

## ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕР МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗВЕЗД

### I. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТМОСФЕР ЗВЕЗД $\zeta$ Lyr A, $\kappa$ Ari, $\mu$ Aqr, 14 Psc И $\gamma$ Equ МЕТОДОМ КРИВЫХ РОСТА

*К. И. Козлова*

По спектрограммам с дисперсией  $15 \text{ \AA/mm}$  методом кривых роста проведен количественный анализ атмосфер четырех металлических ( $\zeta$  Lyr A,  $\kappa$  Ari,  $\mu$  Aqr, 14 Psc) звезд и одной промежуточной ( $\gamma$  Equ) звезды, в результате чего определены микротурбулентные скорости, температуры возбуждения и ионизации этих звезд. Обычными методами определены электронные плотности атмосфер звезд. Отношение температур возбуждения к температурам ионизации в среднем такое же, как у нормальных звезд главной последовательности. По температурам возбуждения и ионизации оценены спектральные классы с точностью до 0.1 подкласса. Полученные значения микротурбулентных скоростей в атмосферах металлических звезд близки к 4 км/сек., а для  $\gamma$  Equ около 2 км/сек. Проведено сравнение полученных результатов с данными других авторов.

A quantitative analysis of the atmospheres of four metallic-lines stars,  $\zeta$  Lyr A,  $\kappa$  Ari,  $\mu$  Aqr, 14 Psc, and of an intermediate one,  $\gamma$  Equ, was carried out on the basis of  $15 \text{ \AA mm}^{-1}$  spectrograms by using the curve-of-growth method. Microturbulent velocities, excitation and ionization temperatures of these stars are determined. Electron densities of the stellar atmospheres are determined using general methods. The ratio of excitation to ionization temperatures is in the average the same as that for the main-sequence normal stars. Using the excitation and ionization temperatures, the spectral classes are estimated accurate to 0.1 of a subclass. The obtained values of the microturbulent velocities in the atmospheres of the metallic-lines stars are close to 4 km/s and of  $\gamma$  Equ near 2 km/s. The results obtained are compared with data of other authors.

#### § 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей статье проводится исследование спектров металлических звезд Am с целью построения в дальнейшем температурной шкалы и сравнения свойств атмосфер этих звезд с атмосферами магнитных звезд [1]. Методом кривых роста исследуются спектры четырех металлических звезд  $\zeta$  Lyr A,  $\kappa$  Ari,  $\mu$  Aqr, 14 Psc и промежуточной звезды  $\gamma$  Equ.

Методом кривых роста спектры поглощения изучались до сих пор всего лишь у нескольких звезд Am:  $\tau$  UMa [2, 3], 8 Com и 15 Vul [4],  $\xi$  Ser,  $\theta$  Ser,  $\varsigma$  Lyr A, 88 Tau,  $\omega$  Tau и  $\mu$  Ori [5]; звезда 63 Tau исследовалась методом моделей [6]. Звезду  $\gamma$  Equ начали изучать сравнительно недавно; были проведены фотоэлектрические наблюдения изменений ее блеска [7] и количественный анализ атмосферы методом кривых роста [8—11]. На диаграмме спектр—светимость звезда  $\gamma$  Equ расположена в области пересечения последовательностей магнитных и металлических звезд, где кроме нее находятся звезды  $\beta$  CrB и  $\gamma$  Cap. Эти три звезды обладают свойствами как магнитных, так и металлических звезд и известны под названием «переходных» или «промежуточных».

Задача данной работы заключается в проведении количественного анализа атмосфер пяти названных звезд и определении их спектральных классов по найденным температурам возбуждения и ионизации.

## § 2. МАТЕРИАЛ НАБЛЮДЕНИЙ И ЕГО ОБРАБОТКА

Были использованы спектрограммы, полученные с дисперсией 15 Å/мм на спектрографе АСП-11 122-сантиметрового рефлектора Крымской астрофизической обсерватории В. Добричевым и В. Леушиным. В табл. 1 приведены некоторые данные об исследуемых звездах и наблюдательном материале (Sp (HD) — спектральный класс в системе HD,  $v \sin i$  — скорость осевого вращения звезды).

ТАБЛИЦА 1

Звезда	Номер по HD	$m_p$	Sp (HD)	$v \sin i$ (км/сек.)	Область спектра (Å)	Число спектрограмм
ζ Lyr A	173648	4.29	A3	35	3730—4834	5
κ Ari	12869	5.08	A0	0	3730—4630	4
μ Aqr	198743	4.80	A3	62	3730—4834	4
14 Psc	221675	5.98	A2	—	3745—4860	3
γ Equ	201601	4.68	F0	13	3730—4630	4

Регистрограммы получены на микрофотометре прямых интенсивностей [12] с 50-кратным увеличением; по ним проводилось отождествление спектральных линий и измерение их эквивалентных ширин  $W_\lambda$ . Значения  $W_\lambda$  измеренных линий усреднялись. Вероятная относительная ошибка определения  $W_\lambda$  лежит в пределах 3—19% (в зависимости от интенсивности линий). В табл. 2 приведены длины волн спектральных линий, которые использовались для построения кривых роста и определения температуры возбуждения, номера мультиплетов и значения  $\lg\left(\frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6\right)$  для исследуемых звезд.

## § 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПЛОТНОСТИ

Электронные плотности определялись по водородным линиям серии Бальмера. Результаты измерений центральных глубин  $R_0$  и эквивалентных ширин  $W_\lambda$  водородных линий приведены в табл. 3. Центральную глубину линии  $H_\delta$  мы приняли за значение наибольшей центральной глубины  $R_c$  у каждой из звезд. Вероятная относительная ошибка определения эквивалентных ширин водородных линий составляет 2.5—8%.

Средние электронные плотности ( $\lg n_e$ ) атмосферы звезды определялись как по формуле Инглиса—Теллера, так и методом Унзоляда. Номер последней наблюдаемой линии водорода ( $n_m$ ), необходимый для применения формулы Инглиса—Теллера, находился методом графической экстраполяции по зависимостям  $W_\lambda = f(n)$  и  $R_0 = f(n)$ . Затем значение  $n_m$  исправлялось за скорость осевого вращения звезды, а в найденное значение  $\lg n_e$  вводилась поправка за влияние электронов на расширение водородных линий. Величины поправок определялись по способу И. М. Копылова [13].

Определение электронных плотностей по  $W_\lambda$  линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  мы проводили с использованием «модифицированного» метода Унзоляда, с учетом поправок за эффект переналожения крыльев высших членов серии Бальмера и за влияние электронов на увеличение  $W_\lambda$  линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  [14]. В табл. 4 приводятся результаты, полученные обоими методами.

ТАБЛИЦА 2

Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$				
		$\zeta$ Lyg A	$z$ Ari	$\rho$ Aqr	$l_4$ Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyg A	$z$ Ari	$\rho$ Aqr	$l_4$ Psc	$\gamma$ Equ
		Fe I											
4466.57	2	1.20	1.42	—	1.40	1.37	4602.01	39	0.81	—	—	—	1.45
4427.31	2	1.45	1.27	—	1.38	1.53	4592.66	39	0.46	—	—	—	1.36
4389.24	2	—	—	—	—	0.40	4531.15	39	0.96	—	—	—	1.49
4375.93	2	1.04	—	—	1.64	—	4515.12	41	1.63	1.62	1.44	1.56	1.19
3930.30	4	1.95	—	1.25	1.62	1.80	4404.75	41	1.68	1.77	1.52	1.60	1.70
3927.92	4	1.80	1.67	1.68	1.46	—	4383.55	41	1.48	—	—	—	—
3922.91	4	1.70	1.58	1.63	1.62	1.60	4337.05	41	1.54	1.67	1.32	1.49	1.37
3920.26	4	—	1.53	1.69	1.67	1.50	4294.13	41	1.77	1.75	1.76	1.73	1.73
3899.71	4	1.64	1.47	1.70	1.71	1.61	4325.76	42	1.82	1.79	1.56	1.74	1.82
3895.66	4	1.68	1.57	1.51	1.67	1.50	4307.91	42	1.98	1.78	1.81	1.81	1.55
3859.91	4	1.73	1.66	1.79	1.70	1.58	4271.76	42	1.83	1.68	—	1.79	1.50
3824.44	4	1.98	1.72	—	1.62	1.80	4202.03	42	1.83	1.68	0.81	1.15	1.17
3745.56	5	2.00	1.94	—	1.95	1.80	4147.67	42	1.86	1.04	—	1.15	1.30
3737.13	5	2.03	—	—	—	1.91	4132.87	43	1.84	1.76	—	—	1.91
4152.17	18	1.47	1.17	1.86	—	1.21	4132.06	43	1.84	1.67	—	—	1.38
4139.93	18	—	0.81	1.32	1.50	1.21	4071.74	43	1.77	1.66	1.59	1.62	1.78
3872.50	20	1.89	1.71	—	—	1.64	4063.60	43	1.82	1.77	1.96	—	1.92
3865.53	20	1.65	1.59	—	—	1.64	4045.82	43	2.04	1.86	1.88	—	1.52
3849.97	20	1.83	1.71	1.55	—	1.36	3827.83	44	—	1.73	—	—	1.62
3840.44	20	1.80	1.71	1.70	1.80	1.36	3902.95	45	1.76	1.72	—	—	1.52
3825.88	20	1.77	1.67	1.79	1.66	1.35	3827.82	45	1.86	1.73	—	—	1.45
3820.43	20	1.79	1.69	1.62	1.74	1.56	3815.84	45	1.86	1.66	1.91	—	0.87
3795.00	21	1.86	—	1.89	1.84	1.69	4517.53	47	—	—	0.93	—	1.40
3767.19	21	1.70	1.80	1.78	—	1.56	4528.62	68	1.52	—	—	1.63	1.40
3763.79	21	1.88	1.76	1.82	—	1.78	4494.57	68	1.37	1.27	1.26	1.64	1.34
3758.24	21	1.93	1.75	1.96	1.74	1.67	4459.12	68	1.38	1.48	—	—	1.25
3876.04	22	—	1.00	—	0.93	1.30	4447.72	68	—	1.17	1.25	1.27	1.20
3850.82	22	1.64	1.41	1.65	1.51	1.55	4442.34	68	—	1.25	1.34	1.55	1.34
3790.10	22	1.33	—	1.62	—	—	4430.62	68	1.06	1.27	1.21	1.03	1.20
4602.94	39	—	—	1.00	—	0.94	4408.42	68	0.97	1.47	1.12	—	0.94
		—	—	—	—	—	4009.72	72	0.91	1.20	1.12	1.26	1.10
		—	—	—	—	—	3852.57	73	1.12	1.21	—	1.37	—

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$				
		$\zeta$ Lyg A	$z$ Arg	$p$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyg A	$z$ Arg	$p$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ
4299.24	152	1.62	—	1.77	—	—	4121.81	356	0.80	1.43	4.45	1.43	1.29
4271.16	152	1.84	1.54	4.44	—	—	4134.68	357	1.35	1.33	1.40	1.54	1.39
4260.48	152	1.74	1.72	1.72	1.74	—	4062.45	359	1.33	1.44	1.41	1.42	1.35
4250.12	152	1.68	1.65	1.70	1.64	1.50	4044.61	359	1.07	1.01	—	1.35	0.87
4222.22	152	1.37	1.23	1.35	1.44	1.20	3942.44	364	—	1.12	1.49	—	1.32
4198.31	152	—	1.70	—	—	1.85	3754.51	386	—	—	1.17	2.10	—
4191.44	152	1.64	1.66	1.56	1.69	1.66	4647.44	409	1.20	—	1.40	1.43	—
4187.80	152	1.69	1.53	1.62	1.41	1.46	4367.58	414	1.44	1.40	1.36	1.56	1.33
4187.04	152	1.71	1.54	1.75	—	1.32	4239.74	416	1.19	1.24	1.44	1.50	—
3859.21	175	1.51	—	1.35	—	1.14	4120.21	423	—	0.89	—	—	0.80
3785.95	177	—	1.46	—	1.88	1.58	3903.90	429	1.33	1.25	—	1.28	1.58
4095.98	217	1.05	—	1.15	1.30	1.12	3871.75	429	1.53	—	1.56	—	—
3821.83	222	1.34	1.35	1.48	1.57	0.90	3918.64	430	—	1.58	—	—	1.70
4266.97	273	0.50	0.80	0.56	1.00	0.35	4182.38	476a	—	—	1.26	—	—
3983.96	277	1.45	1.41	—	1.60	1.23	4267.83	482	0.90	0.98	0.69	0.81	0.65
4021.87	278	1.22	1.80	1.25	1.47	1.03	4248.23	482	1.07	0.90	0.82	—	0.80
3981.78	278	1.53	1.36	—	—	1.30	4210.39	482	1.35	1.28	0.90	—	1.31
3956.68	278	1.76	1.63	—	—	1.56	4170.91	482	—	—	1.00	—	0.40
3907.94	280	—	0.96	—	—	1.19	4013.82	486	1.00	0.90	—	—	0.92
3863.74	280	1.35	1.22	1.46	1.40	1.26	3867.22	488	1.25	1.21	1.38	1.22	1.02
3910.84	284	0.74	0.81	1.07	1.07	1.30	4480.14	515	—	1.00	—	—	1.11
4476.02	350	—	1.46	1.33	1.31	1.36	4298.04	520	—	—	1.10	1.10	—
4466.55	350	1.20	1.42	1.32	1.40	1.37	4017.16	527	—	1.08	1.40	1.29	—
4454.38	350	0.90	1.33	—	1.65	0.90	4707.28	554	0.65	—	1.18	—	—
4443.20	350	1.49	—	—	—	1.29	4668.14	554	0.90	—	1.26	1.37	—
4422.57	350	1.12	1.30	1.25	1.39	1.64	4625.05	554	—	—	0.97	1.00	1.09
4245.26	352	1.05	1.09	1.24	1.19	1.18	4607.66	554	—	—	0.60	0.75	0.88
4207.13	352	—	0.98	—	—	—	4504.84	555	—	—	0.89	—	—
4181.76	354	1.61	1.56	1.58	1.62	—	4080.89	557	0.68	—	—	—	—
4175.64	354	—	—	1.24	—	—	4080.23	558	0.96	0.95	—	—	1.49
4156.80	354	—	—	—	—	—	4076.64	558	1.59	1.40	—	1.78	1.78
4213.65	355	0.78	0.84	0.60	0.78	1.09	4073.76	558	1.18	1.08	1.28	1.30	1.09

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$				
		$\zeta$ Lyt A	z Ari	p. Aqr	14 Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyt A	z Ari	p. Aqr	14 Psc	$\gamma$ Equ
4070.77	558	1.18	1.24	1.35	—	1.15	4547.85	755	0.77	—	4.22	1.14	0.93
4067.98	559	—	1.21	—	—	1.41	4587.13	795	0.53	—	1.10	—	0.92
4030.60	560	—	1.62	—	—	—	4432.57	797	—	—	0.95	—	—
3947.00	561	0.95	1.09	1.27	1.33	1.09	4673.17	820	—	—	0.89	—	—
3955.35	562	0.93	0.91	—	1.38	1.42	4643.47	820	0.93	—	0.84	1.43	—
4285.45	597	0.94	0.97	0.91	1.23	0.97	4727.41	821	0.66	—	—	—	—
3948.78	604	—	1.52	1.54	—	1.53	4667.46	822	1.41	—	—	1.38	—
3916.73	606	—	1.47	—	—	1.50	4638.02	822	1.07	—	—	—	—
3821.48	608	—	1.34	—	—	0.90	4495.99	825	0.61	—	1.13	0.80	1.18
3805.35	608	1.39	—	1.48	1.52	—	4437.79	825	0.78	—	1.48	—	—
3765.54	608	1.54	—	—	1.57	—	4525.14	826	1.40	1.43	1.38	—	1.51
4040.65	655	—	1.21	—	—	1.01	4484.23	828	0.70	1.28	1.48	1.29	0.85
3846.80	664	—	1.36	—	1.57	1.02	4479.61	828	—	—	1.15	1.30	—
3810.76	665	1.14	—	—	0.64	1.33	4485.68	830	0.95	0.75	0.80	—	0.75
4238.03	689	—	1.18	—	—	1.07	4469.38	830	1.38	1.37	1.51	1.52	1.38
4227.42	689	—	1.63	—	—	1.76	4433.22	830	—	—	1.25	1.38	1.16
4224.18	689	1.51	—	1.75	1.80	1.50	4388.41	830	0.84	1.24	1.42	1.31	1.21
4200.93	689	1.24	0.92	1.47	1.42	0.93	4246.09	906	0.82	1.17	1.16	1.18	1.15
4247.43	693	1.38	1.38	1.38	1.38	1.30	4607.66	969	—	—	—	—	0.88
4225.46	693	1.54	1.42	1.60	1.60	1.53	4264.74	993	0.69	0.77	—	0.86	0.85
4217.55	693	1.25	1.16	—	—	1.33	—	—	—	—	—	—	—
4196.22	693	1.35	1.17	1.37	1.28	0.94	—	—	—	—	—	—	—
4195.34	693	1.24	1.40	1.53	—	1.35	—	—	—	—	—	—	—
4176.56	695	1.21	1.02	—	1.53	1.00	3938.29	3	1.70	1.48	—	1.76	1.59
4158.80	695	1.42	1.27	1.24	1.37	1.43	3914.48	3	1.53	1.44	—	—	1.43
4157.79	695	1.16	1.09	1.15	1.60	1.18	3783.35	14	—	1.52	—	—	1.40
4153.91	695	—	1.46	—	1.60	1.45	4580.06	26	—	—	—	—	1.42
4126.19	695	0.96	0.90	1.16	1.36	1.00	4416.82	27	1.47	1.60	4.42	1.60	1.36
4133.87	698	—	1.04	—	1.40	1.45	4385.38	27	1.59	1.64	1.59	1.70	1.55
4084.50	698	—	—	—	—	1.43	4303.17	27	1.62	1.53	1.62	1.61	1.23
4137.00	726	1.35	1.34	1.43	1.54	1.31	4273.32	27	1.34	1.33	1.22	1.21	1.17
3976.62	729	1.30	—	1.45	—	1.42	4233.17	27	1.86	1.88	1.78	1.76	1.81



Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$										
		$\zeta$ Lyt A	$z$ Ari	$p$ Aqr	$1/4$ Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyt A	$z$ Ari	$p$ Aqr	$1/4$ Psc	$\gamma$ Equ						
3849.36	138	—	1.51	—	—	—	1.10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4756.11	145	1.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4723.03	145	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4540.72	150	0.86	1.23	1.18	—	—	1.47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4500.30	150	—	0.87	—	—	—	1.20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4632.18	171	0.35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4664.80	186	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4663.83	186	0.60	—	1.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4654.74	186	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4622.49	233	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4413.87	234	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4291.96	240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4297.74	247	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4280.41	247	—	0.93	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4193.66	248	—	1.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4208.36	249	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4048.78	251	—	1.33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4170.20	278	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4595.59	286	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4371.23	304	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4165.52	305	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4172.60	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4075.63	49	1.16	1.05	1.54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4054.11	49	—	1.41	1.43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4207.35	26	1.07	0.68	0.81	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4812.35	30	0.91	—	1.07	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4284.21	31	1.02	1.31	0.90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4275.57	31	1.33	1.42	1.27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4269.28	31	—	1.20	1.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4693.67	6	0.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4656.47	6	1.24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4024.57	12	1.71	1.50	1.63	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4008.93	12	0.70	1.20	1.38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3998.64	12	1.40	1.15	1.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4552.45	42	0.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4534.78	42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4533.24	42	1.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4527.30	42	0.75	1.03	1.22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4326.36	43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4300.57	44	—	1.74	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4698.77	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4323.44	79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Ti I

Cr II









Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W_{\lambda}}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$				
		$\zeta$ Lyr A	$z$ Ari	$\rho$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyr A	$z$ Ari	$\rho$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ
4002.94	9	0.87	1.04	0.99	1.18	1.05	4585.92	23	0.65	—	0.77	0.74	1.58
4036.80	9	—	0.68	—	0.86	0.82	4581.40	23	1.00	—	1.08	0.86	1.73
3951.97	10	1.44	—	1.50	—	—	4578.56	23	0.42	—	0.67	—	1.18
3916.42	10	1.73	—	1.64	1.88	—	4526.94	36	0.83	—	1.20	1.45	1.44
4023.39	32	1.47	4.03	1.06	1.48	0.90	4020.90	16	—	Co I	—	—	—
4005.70	32	0.90	1.18	1.67	1.66	1.00	3906.29	17	1.80	0.60	1.90	—	—
4225.23	37	1.40	1.32	1.57	1.55	1.57	3876.83	17	—	0.77	—	—	—
4183.44	37	1.37	1.10	1.38	—	1.57	3957.93	18	1.41	1.13	1.29	1.45	—
4528.51	56	—	—	1.58	1.63	1.41	3940.89	18	1.56	—	—	1.59	—
4211.90	15	1.31	0.70	0.70	0.78	1.15	3894.98	18	1.57	—	—	1.34	—
4156.24	29	1.50	—	—	—	—	3873.95	18	1.50	—	1.52	1.45	1.30
4208.99	41	1.31	1.25	1.20	1.39	—	4121.32	28	—	0.96	—	—	—
4149.22	41	1.36	1.47	1.56	1.66	1.33	4118.77	28	1.68	1.52	—	1.76	—
4150.97	42	1.30	1.19	1.23	—	0.96	4092.39	29	0.92	—	1.42	1.22	—
4050.32	43	1.47	0.81	0.67	—	0.90	3995.31	31	1.45	1.16	1.58	1.63	0.95
4613.95	67	0.78	—	0.76	—	1.09	3997.90	32	1.49	1.35	1.48	1.60	1.50
4379.77	88	0.61	—	0.80	—	—	3845.47	34	1.52	1.37	1.46	—	1.30
4226.73	2	1.86	4.68	1.85	1.86	1.93	4086.30	58	1.30	—	1.34	1.60	—
4455.89	4	1.02	1.14	1.15	1.45	1.54	4466.88	150	0.93	—	1.46	1.46	—
4435.69	4	1.11	0.74	1.35	1.42	1.70	4517.09	150	—	—	0.78	0.75	—
4434.96	4	0.81	1.14	1.30	1.44	1.63	4749.68	156	1.17	—	1.43	1.43	—
4425.44	4	0.29	1.05	0.80	0.68	1.37	4693.19	156	—	—	1.00	—	—
4318.65	5	0.70	1.08	0.88	1.18	1.40	4663.40	156	0.46	—	—	—	—
4302.59	5	1.63	1.59	—	1.76	1.72	4629.36	156	0.56	—	—	—	—
4298.99	5	1.63	1.56	1.41	1.70	0.86	4623.02	156	0.62	—	4.11	—	0.80
4289.36	5	1.24	—	—	1.14	—	4215.52	1	1.97	—	1.87	—	2.12
4283.01	5	1.19	1.12	1.18	1.45	1.47	4077.71	1	2.10	1.88	2.06	2.12	2.18
							4305.45	3	1.46	—	—	—	1.80
							4161.80	3	1.74	1.34	1.50	1.63	1.72



Т А Б Л И Ц А 2 (продолжение)

Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$					Длина волны $\lambda$ (Å)	Номер мульти- плета	$\lg \left( \frac{W\lambda}{\lambda} \cdot 10^6 \right)$								
		$\zeta$ Lyg A	$z$ Arg	$p$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ			$\zeta$ Lyg A	$z$ Arg	$p$ Aqr	$14$ Psc	$\gamma$ Equ				
<b>Gd II</b>												<b>La II</b>					
4419.03	15	0.60	—	—	—	—	4662.51	8	1.25	—	—	—	—	—	—	—	—
4322.20	15	—	0.87	—	—	—	4086.72	40	1.27	—	—	—	—	—	1.22	1.37	—
4310.98	15	—	0.78	—	—	—	3849.02	42	1.58	—	—	—	—	—	1.24	—	—
4251.73	15	1.01	1.80	—	—	1.40	4333.76	24	1.07	—	—	—	—	1.68	1.56	—	—
4390.95	32	1.10	1.45	—	—	1.51	4429.90	38	0.73	—	—	—	—	1.10	1.39	—	—
4601.05	44	1.03	1.10	—	—	—	4699.62	39	—	—	—	—	—	—	1.16	1.59	1.34
4597.91	44	—	0.69	—	—	—	3921.54	40	—	—	—	—	—	—	—	1.38	—
4037.90	49	0.77	0.68	—	—	1.05	4238.38	41	0.96	—	—	—	—	0.94	1.56	1.54	—
3994.16	49	0.84	—	—	—	1.32	3910.81	43	1.34	—	—	—	—	1.52	1.60	—	—
4639.00	64	—	—	—	—	1.18	4364.66	53	—	—	—	—	—	—	1.07	—	—
4834.23	65	—	—	—	—	1.22	4286.97	75	0.51	—	—	—	—	0.56	1.02	—	—
4801.05	65	1.26	—	—	—	1.35	4217.56	78	0.86	—	—	—	—	0.89	1.14	—	—
4380.64	68	1.41	0.72	—	—	—	4663.76	82	1.25	—	—	—	—	—	—	—	—
4554.99	82	1.41	—	—	—	—	—	—	0.60	—	—	—	—	—	—	—	—
4471.29	82	1.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4514.51	103	0.24	—	—	—	1.45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Sm II</b>												<b>YII</b>					
4606.51	1	0.91	—	—	—	—	4204.69	1	1.42	—	—	—	—	1.53	1.70	1.46	—
4676.91	3	1.17	—	—	—	—	4422.59	5	1.42	—	—	—	—	1.25	1.39	1.70	—
4434.32	36	0.84	1.10	—	—	1.43	4398.02	5	1.16	—	—	—	—	1.46	1.15	1.06	—
4424.34	45	0.38	1.05	—	—	—	4358.73	5	1.17	—	—	—	—	—	1.15	1.06	—
4467.34	53	0.93	1.21	—	—	1.06	4309.62	5	1.60	—	—	—	—	—	1.52	1.70	—
—	—	—	—	—	—	—	3950.35	6	—	—	—	—	—	1.62	1.76	1.70	—
—	—	—	—	—	—	—	3818.34	7	—	—	—	—	—	1.46	1.60	1.38	—
—	—	—	—	—	—	—	3788.70	7	—	—	—	—	—	1.08	1.43	1.38	—
—	—	—	—	—	—	—	4682.32	12	—	—	—	—	—	1.71	1.96	1.64	—
—	—	—	—	—	—	—	3782.30	61	—	—	—	—	—	—	0.96	1.40	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.12	1.36	0.85	—

ТАБЛИЦА 3

Линия	Длина волны $\lambda$ (Å)	ζ Lyr A		α Ari		μ Aqr		14 Psc		γ Equ	
		$R_0$	$W_\lambda$ (Å)	$R_0$	$W_\lambda$ (Å)	$R_0$	$W_\lambda$ (Å)	$R_0$	$W_\lambda$ (Å)	$R_0$	$W_\lambda$ (Å)
H <sub>5</sub>	4340.47	—	—	0.93	21.0	0.85	11.0	0.92	12.8	0.89	16.0
H <sub>6</sub>	4101.74	0.90	17.6	0.91	22.0	0.83	12.0	0.88	13.0	0.91	16.2
H <sub>7</sub>	3970.07	0.90	17.7	0.90	20.8	0.83	11.0	0.93	13.2	0.90	16.0
H <sub>8</sub>	3889.05	0.87	14.4	0.89	15.2	0.82	9.6	0.84	10.5	0.87	11.9
H <sub>9</sub>	3835.38	0.85	10.7	0.90	11.5	0.76	8.0	0.88	9.2	0.91	10.4
H <sub>10</sub>	3797.90	0.85	8.2	0.88	8.8	0.81	6.0	0.87	7.4	0.87	8.0
H <sub>11</sub>	3770.63	0.80	5.6	0.84	7.0	0.66	5.0	0.81	5.5	0.85	5.6
H <sub>12</sub>	3750.15	0.74	4.2	0.75	5.0	0.69	4.0	0.76	4.3	0.79	4.2
H <sub>13</sub>	3739.97	0.75	3.3	0.74	3.6	0.67	3.3	0.74	3.2	0.75	2.9
H <sub>14</sub>	3721.94	0.64	2.5	0.62	2.4	0.64	2.4	0.74	2.6	0.80	2.1
H <sub>15</sub>	3711.97	0.52	1.5	0.50	2.2	0.54	1.3	0.70	2.0	0.71	1.5
H <sub>16</sub>	3703.86	0.47	1.2	0.41	1.8	0.44	0.56	0.68	1.6	0.60	1.2
H <sub>17</sub>	3697.15	0.36	0.72	—	—	0.35	0.48	—	—	0.51	0.8
H <sub>18</sub>	3691.55	0.28	0.56	—	—	—	—	—	—	0.28	0.6
H <sub>19</sub>	3686.83	0.23	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—

ТАБЛИЦА 4

Параметры	ζ Lyr A	α Ari	μ Aqr	14 Psc	γ Equ
$n_m$	23.0	20.0	23.2	21.0	19.4
$\lg n_e(n_m)$	12.82	13.27	12.80	13.12	13.31
$\lg n_e(H_\gamma, H_\delta)$	14.35	14.55	14.02	14.04	14.14

В последней строке табл. 4 дается значение  $\lg n_e(H_\gamma, H_\delta)$  как среднее из определений  $\lg n_e$  по  $W_\lambda$  линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$ .

#### § 4. ТУРБУЛЕНТНЫЕ СКОРОСТИ. ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ

Для получения остальных физических параметров атмосфер исследуемых звезд был применен метод кривых роста. При этом использовалась теоретическая кривая роста Унзольда [15]. Силы осцилляторов брались из работ [1, 16—18] и сводились в единую систему. Эмпирическая кривая роста строилась обычным способом. Нейтральные элементы Cr I, Ti I, Mn I, Ca I и др., как и ионизованные — Fe II, Cr II, Ti II, Ce II и т. д. — не имеют достаточного числа линий, чтобы можно было построить по каждому из них свою кривую роста. Поэтому для каждой звезды были построены три кривые роста — по Fe I, по нейтральным и по ионизованным элементам. В качестве примера на рис. 1 показаны кривые роста для звезды α Ari; точками нанесены значения наших измерений, а сплошной кривой представлена теоретическая кривая роста, наилучшим образом совпадающая с эмпирической.

ТАБЛИЦА 5

Звезда	ζ Lyr A	α Ari	μ Aqr	14 Psc	γ Equ
По Fe I . . . . .	3.7	4.1	4.3	3.9	2.3
По нейтральным элементам . . . . .	3.7	4.0	3.8	3.6	2.3
По ионизованным элементам . . . . .	4.9	4.5	4.5	3.8	2.6
Среднее значение ( $\bar{v}_i$ ) . . . . .	4.1	4.2	4.2	3.8	2.4

Турбулентные скорости  $v_t$  определялись как обычно, по величине сдвига эмпирической кривой роста вдоль оси ординат до совпадения с теоретической. Полученные значения  $v_t$  (в км/сек.) приведены в табл. 5.

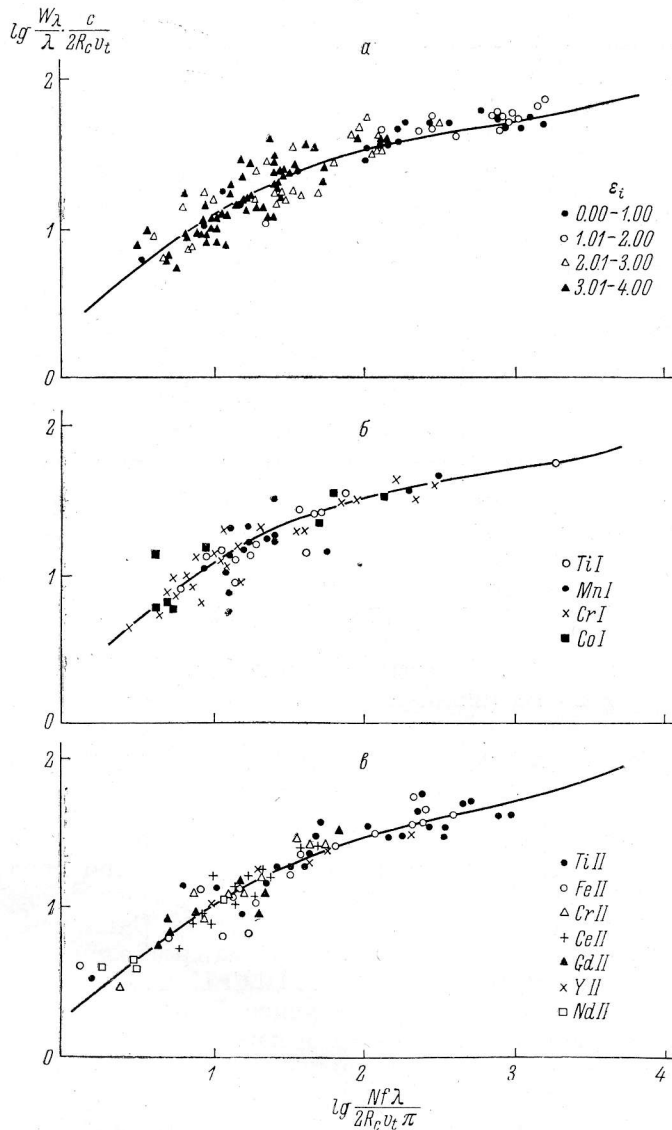


Рис. 1. Кривые роста для звезды  $\alpha$  Arg.

*a* — по Fe I, *б* — по нейтральным элементам и *в* — по ионизованным элементам.

Далее по кривым роста определялись значения  $\lg \frac{N_i}{g_i}$  (общее число поглощающих атомов в фотосфере) и строились графически зависимости  $\lg \frac{N_i}{g_i}$  от потенциалов возбуждения нижнего уровня  $\epsilon_i$ . На рис. 2 показаны в качестве примера такие зависимости, построенные для элементов Fe I, Fe II, Cr I, Cr II, Ti I, Ti II у звезды  $\alpha$  Arg. По графикам такого типа определялись величины  $\theta_v$  и затем температуры возбуждения  $T_v$ ; последние приведены в табл. 6. Веса, приписанные каждому определению  $T_v$ , устанавли-

ТАБЛИЦА 6

Элемент	ζ Lyr A		α Ari		μ Aqr		14 Psc		γ Equ	
	$T_v$ (°K)	Вес	$T_v$ (°K)	Вес	$T_v$ (°K)	Вес	$T_v$ (°K)	Вес	$T_v$ (°K)	Вес
Fe I	5000	3	5600	4	5900	3	6300	3	5700	3
Fe II	5500	1	6000	2	6100	1	6600	1	7000	1
Cr I	5600	2	5500	2	6500	1	6800	1	6000	2
Cr II	6300	2	5900	1	6100	1	6500	1	5800	1
Ti I	5700	1	5800	1	5700	1	6200	1	6300	1
Ti II	5900	2	6100	2	6100	2	6500	1	6300	2
Mn I	5700	1	7000	1	5600	1	6800	1	6700	1
Ca I	6000	1	5500	1	5800	1	6100	1	5900	1
Mg I	5100	1	6500	1	5600	1	6000	1	6000	1
Mg II	5800	1	—	—	—	—	—	—	—	—
La II	6500	1	—	—	6500	1	6300	1	—	—

вались с учетом количества использованных линий и разброса точек на указанных графиках. По данным табл. 6 определялись средневзвешенные значения  $T_v$  (см. первую строку табл. 8).

Для вычисления температуры ионизации  $T_{и}$  применялась известная формула [19], представляющая собой комбинацию формул Саха и Больц-

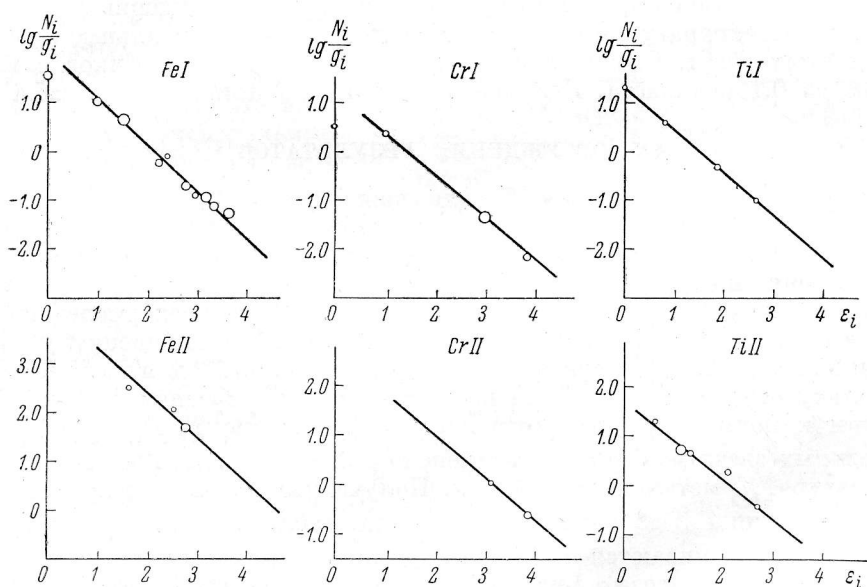


Рис. 2. Графики для определения температуры возбуждения  $T_v$  у звезды α Ari.

Наибольший кружок — усреднение по 17 значениям и больше; наименьший кружок — усреднение по 2 значениям.

мана. Для того чтобы вычислить  $T_{и}$  по этой формуле, из наблюдений находят число атомов одного и того же элемента, находящихся в двух соседних стадиях ионизации. В качестве таких элементов в атмосферах исследуемых звезд были взяты Fe I и Fe II, Cr I и Cr II, Ti I и Ti II. Температура ионизации находилась методом последовательных приближений путем предварительного задания  $T_v = T_{и}$ , результат получался после второго приближения. Вычисленные значения  $T_{и}$  приведены в табл. 7.



ТАБЛИЦА 7

Элемент	ζ Lyr A		α Ari		μ Aqr		14 Psc		γ Equ	
	$T_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	Вес	$T_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	Вес	$T_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	Вес	$T_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	Вес	$T_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	Вес
Fe	7600	3	8300	3	7000	3	7000	3	7400	2
Cr	6800	2	5200	2	5700	1	5700	1	6500	1
Ti	6800	2	6000	1	5700	1	5400	1	6600	1

ТАБЛИЦА 8

Параметры	ζ Lyr A	α Ari	μ Aqr	14 Psc	γ Equ
$\bar{T}_{\text{в}} (^{\circ}\text{K})$	5700	5900	6000	6400	6100
$\bar{T}_{\text{H}} (^{\circ}\text{K})$	7100	6900	6500	6500	7000
$\bar{T}_{\text{в}}/\bar{T}_{\text{H}}$	0.80	0.86	0.92	0.98	0.88
Sp ( $\bar{T}_{\text{в}}$ )	F0.8	F0.3	F0.0	A5.9	A7.7
Sp ( $\bar{T}_{\text{H}}$ )	A5.1	A5.9	F0.3	F0.3	A5.4
$T_{\text{эфф}} (^{\circ}\text{K})$	6900	7200	7300	7700	7400

Средневзвешенные значения  $\bar{T}_{\text{H}}$  (см. вторую строку табл. 8) определялись так же, как и  $\bar{T}_{\text{в}}$ .

Используя зависимости Sp от  $T_{\text{в}}$  и  $T_{\text{H}}$  из [20], по найденным средневзвешенным температурам  $\bar{T}_{\text{в}}$  и  $\bar{T}_{\text{H}}$  нами были оценены спектральные классы исследуемых звезд. Спектральные классы снимались с графиков с точностью до 0.1 подкласса. Полученные оценки Sp приводятся в табл. 8.

### § 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Температура возбуждения  $T_{\text{в}}$  для каждой звезды, как говорилось выше, находилась по разным элементам (табл. 6), но наиболее уверенно она определялась по Fe I, Cr I и Ti II. Температура ионизации  $T_{\text{H}}$  определялась уверенно по трем элементам: Fe, Cr и Ti.

Отношение  $\bar{T}_{\text{в}}/\bar{T}_{\text{H}}$  (см. третью строку табл. 8) для всех исследуемых звезд в среднем составляет 0.89, что близко к этому соотношению у нормальных звезд главной последовательности, равному 0.92 для звезд A5-F0. Поскольку отношение  $\bar{T}_{\text{в}}/\bar{T}_{\text{H}}$  для изучаемых звезд в среднем получилось близким к нормальному, то, очевидно, и отношение  $T_{\text{в}}/T_{\text{эфф}}=0.82$  для нормальных звезд может быть применено для определения эффективных температур  $T_{\text{эфф}}$  металлических звезд. Полученные нами из этого соотношения значения  $T_{\text{эфф}}$  даны в последней строке табл. 8.

В табл. 9 сравниваются полученные нами температуры с результатами других авторов для звезд ζ Lyr A и γ Equ. Из таблицы видно, что согласие данных удовлетворительное.

Проведем сравнение спектральных классов, полученных нами по  $\bar{T}_{\text{в}}$  и  $\bar{T}_{\text{H}}$  для изучаемых металлических звезд, с данными других авторов (табл. 10).

ТАБЛИЦА 9

Температура ( $^{\circ}\text{K}$ )	ζ Lyr A		γ Equ	
	По данным автора	По данным [10]	По данным автора	По данным [8,9]
$\bar{T}_{\text{в}}$	5700	5420	6100	—
$\bar{T}_{\text{H}}$	7000	7450	7000	6800
$T_{\text{эфф}}$	6900	—	7400	7600

ТАБЛИЦА 10

Звезда	По данным автора		По данным [21]		
	Sp ( $\bar{T}_v$ )	Sp ( $\bar{T}_H$ )	Sp (K CaII)	Sp (H)	Sp (M)
$\zeta$ Lyr A	F0.8	A5.1	A5.4	A2.5	F2.15
$\kappa$ Ari	F0.3	A5.9	A2.0	A3.8	A7.65
$\mu$ Aqr	F0.0	F0.3	A5.4	A7.4	F2.65
14 Psc	A5.9	F0.3	A5.4	A7.3	A5.10
$\gamma$ Equ	A7.7	A5.4	—	—	—

Из табл. 10 видно, что спектральные классы исследуемых звезд, найденные нами, отличаются от полученных в [21]. Шалонж [22] и Хак [23] оценили спектральный класс звезды  $\gamma$  Equ как  $Sp(\lambda_1, D)=A7 V$  и  $Sp(H_\beta, D)=A7 V$  соответственно, что почти совпадает с нашими  $Sp(\bar{T}_v)$ , а В. Леушин [24] получил по линиям металлов для  $\gamma$  Equ более ранние спектральные классы:  $Sp(Fe I)=A5.3 \pm 0.38$  и  $Sp(Fe II)=A3.5 \pm 0.13$ .

Наша оценка Sp для  $\gamma$  Equ по  $T_v(Fe I)$ ,  $T_v(Fe II)$  и  $T_H(Fe)$  дала следующие значения Sp соответственно: F0.8, A3.4 и A3.0. Два последних значения Sp хорошо согласуются с данными В. Леушина по  $Sp(Fe II)$ . Отметим, что найденные нами спектральные классы по температурам возбуждения и ионизации носят пока предварительный характер и в дальнейшем соотношение спектрального класса и температуры будет уточняться.

Полученные нами средние турбулентные скорости  $\bar{v}_t$

(табл. 5) мы исправили за тепловую скорость ( $v_{теп} \approx 1.5$  км/сек.) и нашли для каждой исследуемой звезды микротурбулентную скорость  $\xi$ . В табл. 11 приводятся полученные значения  $\xi$  в сравнении с данными других авторов для разных металлических звезд. Из табл. 11 видно, что согласие данных для  $\zeta$  Lyr A и  $\gamma$  Equ удовлетворительное.

Следует отметить, что у некоторых звезд, как показывают наблюдения, имеют место различия между значениями микротурбулентной скорости ( $\xi$ ), найденными по нейтральным и по ионизованным элементам (для одной и той же звезды). Это можно видеть из сравнения микротурбулентных скоростей (в км/сек.) (табл. 12).

Б. Башек и Д. Реймерс [25] исследовали микротурбуленцию в атмосферах звезд A и F как металлических, так и нормальных, по материалам

ТАБЛИЦА 11

Звезда	$\xi$ (км/сек.)	
	по данным автора	по данным других авторов
$\zeta$ Lyr A	3.8	4.0 [10]
$\kappa$ Ari	3.9	—
$\mu$ Aqr	3.9	—
14 Psc	3.5	—
$\gamma$ Equ	1.8	1.5 [8, 9]
$\tau$ UMa	—	4.0 [2, 3]
15 Vul	—	3.8 [4]
8 Com	—	4.8 [4]
$\xi$ Cep	—	4.5 [10]
$\theta$ Cep	—	5.0 [10]
63 Tau	—	6.2 [6]

ТАБЛИЦА 12

Звезда	$\zeta$ Lyr A	$\kappa$ Ari	$\mu$ Aqr	63 Tau [6]
$\xi$ по нейтральным элементам	3.4	3.7	3.5	5.4
$\xi$ по ионизованным элементам	4.6	4.1	4.1	7.0

разных авторов и показали, что нет различия в величине микротурбулентной скорости у нормальных и металлических звезд. На рис. 3 приведен

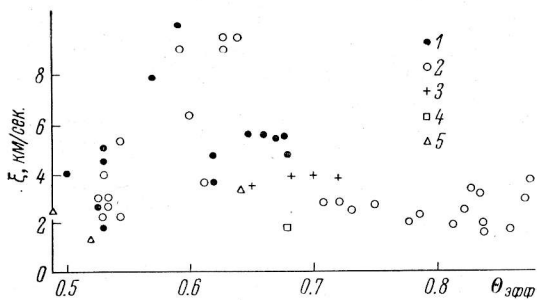


Рис. 3. Зависимость микротурбулентной скорости  $\xi$  (км/сек.) от  $\theta_{эфф}$  для металлических и нормальных звезд.

1 — металлические звезды по данным [25], 2 — нормальные звезды главной последовательности по данным [25], 3 — металлические звезды по данным автора, 4 — звезда  $\gamma$  Eri по данным автора, 5 — нормальные звезды главной последовательности по данным [26].

мало (составляет всего около 2 км/сек.) и соответствует величине микротурбулентной скорости, которую в среднем имеют магнитные звезды (см. например, [1]).

В заключение автор приносит благодарность Ю. В. Глаголевскому за обсуждение работы и И. В. Ушмаевой за помощь в обработке наблюдательного материала.

#### Литература

1. Ю. В. Глаголевский, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 2, 3, 1970.
2. J. L. Greenstein, *Astrophys. J.*, 107, 151, 1948.
3. J. L. Greenstein, *Astrophys. J.*, 109, 121, 1949.
4. G. R. Miczaika, F. A. Franklin, A. J. Deutsch, J. L. Greenstein, *Astrophys. J.*, 124, 134, 1956.
5. M. Hack, *Contr. Oss. astr. Milano-Merate*, No. 60, 1955.
6. C. V. Menneret, *Ann. Astrophys.*, 26, 289, 1963.
7. W. Wehlaw, *Publ. astr. Soc. Pacific*, 74, No. 439, 1962.
8. M. Hack, *Mem. Soc. astr. ital.*, 31, No. 23, 279, 1960.
9. R. Farragiana, M. Hack, *Mem. Soc. astr. ital.*, 34, No. 3, 325, 1963.
10. M. Hack, *Vistas in Astronomy*, 7, 407, 1965.
11. M. Hack, M. S. Matthews, *Oss. astr. Trieste Pubbl.*, No. 343, 3, 1966.
12. Б. П. Абражевский, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 34, 331, 1965.
13. И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 26, 232, 1961.
14. И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 35, 11, 1966.
15. А. Унзольд, *Физика звездных атмосфер*. ИЛ, М., 1949.
16. B. Wagner, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 133, 389, 1966.
17. С. К. Зейналов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 37, 191, 1967.
18. И. Корлисс, У. Бозман, *Вероятности переходов и силы осцилляторов 70 элементов*. «Мир», М., 1968.
19. А. А. Боярчук, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 21, 54, 1959.
20. И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 30, 69, 1963.
21. И. М. Копылов, Т. С. Белякина, Э. А. Витриченко, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 29, 181, 1963.
22. D. Chalonge, L. Divan, *Ann. Astrophys.*, 15, 201, 1952.
23. M. Hack, *Ann. Astrophys.*, 16, 417, 1953.
24. В. В. Леушин, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 43, 1971.
25. V. Baschek, D. Reimers, *Astr. and Astrophys.*, 2, No. 2, 240, 1969.
26. Ю. В. Глаголевский, Н. М. Чунакова, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), настоящий том, стр. 70.