

МЕТАЛЛИЧЕСКИЙ СПЕКТР β LYRAE

В. В. Леушин, М. Ю. Невский,* Л. И. Снежко*

Проведены измерения, отождествление и анализ металлического спектра β Lyr по спектрограммам с дисперсией 1.3 Å/мм. С помощью моделей атмосфер определен химический состав видимого компонента системы. Показано, что обилия тяжелых элементов близки к солнечным. Избыток гелия, повышенное содержание азота по отношению к углероду при нормальном обилии более тяжелых элементов показывают, что вещество атмосферы видимого компонента β Lyr испытало выгорание водорода в углеродно-азотном цикле.

The measurements, identifications and analysis of metallic spectrum of β Lyr is performed. The chemical composition of the brighter component of the system is determined using model atmospheres. Abundances of heavy elements are shown to be close to solar values. Overabundance of helium, high abundance of nitrogen with respect to carbon with the normal abundance of other heavy elements shows that the matter of the atmosphere of the brighter component burned in CNO-cycle.

Настоящая работа является продолжением исследования химического состава яркого компонента тесной двойной системы β Lyr по спектрам с высокой дисперсией, начатого работой [1]. По спектрограммам, подробно описанным в [1], нами были измерен и отождествлен металлический спектр β Lyr в области $\lambda\lambda$ 3650—4730 Å, при отождествлении использовались работы [2—6]. Результаты измерения представлены в табл. 1. В графах 1 и 4 таблицы приведены измеренные положения линий в лабораторной системе длин волн и эквивалентные ширины W_λ , в графах 3 и 6 — отождествленные и возможные бленды, в графах 2 и 5 — отклонения $\Delta\lambda$ и ΔW_λ от средних значений λ и W_λ , полученных усреднением по всем спектрограммам.

Основная трудность при исследовании химического состава β Lyr заключается в переменности ее спектра. Анализ водородного и гелиевого спектров в [1] показал, что основным искажающим фактором является эмиссия. Поскольку нашего материала недостаточно для анализа переменности металлического спектра, мы привлекли ряды наблюдений [3—5, 7, 8]. На рис. 1 сопоставлены эквивалентные ширины наиболее интенсивных линий некоторых элементов с фазой периода. Рассмотрение этого рисунка показывает, что эквивалентные ширины по данным Струве [3], Боярчука [4], Скульского [7] и наши практически не различаются. Данные Хак [5] для сильных линий совпадают с нашими, данные Дадаева [8] систематически больше, чем у всех других авторов. Главный вывод, следующий из анализа рис. 1, заключается в том, что эквивалентные ширины всех металлических линий, по данным всех авторов, практически постоянны в фазах от 0.05 до 0.95. Имеющий место разброс значений W_λ мы склонны объяснить в основном ошибками измерений, в которых тонут возможные реальные вариации интенсивности линий звездного спектра. Ссылаясь на результаты работы [1] и обращая внимание на значительные вариации W_λ для линии KCaII на рис. 1, можно утверждать, что име-

* Сотрудник Ростовского государственного университета (from Rostov-on-Don University).

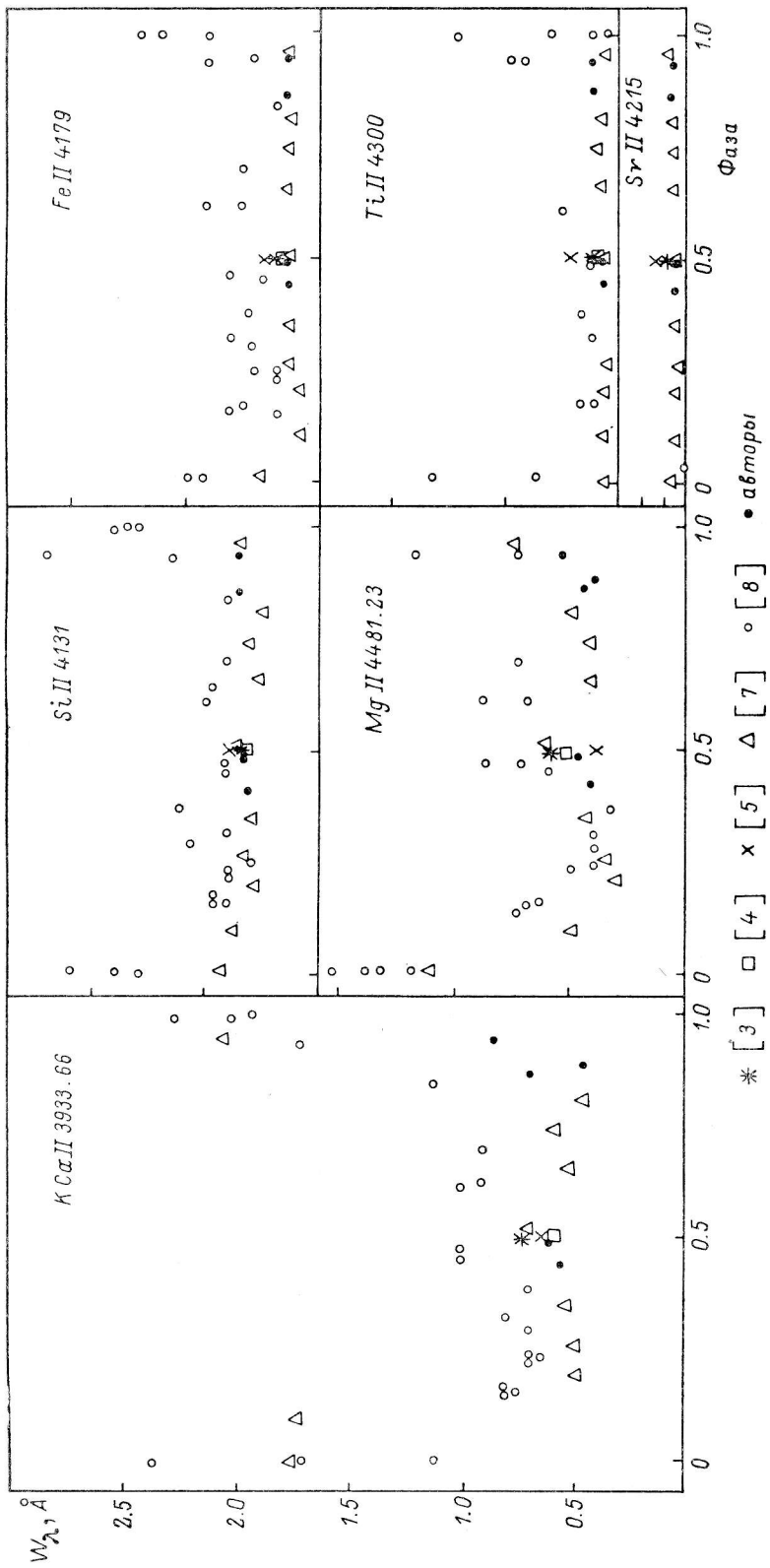


Рис. 1. Сопоставление эквивалентных ширин с фазой по данным разных авторов.

ТАБЛИЦА 1

Длины волн, отождествленные и эквивалентные ширины линий
металлического спектра β Lyr

λ	$\Delta\lambda$	Ион, номер мультиплета	W_λ	ΔW_λ	Бленда
3719.94	.30	FeI (5)	.11	.05	ZrII
3726.80	.08	SmII (19)	.07	.03	FeII
3727.54	.09	CrII (117)	.10	.03	VII (2)
3746.56	.01	FeII (14)	.11	.03	
3748.49	.01	FeII (154)	.10	.04	
3754.59	.03	CrII (20)	.06	.01	FeII
3757.68	.02	TiII (72)	.09	.02	
3759.29	.05	TiII (13)	.22	.03	
3761.36	.08	TiII (13)	.12	.03	VII
3762.89	.30	FeII (192)	.07	.02	CrII
3764.09	.20	FeII (29)	.07	.03	FeI (21)
3765.62	.10	CrII (20)	.05	.02	
3774.33	.05	YII (7)	.03	.02	
3781.51	.18	FeII (130)	.04	.02	
3783.35	.15	FeII (14)	.11	.03	
3786.37	.19	MoII	.08	.02	
3787.23	.11	VII (100)	.05	.03	
3788.70	.20	YII (7)	.04	.01	
3795.26	.18	CeII (50)	.06	.02	
3806.30	.30	NeII (30)	.11	.03	HeI
3809.67	.28	SII (50)	.08	.02	FeII
3811.79	.21	MoII	.07	.02	
3814.12	.26	FeII (153)	.09	.03	
3817.58	.32	ZrII (18)	.12	.02	
3824.91	.10	FeII (29)	.08	.02	
3827.08	.00	FeII (153)	.07	.02	Zr (II)
3829.65	.15	VII (3)	.06	.03	HeII
3832.12	.17	CrII (13)	.06	.02	YII (r)
3845.18	.14	FeII (127)	.06	.03	
3848.37	.06	MgII (5)	.06	.02	
3849.58	.02	NiII (11)	.09	.03	
3850.93	.14	SII (50)	.07	.03	MgII, OII
3853.66	.02	SiII (1)	.26	.04	
3856.02	.02	SiII (1)	.38	.06	
3859.91	.16	FeI (4)	.08	.02	
3860.64	.23	SII (50)	.08	.03	FeII
3862.59	.01	SiII (1)	.33	.03	
3865.59	.10	VII (20)	.06	.02	CrII
3874.10	.18	OII (11)	.06	.02	ZrII
3875.67	.08	VII (20)	.05	.02	CrII
3905.64	.02	CrII (167)	.10	.02	FeII, SiI
3910.70	.50	CeII	.06	.02	
3912.09	.41	OII (17)	.07	.02	TiII
3913.46	.27	TiII (34)	.08	.03	
3918.98	.11	CrII (4)	.07	.02	FeII
3920.68	.12	CrII (4)	.06	.02	
3923.48	.16	SII (55)	.08	.03	TiII
3924.05	.19	SII (33)	.07	.02	SiII
3929.73	.03	VII (10)	.10	.01	FeII
3932.01	.04	TiII (34)	.55	.02	SII, AlI
3933.67	.05	CaII (1)	.64	.06	
3935.94	.04	FeII (173)	.15	.03	
3938.29	.17	FeII (3)	.10	.03	
3954.37	.07	OII (6)	.08	.02	FeIII
3955.85	.09	NII (6)	.08	.03	
3960.89	.36	FeII (212)	.35	.07	MoII
3966.63	.09	FeI (429)	.44	.02	
3968.47	.02	CaII (1)	.52	.05	
3979.52	.15	CrII (182)	.09	.02	
3985.78	.53	VII (202)	.05	.02	CrII
3990.94	.22	SII (46)	.06	.02	ZrII, VII
3993.53	.13	SII (29)	.08	.03	

Т А Б Л И Ц А 1 (продолжение)

λ	$\Delta\lambda$	Ион, номер мультиплета	W_λ	ΔW_λ	Бленда
3994.95	.02	NII (12)	.09	.03	
3999.19	.33	VII (202)	.07	.02	CrII
4002.55	.31	FeII (190)	.09	.02	
4005.72	.29	VII (32)	.04	.02	FeI, FeIII
4007.27	.07	FeI (119)	.07	.03	
4012.50	.30	CrII (183)	.06	.02	TiII
4015.50	.20	NiII (12)	.05	.02	
4017.29	.30	VII (216)	.03	.01	
4032.95	.03	FeII (126)	.09	.02	SII
4035.63	.21	VII (32)	.06	.02	OII, NII
4041.32	.23	NII (39)	.07	.03	FeII
4044.76	.06	NII (39)	.07	.03	FeII
4048.83	.12	FeII (178)	.07	.02	CrII
4057.46	.13	FeII (212)	.07	.02	
4061.78	.20	FeII (168)	.08	.03	CrII
4063.60	.21	FeI (43)	.05	.02	CrII, FeI
4067.05	.05	NiII (11)	.10	.01	VII
4075.66	.08	VII (14)	.07	.02	CrII, OII
4077.71	.09	SrII (1)	.07	.02	CrII, SiII
4078.85	.30	OII (10)	.05	.02	SrII
4080.22	.22	FeI (557)	.04	.01	FeIII
4082.28	.17	NII (38)	.04	.01	
4092.94	.48	OII (10)	.04	.01	
4119.22	.18	OII (29)	.05	.02	
4122.64	.03	FeII (28)	.07	.02	FeIII
4124.79	.20	FeII (92)	.04	.02	
4125.62	.21	FeI (1165)	.05	.02	
4128.05	.08	SiII (3)	.37	.03	
4130.88	.05	SiII (3)	.35	.04	
4132.81	.28	OII (19)	.05	.02	CrII, NII
4133.65	.12	NII (68)	.04	.02	
4134.68	.16	FeI (857)	.03	.01	NII
4140.74	—	OII (19)	.02	.01	
4145.80	.04	CrII (162)	.06	.03	SII
4150.97	.16	ZrII (42)	.05	.02	CrII, FeII
4153.10	.02	SII (44)	.08	.01	CrII, OII
4163.64	.31	TiII (105)	.09	.03	VII
4164.02	.50	VII (27)	.04	.02	FeIII
4167.27	.15	MgI (19)	.04	.02	CdII, FeIII
4171.90	.52	TiII (105)	.05	.02	NII
4173.45	.43	FeII (27)	.14	.03	TiII
4174.30	.25	SII	.07	.01	MnII, SmII
4176.04	.38	NII (42)	.06	.02	
4178.86	.23	FeII (21)	.15	.02	
4187.80	.18	FeII (152)	.06	.01	
4190.40	.45	VII (34)	.05	.02	TiII
4195.41	.51	CrII (365)	.04	.01	
4198.13	.27	SiII (2)	.05	.01	
4200.93	.09	FeI	.06	.01	
4202.35	.16	VII (26)	.04	.01	
4205.09	.24	VII (37)	.04	.01	
4215.52	.71	SrII (1)	.04	.01	
4223.04	.25	NI (5)	.04	.02	FeIII
4224.85	.15	CrII (165)	0.5	.02	
4227.98	.06	AlII (46)	.05	.01	NII, CrII, FeII
4229.80	.28	CrII (26)	.05	.01	
4230.00	.25	MoII	.06	.02	SII
4233.17	.09	FeII (27)	.23	.03	
4242.38	.15	CrII (31)	.09	.02	NII
4244.76	.40	NiII (9)	.06	.02	
4246.83	.23	ScII (7)	.06	.02	
4249.98	.28	ScII (66)	.07	.03	
4252.62	.48	CrII (21)	.06	.02	
4254.35	.67	CrI (1)	.04	.01	
4258.15	.33	FeII (28)	.06	.02	

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

λ	$\Delta\lambda$	Ион, номер мультиплета	W_λ	ΔW_λ	Бленда
4261.90	.31	CrII (21)	.04	.01	
4263.64	.35	MoII (3)	.04	.01	CrII
4266.52	.22	ArII (7)	.04	.01	SII, CrII
4267.27	.19	CII (8)	.04	.01	CII
4269.28	.29	CrII (31)	.03	.01	
4271.76	.21	FeI (42)	.03	.01	
4273.31	.18	FeII (31)	.06	.02	
4275.57	.20	CrII (31)	.04	.02	
4278.13	.11	FeII (32)	.05	.02	CrII
4282.63	.33	SII (49)	.03	.01	
4283.28	.35	MoII, CrII (31)	.03	.01	
4285.62	.25	OII (78)	.04	.01	
4287.89	.20	TiII (20)	.04	.01	
4290.22	.24	TiII (20)	.06	.02	
4294.10	.15	TiII (20)	.08	.02	
4296.58	.08	FeII (28)	.10	.03	
4300.05	.21	TiII (41)	.08	.03	
4303.17	.05	FeII (17)	.13	.03	
4305.45	.25	SrII (3)	.04	.01	
4307.90	.16	TiII (41)	.05	.01	
4310.37	.18	FeIII (25)	.05	.01	
4311.64	.33	MoII	.06	.02	
4312.86	.48	TiII (41)	.05	.01	
4314.08	.50	ScII (15)	.06	.02	TiII, FeII, NdII
4320.75	.27	ScII (15)	.05	.02	FeII
4321.34	.28	FeII (220)	.03	.01	
4325.01	.06	ScII (15)	.05	.01	MnII, OII
4348.11	.09	ArII (7)	.05	.02	
4349.43	.10	OII (2)	.04	.01	
4351.76	.04	FeII (27)	.15	.03	
4355.03	.07	FeII (202)	.03	.01	
4357.57	.07	FeII (4)	.04	.02	
4362.10	.15	NiII (9)	.04	.02	
4363.64	.08	MoII (3)	.02	.01	
4369.40	.14	FeII (28)	.04	.01	
4371.59	.33	OII (76)	.04	.01	
4374.46	.20	ScII (14)	.04	.01	
4377.76	.34	MoII (3)	.04	.01	
4383.55	.51	FeI (41)	.05	.02	FeII
4385.38	.38	FeII (27)	.23	.05	MgII
4390.59	.37	MgII (10)	.08	.04	
4395.03	.01	TiII (19)	.07	.03	
4395.84	.06	TiII (61)	.06	.02	
4397.25	.12	CrI	.04	.02	FeII
4399.77	.25	TiII (51)	.05	.01	
4403.34	.37	ZrII (78)	.05	.01	FeII
4404.75	.18	FeI (41)	.05	.01	
4416.82	.12	FeII (27)	.12	.04	CII, TiII
4419.59	.10	FeIII (4)	.06	.03	
4427.99	.31	MgII (9)	.06	.02	
4430.95	.28	FeII (4)	.05	.01	
4432.09	.30	TiII (51)	.03	.04	VII, CrI
4433.99	.32	MgII (9)	.06	.01	
4435.58	.27	FeII (4)	.03	.02	
4443.80	.22	TiII (19)	.04	.01	
4446.25	.20	FeII (167)	.04	.01	
4449.68	.03	FeII (222)	.03	.01	TiII
4451.54	.10	FeII	.05	.01	
4455.27	.12	FeII (140)	.06	.01	
4461.43	.08	FeII (26)	.05	.01	
4463.58	.22	SII (43)	.04	.01	
4468.49	.28	TiII (31)	.06	.01	
4477.44	.14	NII (21)	.10	.03	
4481.23	.12	MgII (4)	.40	.02	
4483.42	.03	SII (43)	.04	.02	

Т А Б Л И Ц А 1 (продолжение)

λ	$\Delta\lambda$	Ион, номер мультиплета	W_λ	ΔW_λ	Бленда
4485.44	.21	ZrII (79)	.05	.02	FeII
4486.66	.14	SII (42)	.05	.02	
4489.18	.11	FeII (37)	.09	.03	
4491.39	.07	FeII (37)	.10	.02	
4493.53	.18	TiII (18)	.04	.02	
4498.73	.30	CrI (81)	.05	.02	
4499.48	.19	SmII (23)	.04	.02	
4500.32	.29	TiII (18)	.05	.02	
4501.27	.35	TiII (31)	.04	.01	
4505.34	.16	KII (4)	.04	.01	
4508.28	.10	FeII (38)	.15	.03	
4512.72	.05	VII (212)	.04	.01	
4515.34	.07	FeII (37)	.14	.03	
4520.22	.12	FeII (37)	.14	.03	
4522.63	.13	FeII (38)	.12	.03	
4524.93	.12	BaII (3), SII (40)	.06	.02	
4529.46	.08	TiII (82)	.06	.02	
4530.40	.18	NII (59)	.05	.03	MnII
4534.17	.14	FeII (37)	.09	.02	TiII
4538.64	.24	VII (212)	.06	.02	NaII (45)
4541.52	.08	FeII (38)	.09	.03	
4545.14	.34	TiII (86)	.04	.02	CrII
4545.96	.30	CrI (10)	.03	.01	
4547.85	.24	FeI (78)	.07	.03	NIII
4549.47	.26	FeII (38)	.26	.04	TiII
4552.62	.07	SiIII (3)	.14	.03	TiII
4554.04	.12	BaII (1)	.05	.02	FeII, CuII
4555.89	.01	FeII (37)	.12	.02	CrII
4558.66	.06	CrII (44)	.12	.03	
4560.28	.02	CeII (8)	.03	.01	
4561.88	.40	SII	.04	.02	CrII, PrII
4563.76	.32	TiII (60)	.04	.01	
4567.87	.31	SiIII (2)	.05	.01	
4568.31	.30	TiII (60)	.03	.01	
4571.94	.12	TiII (82)	.05	.01	CrII
4574.77	.23	SiIII (2)	.04	.01	
4576.33	.04	FeII (38)	.06	.02	
4579.52	.13	FeII (26)	.04	.01	
4580.46	.07	TiII (60)	.03	.01	FeII
4582.84	.05	FeII (37)	.04	.01	
4583.83	.07	FeII (38)	.19	.01	TiII (39)
4585.82	.60	AlII (45)	.03	.01	
4588.22	.03	CrII (44)	.07	.01	
4588.98	.18	OI	.04	.01	
4589.89	.32	CrII (44)	.03	.01	TiII, OII
4592.05	.16	CrII (44)	.04	.01	
4593.44	.50	ArII (51)	.03	.01	FeI
4595.68	.11	FeII (38)	.04	.01	
4601.48	.23	NII (5)	.06	.02	
4602.99	.19	LI (6)	.06	.01	OII
4604.20	.25	—	.03	.02	
4605.35	.018	VII (56)	.04	.01	
4607.16	.20	NII (5)	.07	.02	VII
4611.35	.30	FeI (17)	.05	.01	
4613.89	.35	NII (5)	.07	.02	
4616.64	.38	CrII (44)	.07	.02	
4618.83	.20	CrII (44)	.09	.03	
4620.51	.26	FeII (38)	.06	.01	
4621.39	—	NII (5)	.09	.02	CrII
4625.91	.29	FeII (186)	.05	.01	
4629.34	.12	FeII (37)	.08	.01	TiII
4630.54	.12	NII (5)	.08	.02	
4634.09	.20	CrII (44)	.07	.02	
4635.33	.25	FeII (186)	.04	.02	
4637.25	.14	ArII (31)	.04	.02	

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

λ	$\Delta\lambda$	Ион, номер мультиплета	W_λ	ΔW_λ	Бленда	
4640.38	.20	AlII (69)	.08	.03	TiII	
4643.09	.20	NII (5)	.08	.02		
4644.65	.17	InII	.05	.02		
4648.23	.21	FeII (38)	.04	.01		
4649.14	.18	OII (1)	.03	.01		
4655.28	.16	OI (16)	.03	.01		
4656.97	.12	FeII (43)	.05	.01		
4659.38	.23	KII	.03	.01		
4660.93	.14	FeII (146)	.03	.01		
4663.70	.11	FeII (44)	.08	.02		
4666.75	.28	FeII (37)	.05	.01		
4667.28	.18	NII (14)	.05	.01		
4670.17	.26	FeII (25)	.05	.01		
4673.90	.18	OII (4)	.04	.01		
4679.87	.42	CrII (26)	.04	.01		
4683.77	.05	SiII (13)	.04	.01		
4699.21	.05	OII (25)	.04	.01		
4706.35	—	OII (25)	.05	.02		
4716.22	.11	SII (9)	.06	.01		MnII

ющийся разброс W_λ вызван в основном трудностью выделения абсорбционных линий из мощного и переменного эмиссионного фона. Из анализа рис. 1 мы заключаем, что данные табл. 1, полученные усреднением по фазам вне главного минимума, описывают звездный абсорбционный спектр системы.

Вклад линий второго компонента системы мы оценили, исследуя возможные дифференциальные эффекты в суммарном спектре. В случае β Lyr, если ненаблюдаемый компонент более холодный, в его спектре должны быть сильны линии CaII, FeII, FeI и должны отсутствовать линии NII, OII, SII, так что в суммарном спектре всей системы должен наблюдаться сдвиг линий CaII, FeI и нейтральных металлов относительно линий NII, OII, SII. Если же спутник более горячий, то картина сдвигов в суммарном спектре будет противоположна предыдущей. Этот же эффект блендирования отдельных групп линий от обоих компонентов системы, если суммарный спектр не разделяется, будет влиять на вид кривых лучевых скоростей. Для первого случая кривая лучевых скоростей, определенная по CaII и FeII, должна иметь меньшую амплитуду, чем определенная по линиям NII, OII и SII, во втором случае — наоборот. Тщательный анализ систем длин волн линий каждого элемента в пяти фазах не показывает какого-либо смещения линий одного типа относительно другого. Таким образом, можно утверждать, что измерялся спектр видимого компонента, не искаженный линиями спутника. К выводу об отсутствии абсорбционных линий спутника приводит и рассмотрение кривых лучевой скорости для β Lyr, полученных по разным ионам [9]. На основании всего изложенного можно заключить, что при анализе металлического спектра β Lyr в фазах от 0.1 до 0.9 можно пренебречь изменениями спектра и что измеренные нами эквивалентные ширины характеризуют атмосферу видимого компонента системы.

Основываясь на измеренных эквивалентных ширинах, мы провели анализ атмосферы видимого компонента системы β Lyr методом кривой роста. Системы сил осцилляторов, теоретическая кривая роста и метод анализа такие же, как в работе [10]. Для FeII, TiII, CrII и SiII были построены экспериментальные кривые роста, что дало возможность определить микротурбулентную скорость v_t и температуру возбуждения θ_{exc} по линиям этих ионов. В табл. 2 приведены v_t и θ_{exc} для фаз получения наших спектрограмм.

ТАБЛИЦА 2

Микротурбулентные скорости v_t и температуры возбуждения θ_{exc} для разных фаз и ионов

Ион	v_t , км/сек.					θ_{exc}				
	0.43	0.49	0.86	0.87	0.93	0.43	0.49	0.86	0.87	0.93
FeII	6.3	4.3	4.8	4.9	4.8	0.43	0.46	0.45	0.47	0.43
TiII	5.1	6.9	6.9	—	6.5	0.48	0.41	0.46	—	0.44
CrII	6.3	5.7	5.2	4.8	5.4	0.42	0.44	0.34	0.51	0.42
SiII	5.8	6.3	6.9	6.6	6.6	0.44	0.42	0.50	0.42	0.50

Различия в v_t и θ_{exc} для разных фаз и для разных ионов отражают, скорее всего, не только реальные вариации этих параметров, но и ошибки измерений и метода. Отделить одно от другого не представляется возможным, поэтому в дальнейшем мы используем средние значения $v_t=5.8$ км/сек. и $\theta_{exc}=0.45$.

ТАБЛИЦА 3

Относительное содержание химических элементов в атмосфере β Lyr

Элемент	$\lg N_E$		Элемент	$\lg N_E$		Элемент	$\lg N_E$	
	Кривая роста	Модель		Кривая роста	Модель		Кривая роста	Модель
H	—	12.00	Al	6.3	7.1	V	4.9	5.7
He	—	12.18	Si	7.6	8.8	Cr	4.0	4.9
C	8.8 (7.8)	8.6	S	8.5 (7.5)	8.5	Mn	—	—
N	9.0 (8.0)	8.8	Ar	8.0 (7.0)	8.5	Fe	7.4	7.8
O	10.3 (9.3)	10.1	Ca	6.2	7.1	Ni	—	—
Ne	5.6 (4.6)	5.6	Sc	4.5	5.3	Sr	4.7	4.7
Mg	6.9	7.9	Ti	5.6	6.4	Zr	4.1	4.9

В табл. 3 приведены данные об относительном химическом составе атмосферы компонента β Lyr, полученные методом кривой роста. Два ряда значений получаются в результате того, что при пересчете на полное содержание элемента нужно задавать значение электронного давления $\lg P_e$, которое лежит в пределах от 2.0 до 3.0. Цифры в скобках соответствуют значению $\lg P_e=3.0$.

Известно, что анализ методом кривой роста не отвечает на целый ряд вопросов. Для приведения обилий элементов в единую систему были проведены расчеты интенсивности линий металлов для моделей атмосфер. По результатам работы [1] атмосфера видимого компонента β Lyr лучше всего описывается моделью с $T_{эф}=12\ 000$, $\lg g=2.5$ и $N(\text{He})/N(\text{H})=1.55$. Полученная при анализе металлического спектра $\theta_{exc}=0.45$ подтверждает значение $T_{эф}=12\ 000$. Дополнительную проверку значения $\lg g$ мы провели, используя водородные линии H_9-H_{12} , практически свободные от эмиссии. Для моделей Клингесмита [11] был проведен расчет синтетического водородного спектра в области этих линий. На рис. 2 представлено сравнение наблюдаемых контуров с теоретическими, вычисленными для модели с $T_{эф}=12\ 000$, $\lg g=2.5$ и $N(\text{He})/N(\text{H})=1.5$. Учитывая, что расчет уширения по Гриму всегда дает усиленные крылья линий, согласие наблюдаемых и теоретических контуров на рис. 2 следует считать хорошим, при других параметрах модели расхождение только усиливаются. На рис. 3 сопоставлены наблюдаемые значения W_λ водородной линии H_{11} по данным работ [12—14] со значениями $\lg g$ для ряда звезд. Оценки $\lg g$ получены в основном на основе классов светимости по работе [15]. На рис. 3 видна четкая

ТАБЛИЦА 4

Теоретические значения эквивалентных ширин W_λ для модели с $T_{эф} = 12\,000$, $\lg g = 2.5$ и $N(\text{He})/N(\text{H}) = 1.5$

$[\lg N_E]$	-1.0	0	+1.0	$(W_\lambda)_{эксп}$
CaII λ 3933	0.236	0.330	0.650	0.64
MgII λ 4481	0.132	0.280	0.400	0.40
SiII λ 4131	0.124	0.217	0.338	0.35
SiII λ 3862	0.089	0.189	0.274	0.33
Si II λ 3853	0.031	0.121	0.221	0.26
CrII λ 4262	0.001	0.011	0.070	0.04
CrII λ 4252	0.0004	0.005	0.040	0.06?
FeII λ 4385	0.032	0.135	0.222	0.23
FeII λ 4233	0.095	0.197	0.269	0.23
FeII λ 3938	0.035	0.142	0.226	0.10?
SrII λ 4215	0.005	0.041	0.141	0.04
SrII λ 4077	0.009	0.061	0.168	0.07

корреляция W_λ и $\lg g$, и по этим данным значение $\lg g$ для β Луг лежит в области 2.0—3.0.

Таким образом, рассмотрение дополнительных факторов снова приводит нас к заключению, что атмосфера видимого компонента β Луг лучше всего описывается моделью с параметрами $T_{эф} = 12\,000$, $\lg g = 2.5$ и $N(\text{He})/N(\text{H}) \approx 1.5$. В табл. 4 приведены расчетные значения W_λ для ряда

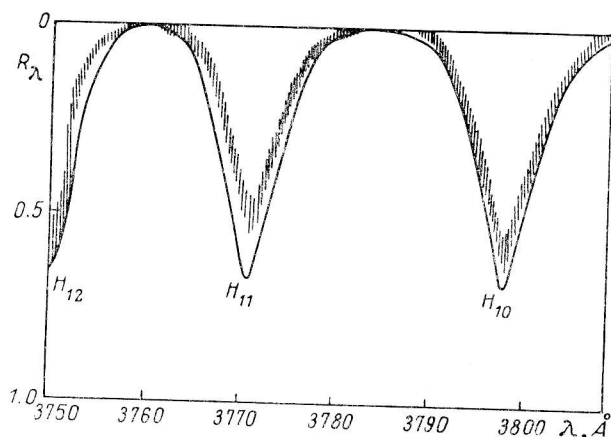


Рис. 2. Теоретические контуры H_{10} — H_{12} для модели с $T_{эф} = 12\,000$, $\lg g = 2.5$ и $N(\text{He})/N(\text{H}) = 1.5$.

Штриховкой показано положение наблюдаемых контуров для β Луг.

опорных элементов при изменяющемся содержании, там же приведены и наблюдаемые значения W_λ . Содержание элемента при $[\lg N_E] = 0$ задавалось из табл. 3, по данным кривой роста. Метод расчета изложен в [18]. Полученный с помощью модели атмосферы относительный химический состав приведен в табл. 3. Учитывая гелиевый состав атмосферы, для сравнения со стандартным обилием необходимо нормировать распределение элементов на единицу массы, воспользовавшись соотношением $\sum \mu_i N_i = N_H \sum \mu_i X_i = 1$. Здесь μ_i — молекулярный вес, X_i — содержание элемента по числу атомов относительно водорода. Используя данные о химическом составе Солнца из [16] и значения X_i для β Луг из табл. 3, получаем константу нормировки относительного химического состава β Луг для сравнения его с солнечным $(\lg N_n)_{\beta\text{Луг}} - (\lg N_n)_\odot = -0.733$. Нормирован-

ное таким образом распределение элементов в атмосфере β Луг приведено в табл. 5. Сопоставление полученного химического состава с данными для Солнца [16] и Проциона [10] представлено на рис. 4.

Сравнение кривой распределения элементов для β Луг и аналогичной для Солнца показывает, что химический состав β Луг, за исключением водорода и гелия, мало отличается от солнечного. Повышенное в среднем содержание тяжелых элементов у β Луг отражает, скорее всего, образование этой массивной системы из более богатой тяжелыми элементами среды, чем в случае Солнца. Анализ с помощью моделей атмосфер не подтвердил peculiarностей содержания Mg, Si и N, которые были найдены в работах [4, 5]. Содержания неона и хрома показывают дефицит на 2.5 и 1.5 порядка соответственно. Если для неона можно предполагать, что хотя бы частично дефицит возник из-за ненадежно определяемых W_λ слабых линий неона, то дефицит хрома выявляется вполне уверенно. Суммарное содержание углерода, азота и кислорода близко к солнечному. Однако в отличие от Солнца у β Луг обнаруживается меньшее содержание углерода по сравнению с азотом.

В целом химический состав β Луг по данным работы [1] и настоящей работы не противоречит картине, следующей из предположения, что эта

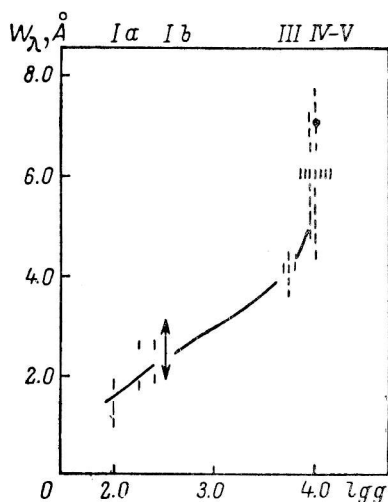


Рис. 3. Сопоставление W_λ линии H_{11} с $lg g$.

Стрелкой показаны значения для β Луг.

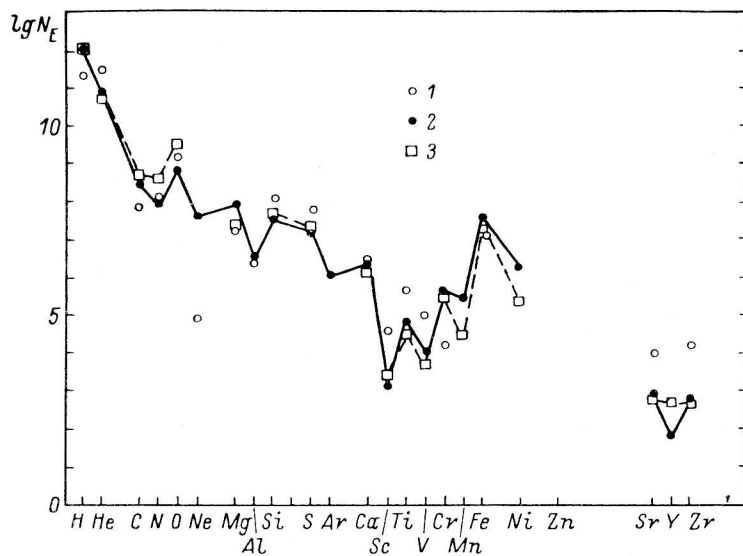


Рис. 4. Сравнение химического состава β Луг (1), Солнца (2) и Проциона (3).

система находится в конце стадии обмена массой в случае В (выгорание гелия в ядре первоначально более массивной компоненты, потерявшей водородную оболочку после заполнения полости Роша). Избыток гелия, более высокое содержание азота по сравнению с углеродом при нормальном содержании более тяжелых элементов показывают, что вещество атмосферы

ТАБЛИЦА 5

Химический состав атмосферы видимого компонента β Лyr

Элемент	$\lg N_E$	Элемент	$\lg N_E$	Элемент	$\lg N_E$	Элемент	$\lg N_E$
H	11.27	Ne	4.9	Ar	7.8	Cr	4.2
He	11.45	Mg	7.2	Ca	6.4	Fe	7.1
C	7.9	Al	6.4	Sc	4.6	Ni	—
N	8.1	Si	8.1	Ti	5.7	Sr	4.0
O	9.4	S	7.8	V	5.0	Zr	4.2

видимого компонента β Лyr испытало действие выгорания водорода в CNO-цикле. Для количественного сопоставления предписаний теории с наблюдениями с целью выяснения предыстории системы необходимо уточнение распределения элементов внутри CNO-группы. Для этого, скорее всего, необходимы спектральные наблюдения в ближней инфракрасной области, где малы эффекты блендирования. Кроме того, необходимо провести спектральные наблюдения с высоким разрешением систем, подобных β Лyr [17], с целью выяснения общих закономерностей изменения химического состава атмосфер, вещество которых испытало действие CNO-цикла.

Примечание при корректуре. Уточненное содержание неона близко к солнечному и составляет 7.7 в табл. 3 и 7.0 в табл. 5.

Список литературы

1. Леушин В. В., Невский М. Ю., Снежко Л. И., Соколов В. В. Водород и гелий в видимом компоненте двойной системы. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1977, 9, с. 3—15.
2. Pillans H. M. On the spectrum of β Lyrae. — *Astrophys. J.*, 1934, 80, N 1, p. 51—58.
3. Struve O., Zeberg V. The spectrum of B8 component of Beta Lyrae. — *Astrophys. J.*, 1959, 130, N 3, p. 817—831.
4. Боярчук А. А. Количественный анализ химического состава атмосферы яркого компонента β Лyr. — *Астрон. ж.*, 1959, 36, вып. 5, с. 766—778.
5. Hask M., Job F. Chemical composition of the atmosphere of β Lyrae. — *Z. Astrophys.*, 1965, 62, N 3, p. 203—216.
6. Зайдель А. Н., Прокофьев В. К., Райский С. М., Славный В. А., Шрейдер Е. Я. Таблицы спектральных линий. М., «Наука», 1969. 784 с.
7. Скульский М. Ю., Вовчик Е. Б. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектре β Лyr. — *Цирк. Львов. астрон. obs.*, 1971, № 45, с. 25—31.
8. Дадаев А. Н. Эквивалентные ширины и каталог спектральных линий главного и вторичного компонентов β Лyr. — *Изв. ГАО в Пулкове*, 1975, № 193, с. 41—64.
9. Sahade J., Huang S.-S., Struve O. — *Trans. Amer. Philosoph. Soc.*, New ser., 1959, 49, pt. 1.
10. Зенина И. А., Зенина О. А., Леушин В. В. Химический состав Пророна. Грубый анализ. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1976, 8, с. 25—40.
11. Kinglesmith D. A. Hydrogen-line blanketed model atmospheres. Washington, US Government Printing Office, 1971. (NASA SP-3065).
12. Копылов И. М. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 62 звезд B8—F2. — *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 1960, 22, с. 189—206.
13. Витриченко Э. А., Копылов И. М. Количественный анализ атмосфер горячих сверхгигантов. I. Сверхгиганты B8—A0. — *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 1962, 27, с. 241—266.
14. Леушин В. В. Водородные линии в спектрах пекулярных звезд. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1973, 5, с. 70—80.
15. Копылов И. М. Физические характеристики горячих звезд. — *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, 1967, 36, с. 134—155.
16. Hauge Ø., Engvold O. Compilation of solar abundance data. — *Repr. Inst. Theoret. Astrophys. Oslo*, 1977, N 49, 23 p.
17. Plavec M. Binaries possibly on rapid phathe of mass loss. — *Bull. Amer. Astron. Soc.*, 1971, 3, N 1, p. 13.
18. Снежко Л. И. К методике расчета контуров линий поглощения. — *Сообщ. Спец. астрофиз. obs.*, 1971, № 3, с. 3—16.