.60 | 22838.320 | VII | | | [30] | |
| 4137.000 | 108 | | -0.67 | 27543.000 | 4002.940 | | 198 | -1.46 | 11514.760 |
| 4139.929 | 55 | | -3.63 | 7985.783 | 4023.383 | | 171 | -0.62 | 14556.090 |
| 4152.170 | 152 | | -3.23 | 7728.058 | 4035.623 | | 188 | -0.73 | 14461.730 |
| 4157.790 | 88 | | -0.60 | 27559.568 | NiI | | | [30] | |
| 4176.570 | 120 | | -0.76 | 27394.676 | 4829.016 | | 88 | -0.17 | 28569.210 |
| 4191.436 | 192 | | -0.70 | 19912.486 | 4904.407 | | 58 | -0.05 | 28569.210 |
| 4200.913 | 51 | | -1.07 | 27394.676 | MnI | | | [24] | |
| 4210.353 | 183 | | -0.95 | 20019.648 | 4018.100 | | 181 | -0.309 | 17052.290 |
| 4216.185 | 126 | | -3.36 | 23711.443 | 4033.060 | | 348 | -0.618 | 24788.050 |
| 4219.364 | 136 | | -0.03 | 28819.966 | 4034.480 | | 255 | -0.811 | 24779.320 |
| 4222.218 | 166 | | -0.97 | 19757.020 | 4761.530 | | 50 | -0.138 | 23818.870 |
| 4238.798 | 96 | | -0.37 | 27394.676 | 4783.420 | | 106 | +0.042 | 18531.640 |
| 4388.410 | 110 | | -0.72 | 29056.312 | ZnI | | | [30] | |
| 4427.312 | 263 | | -3.04 | 415.932 | 4680.140 | | 68 | +0.280 | 32101.693 |
| 4430.617 | 131 | | -1.66 | 17927.378 | 4722.160 | | 117 | +0.690 | 32343.666 |
| 4436.925 | 46 | | -2.26 | 24574.655 | CrI | | | [25] | |
| 4442.340 | 164 | | -1.25 | 17726.985 | 4254.330 | | 304 | -0.108 | 0.0 |
| 4447.721 | 173 | | -1.34 | 17927.378 | 4274.800 | | 275 | -0.231 | 0.0 |
| 4476.021 | 101 | | -0.69 | 22946.810 | 4646.150 | | 95 | -0.727 | 8307.570 |
| 4482.256 | 192 | | -1.33 | 17927.378 | CrII | | | [26] | |
| 4485.665 | 160 | | -1.26 | 29732.721 | 4242.380 | | 242 | -1.56 | 31219.490 |
| 4494.567 | 200 | | -1.14 | 17726.985 | 4252.620 | | 63 | -2.10 | 31117.590 |
| 4574.722 | 110 | | -2.89 | 18378.187 | 4261.920 | | 213 | -1.73 | 31168.780 |
| 4602.945 | 163 | | -2.22 | 11976.239 | 4275.570 | | 162 | -1.85 | 31117.590 |
| 4607.645 | 168 | | -1.53 | 26339.682 | 4558.660 | | 267 | -0.49 | 32854.460 |
| 4611.279 | 179 | 105 | -0.87 | 29469.010 | 4634.110 | | 165 | -1.06 | 32844.920 |
| 4619.276 | 73 | | -1.19 | 29056.312 | 4588.220 | | 210 | -0.66 | 32836.840 |
| 4625.053 | 162 | 75 | -1.50 | 26140.164 | TiI | | | [27] | |
| 4637.501 | 71 | | -1.44 | 26479.366 | 4028.328 | | 214 | -1.12 | 15257.530 |
| 4736.780 | 116 | | -0.83 | 25899.974 | 4386.849 | | 110 | -0.79 | 20951.770 |
| FeII | | | [23] | | 4394.059 | | 176 | -1.71 | 9850.000 |
| 4413.600 | 218 | 98 | -3.87 | 21581.640 | 4450.482 | | 275 | -1.59 | 8744.270 |
| 4416.820 | 234 | | -2.68 | 22409.820 | | | | | |

мощности ударной волны от цикла к циклу, но диапазон таких фаз связывается с моментами выхода из главного и вторичного минимумов кривой изменения блеска и не захватывает фазы наших наблюдений. Система эквивалентных ширин для указанного наблюдательного варианта неоднократно исследовалась спектроскопистами САО АН СССР и совпадает с системой [16]. Первый этап отборки бленд выполнен при помощи списка [17] и атласа [18], так как на фазе 0^п4 спектральный класс АС Геркулеса близок к спектральному классу Прокциона. Результаты определений эквивалентных ширин приведены в табл. 1.

Анализ спектра железа. Ряд результатов, полученных при спектроскопических исследованиях сверхгигантов, связан с развитием техники экспериментального определения сил осцилляторов атома железа и отражает также развитие методов анализа атмосфер. Наличие систематических ошибок определений сил осцилляторов проявляется в несоответствии химического состава, определяемого по линиям нейтрального и ионизованного атомов одного элемента в методе кривых роста, в зависимости содержания элемента lg ϵ или микротурбулентной скорости ξ_t от потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L в приближении однородной атмосферы, в зависимости микротурбулентной скорости от глубины формирования линии в методе моделей атмосфер. В последнее время выполнена серия работ по анализу спектров сверхгигантов I типа населения

методом моделей атмосфер [19—21], основанная на результатах редукции системы сил осцилляторов нейтрального железа [22] в шкалу, близкую к оксфордской. Выполнен также и анализ спектра однократно ионизованного железа [23].

Из сетки моделей [28] мы использовали модели, рассчитанные для двух значений металличности: $[Fe/H] = -1.0$ и -2.0 . Вычисления проведены на ЭВМ ЕС-1035 с использованием программы WIDTH6. Перечислим основные этапы анализа.

1. Второй этап отбраковки линий выполнен методом моделей атмосфер. С этой целью вычислялось содержание железа по каждой линии. На рис. 2 представлена гистограмма числа использованных линий от величины $\lg \varepsilon(Fe)$. Левый максимум гистограммы образован блендированными линиями.

2. Определение микротурбулентной скорости требует использования как слабых линий, так и линий средней интенсивности, чувствительных к определяемой величине ξ_t . На рис. 3 приведен пример зависимости $\lg \varepsilon(Fe)$ от W линий нейтрального железа для двух значений ξ_t . Определенный методом наименьших квадратов коэффициент наклона S_W этой зависимости в функции ξ_t приведен на рис. 4. Видно, что результат определения ξ_t из условия $S_W = 0$ слабо зависит от эффективной температуры и еще меньше от ускорения силы тяжести g в атмосфере.

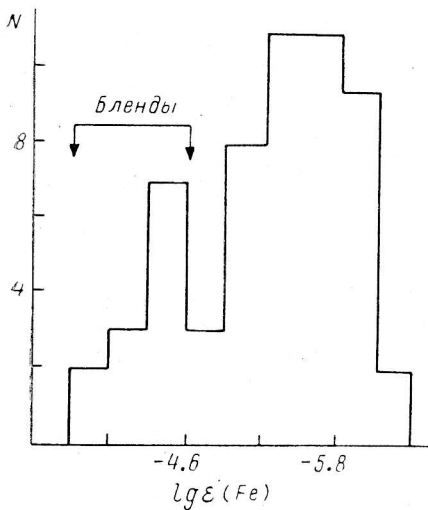


Рис. 2. Гистограмма числа линий железа N при данном содержании железа, определяемого по каждой из линий. Параметры модели: $T_e = 6500$ К, $\lg g = 2.5$, $\xi_t = 6$ км/с.

что результат определения ξ_t из условия $S_W = 0$ слабо зависит от эффективной температуры и еще меньше от ускорения силы тяжести g в атмосфере.

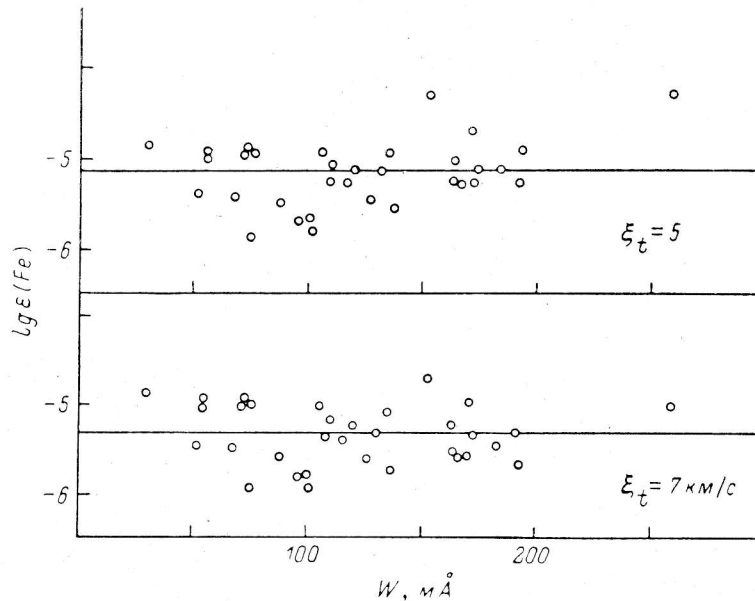


Рис. 3. Зависимость содержания железа от микротурбулентной скорости ξ_t , рассчитанная для 33 линий нейтрального железа.

Параметры модели: $T_e = 6500$ К, $\lg g = 2.5$.

3. Предположение о бальмовской населенности уровней и выполнении ионизационного равновесия позволяет оценить T_e и g . На рис. 5 приведены результаты расчета $\lg \varepsilon(Fe)$ по линиям нейтрального и ионизованного железа при фиксированной величине $\xi_t = 6.3$ км/с. Пересечение зависимостей $\lg \varepsilon(Fe)$ от T_e и $\lg \varepsilon(Fe^+)$ от T_e , вычисленных для различных g , определяет на плоскости

$T_e - \lg g$ координаты точек, через которые проходит линия ионизационного равновесия $FeFe^+$. На рис. 6 приведен пример зависимости $\lg \epsilon(Fe)$ от потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L . Определенный методом наименьших квадратов коэффициент наклона этой зависимости S_χ в функции T_e и $\lg g$ приведен на рис. 7. Видно, что температуры, определенные из условия бoльцмановского равновесия ($S_\chi = 0$), не зависят от $\lg g$. В предположении ЛТР наиболее вероятное значение параметров атмосферы, описывающих спектр железа, определяется точкой пересечения зависимостей $FeFe^+$ и S_χ на плоскости $T_e - \lg g$ (рис. 8).

4. Оценка точности определения металличности основана на разнообразии параметров использованных линий. Средняя квадратическая ошибка $\pm \lg \epsilon(Fe)$ определения содержания железа $\lg \epsilon(Fe)$ по 33 линиям Fe и 9 линиям Fe^+ составляет ± 0.30 и ± 0.12 соответственно. Если из 33 линий нейтрального железа случайным образом отобрать 9 линий, то средние квадратические ошибки, определяемые по одинаковому числу линий нейтрального и ионизованного железа будут различаться в 4.8 раза. Для интерпретации этого следует обратить внимание на интервалы потенциалов возбуждения нижнего уровня χ_L

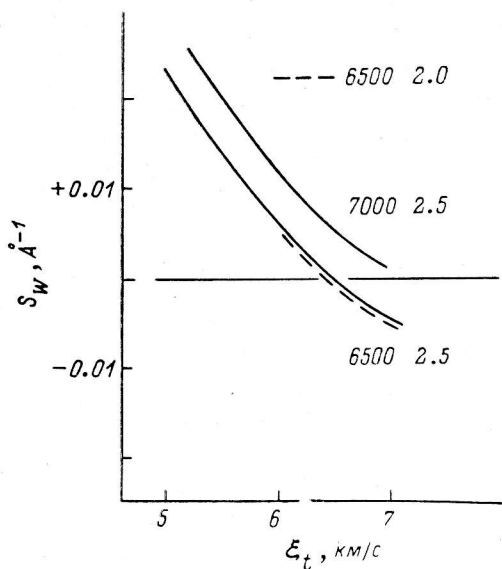


Рис. 4. Процедура определения микро- турбулентной скорости ξ_t из условия независимости $\lg \epsilon(Fe)$ от W .

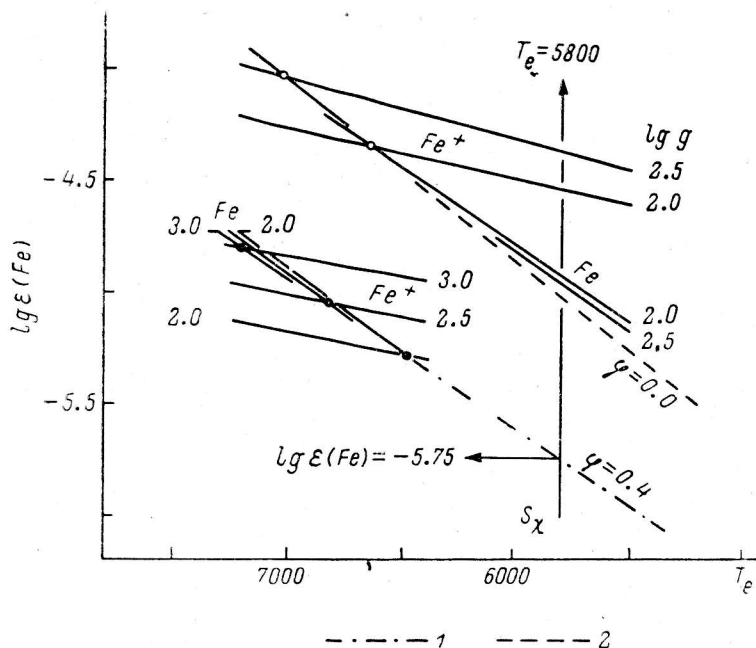


Рис. 5. Пример использования условия ионизационного равновесия для определения эффективной температуры T_e .

Линии ионизационного равновесия $FeFe^+$ для фаз $\varphi = 0^{\text{II}}_4$ (1) и $\varphi = 0^{\text{II}}_0$ (2) совпадают с зависимостью $\lg \epsilon(Fe)$ от T_e , определяемой по линиям нейтрального железа.

использованных в анализе линий Fe и Fe^+ (рис. 6). Если в реальной атмосфере существуют отклонения от бoльцмановской населенности уровней, то в случае использования для определения металличности линий Fe^+ такие отклонения

ТАБЛИЦА 2

Содержание металлов в атмосфере АС Геркулеса (принятые параметры модели: $T_e = 5800$ К, $\lg g = 1.2$, $\xi_t = 6.3$ км/с)

| Элемент | Число линий | $\lg \varepsilon$ | $\sigma \lg \varepsilon$ | $\lg \varepsilon_{\odot}$ | [M/H] | [M/H] [9] |
|---------|-------------|-------------------|--------------------------|---------------------------|-------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| FeI | 33 | -5.75 | 0.30 | -4.50 | -1.25 | -1.18 |
| FeII | 9 | -5.75 | 0.12 | | | |
| CrI | 3 | -7.87 | 0.08 | -6.58 | -1.29 | -1.23 |
| CrII | 7 | -7.87 | 0.08 | | | |
| MnI | 5 | -7.67 | 0.36 | -7.17 | -0.50 | -1.38 |
| NiI | 2 | -6.90 | — | -6.97 | 0.07 | -0.87 |
| TiII | 4 | -8.38 | 0.25 | -7.55 | -0.83 | -1.17 |
| ZnI | 2 | -9.27 | — | -7.63 | -1.64 | -0.88 |
| VII | 3 | -8.88 | 0.28 | -8.13 | -0.75 | -1.78 |

повлияют скорее на среднее значение $\lg \varepsilon$ (Fe), чем на величину средней квадратической ошибки $\delta \lg \varepsilon$ (Fe). С другой стороны, интервал эффективных глубин образования линий ионизованного железа практически совпадает с таковым для нейтрального железа. Следовательно, большие ошибки определения металличности по нейтральному железу не связаны с эффектом систематического уклонения термодинамических переменных модели атмосферы от ее реальных характеристик. Такие уклонения возможны в атмосферах сверхгигантов и должны нарастать по мере приближения к разреженным слоям атмосферы. Использование в анализе линий с $W \leq 260$ мÅ позволило нам снизить этот источник ошибок.

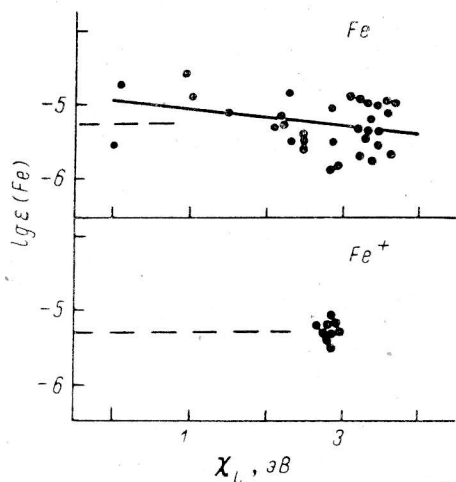


Рис. 6. Зависимость $\lg \varepsilon$ (Fe) от потенциала возбуждения нижнего уровня χ_L , рассчитанная для $T_e = 6500$ К, $\lg g = 2$ и $\xi_t = 6.3$ км/с.

Если бы в атмосфере АС Геркулеса существовала сильная зависимость величины микротурбулентной скорости от глубины формирования линии, как это показано для сверхгигантов диска Галактики [20], [21], то из-за различной точности определения $\lg \varepsilon$ (Fe) эффект сказался бы сильнее при использовании линий Fe⁺. Следовательно, предположение о постоянстве микротурбулентной скорости с глубиной не вносит существенных ошибок в результат определения металличности. Остается предположить, что в атмосфере АС Геркулеса существенны отклонения от бальмановской населенности уровней. Если эти отклонения систематически нарастают с изменением χ_L , то рассмотренная выше процедура определения T_e из условия $S_{\chi} = 0$ нуждается в дополнительной проверке. К этому вопросу мы вернемся в следующей работе.

5. Параметры атмосферы на фазе 0^{п0} оценим в предположении неизменности содержания железа с фазой. Значения параметров, определенные для фазы 0^{п4} — $T_e = 5800$ К, $\lg g = 1.2$, $\xi_t = 6.3$ км/с, $\lg \varepsilon$ (Fe) = -5.75, позволяют оценить эффективную температуру на фазе 0^{п0} — $T_e = 4900$ К.

Кривая распространности элементов. Сведения о линиях, которые удалось надежно измерить на фазе 0^{п4}, приведены в табл. 1. Там же указаны источники сил осцилляторов. В колонке 5 табл. 2 приведен солнечный химический состав, принимаемый в качестве исходного при работе программы WIDTH6. В колонке 7 приведены результаты анализа методом дифференциальных кривых роста [9]. В колонке 6 приведены значения полученных нами металличностей относительно солнечной атмосферы. Видно, что в большинстве случаев дефицит ме-

таллов, определенный разными методами, совпадает в пределах ошибок. Кратко перечислим возможные причины расхождений наших результатов с данными работ [7] и [9].

Метод оценки эффективной температуры по температуре возбуждения, определяемой методом кривых роста, чувствителен к структуре атмосферы, поэтому различие T_e из [7] и [9] допустимо. Эти различия могут быть реальными,

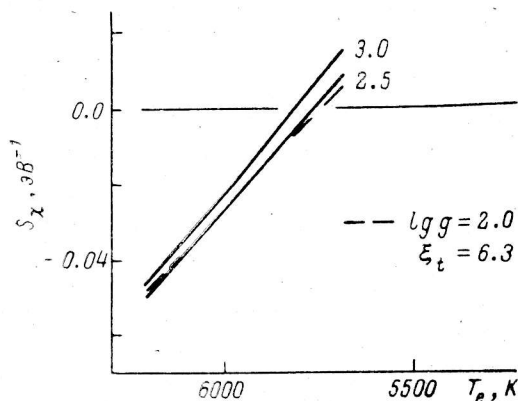


Рис. 7. Процедура определения эффективной температуры T_e из условия бoльцмановской населенности уровней Fe, т. е. из условия независимости $\lg \varepsilon(\text{Fe})$ от χ_L ; $S_\chi = 0$.

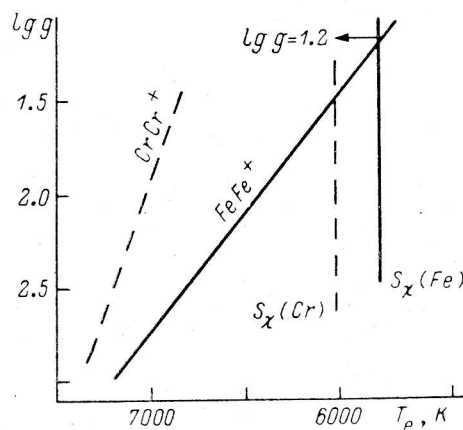


Рис. 8. Определение параметров T_e и $\lg g$ из условия ионизационного равновесия (изолинии FeFe^+ и CrCr^+) и бoльцмановской населенности уровней [изолинии $S_\chi(\text{Fe})$ и $S_\chi(\text{Cr})$].

так как в данных работах спектры получены на близких фазах, но в разных циклах. Сравнение списков эквивалентных ширин из табл. 2 работы [7] и из табл. 1 данной работы показало, что в [7] использованы достаточно сильные линии с W до 350–400 мÅ. Таким образом, процедура определения T_e в [7] затрагивала и верхние слои протяженной атмосферы. В следующей работе мы покажем, что это приводит к завышению эффективной температуры.

Считаем приятным долгом выразить благодарность В. Г. Ключковой и И. Ф. Бикмаеву за помощь в наблюдениях и А. А. Боярчуку и И. С. Саванову за предоставление данных работы [22] до опубликования.

Литература

1. Происхождение и эволюция звезд / Х. К. Арп, Э. М. Бербидж, М. Шварцшильд. М.: ИЛ, 1963, с. 81–101.
2. Страйжис В. Л. Звезды с дефицитом металлов. — Вильнюс: Мокслас, 1982, с. 245–268.
3. Пульсирующие звезды / Под ред. Б. В. Кукаркина. М.: Наука, 1970, с. 140–176.
4. Rosino L. The spectra of variables of the RV Tauri and yellow semiregular types. — *Astrophys. J.*, 1951, 113, p. 60–70.
5. Sanford R. F. Spectrum and radial velocities of AC Herculis. — *Astrophys. J.*, 1981, 73, p. 364–378.
6. Sanford R. F. The velocity and spectrum of AC Herculis from coude spectrograms. — *Astrophys. J.*, 1955, 121, p. 318–325.
7. Baird S. R. AC Herculis, a metal-poor, carbon-enhanced RV Tauri star. — *Astrophys. J.*, 1981, 245, p. 208–218.
8. Алнев А. А. Некоторые спектроскопические особенности U Mon. — *Астрон. журн.*, 1966, 43, с. 990–998.
9. Yoshioka K. Curve of growth analysis of the RV Tauri variable AC Herculis. — *Publ. Astron. Soc. Japan*, 1979, 31, p. 23–42.
10. A spectroscopic and photoelectric survey of the RT Tau stars / G. W. Preston, W. Krzeminski, J. Smak, J. A. Williams. — *Astrophys. J.*, 1963, 137, p. 401–430.
11. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. II / R. A. Bell, K. Eriksson, B. Gustafsson, A. Nordlund. — *Astron. a. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1976, 23, p. 37–95.
12. Ерлексова Г. Е. Частное сообщение, 1982.
13. Панчук В. Е., Цымбал В. В. О точности определения химического состава холодных звезд. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1982, 20, с. 22–25.
14. Baird S. R. Kinematic and shock phenomena in the atmosphere of AC Herculis. — *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1982, 94, p. 850–859.

15. Baird S. R. Causes of anomalous line-splitting in RV Tau stars. — Publ. Astron. Soc. Pacific, 1984, 96, p. 72—77.
16. Line intensities in the spectra of representative stars of spectral types B to G / K. O. Wright, E. K. Lee, T. V. Jakobson, J. L. Greenstein. — Publ. Domin. Astrophys. Obs. Victoria, 1964, 12, p. 173—291.
17. Swenson J. W. The spectrum of Procyon: A typical star of class F. — Astrophys. J., 1946, 103, p. 207—248.
18. Griffin R. A photometric atlas of the spectrum of Procyon $\lambda\lambda$ 3140—7470 Å. Cambridge Philos. Soc., 1979.
19. Боярчук А. А., Боярчук М. Е. Спектроскопическое исследование трех сверхгигантов класса F8. — Изв. КрАО, 1981, 63, с. 66—85.
20. Боярчук А. А., Любимков Л. С. Детальный анализ сверхгигантов класса F. I. Распределение микротурбулентности и содержание элементов в атмосферах γ Cyg и α UMi. — Изв. КрАО, 1981, 64, с. 3—12.
21. Боярчук А. А., Любимков Л. С. Детальный анализ сверхгигантов класса F. II. Распределение микротурбулентности и содержание элементов в атмосфере ρ Cas. — Изв. КрАО, 1983, 66, с. 130—149.
22. Боярчук А. А., Саванов И. С. Силы осцилляторов для нейтрального железа и его содержание в атмосфере Солнца. — Изв. КрАО, 1985.
23. Kurucz R. L. Semiempirical calculation of gf values. IV. FeII. — Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., 1981, N 390, p. 1—321.
24. Measurement of relative oscillator strengths for MnI. Transitions from levels in the range $0 \text{ eV} < \chi < 3 \text{ eV}$ / A. J. Booth, D. E. Blackwell, A. D. Petford. — Monthly Notic. Roy. Astron. Soc., 1984, 208, p. 147—159.
25. Measurement of relative oscillator strengths for CrI lines. I. Measures for transitions from levels a^7S_3 (0.00 eV), a^5S_2 (0.94 eV) and a^3D_{0-4} (0.96—1.03 eV) / D. E. Blackwell, S. L. R. Menon, A. D. Petford. — Monthly Notic. Roy. Astron. Soc., 1984, 207, p. 533—546.
26. Warner B. Absolute oscillator strengths for once-ionized elements of the iron group. — Mem. Roy. Astron. Soc., 1967, 70, p. 165—263.
27. Любимков Л. С., Саванов И. С. Исследование A_m -звезды 16 Ori методом моделей атмосфер. — Изв. КрАО, 1983, 68, с. 121—133.
28. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars. — Astrophys. J. Suppl. Ser., 1979, 40, p. 1—340.
29. Звездные атмосферы / Под ред. Д. Л. Гринстейна. М.: ИЛ, 1963, с. 369—404.
30. Kurucz R. L., Reutremann E. A table of semiempirical gf values. — Smithsonian Astrophys. Obs. Spec. Rep., 1975, N 362, p. 1—1219.

Поступила в редакцию 11.12.84