

СПЕКТР ОПТИЧЕСКОГО КОМПОНЕНТА ЛЕБЕДЯ X-1

*О. Э. Ааб, Л. В. Бычкова, И. М. Копылов, Р. Н. Кумайгородская,
Е. Л. Ченцов*

Проведено отождествление линий спектра HDE 226868 в области $\lambda\lambda$ 3500—6700 Å по спектрограммам, полученным на 6-м телескопе. Определены основные параметры абсорбционных линий — эквивалентные ширины, центральные глубины.

Identification is made of spectral lines of HDE 226868 in the region $\lambda\lambda$ 3500—6700 Å from the spectrograms obtained with the 6-m telescope. The main parameters of the absorption lines (equivalent widths, central depths) are determined.

I. Введение. Звезда HDE 226868 является оптическим компонентом сильного быстропеременного рентгеновского источника Лебедь X-1. В 1955 г. ее классифицировали как сверхгигант B0 Ib. В обзоре Пачинского [1] отмечены основные детали, наблюдающиеся в спектре: H_{α} - и H_{β} -линии, HeI и HeII, линии элементов C, N, O и Si, а также межзвездная K-линия. Вальборн [2] получил спектрограммы сверхгиганта HDE 226868 наряду со стандартами 19 Cep (O 9.5 Ib) и ϵ Ori (B0 Ia) и показал, что его спектральный класс и класс светимости — промежуточные между этими двумя сверхгигантами. Переменная эмиссия в линии HeII λ 4686 Å впервые обнаружена Хэмфрис [3] в 1971 г. Болтоном [4], Брукато и Кристианом [5] из поведения лучевых скоростей было найдено, что эта эмиссия образуется не в атмосфере звезды. В ряде работ подробно изучались эмиссия HeII λ 4686 Å [6—8], переменная линия H_{α} [9, 10], ультрафиолетовый [11] и инфракрасный [12] диапазоны.

В настоящей работе впервые предпринята попытка количественного детального исследования спектра оптического компонента Лебедя X-1 в синей и красной областях видимого диапазона ($\lambda\lambda$ 3500—6700 Å) по спектрограммам с высокой дисперсией. Получен достаточно полный список линий и их основных

ТАБЛИЦА 1

Юлианская дата 2 440 000+	Дисперсия, Å/мм	Спектральная область, Å	Юлианская дата 2 440 000+	Дисперсия, Å/мм	Спектральная область, Å
3090.20278	9	3900—5000	3792.29861	9	3900—5000
3092.17014	9	3900—5000	3793.19931	9	3900—5000
3093.14410	9	3900—5000	4004.47778	9 *	3900—5000
3094.19340	9	3900—5000	4154.27847	9	3900—5000
3530.64653	28 *	3900—5000	4155.16458	28	3900—5000
3566.56319	9	3900—5000	4155.20278	28	3900—5000
3709.48368	9 *	3900—5000	4155.25035	28	5000—7000
3613.51979	14	5000—7000	4184.13333	28	3900—5000
3625.44618	9	3900—5000	4184.18125	28	5000—7000
3637.47222	9	3900—5000	4388.46354	9	3900—5000
3772.21528	9	3900—5000	4415.44444	9	3900—5000
3772.40625	9	3900—5000	4446.43576	28	3900—5000
3773.23438	9 *	3900—5000	4446.51910	28	3900—5000
3773.36806	9	3900—5000	4485.31007	28	3500—7000
3792.22406	9	3900—5000	4485.39167	28	3500—7000

* Спектрограмма получена с зеемановским анализатором.

параметров. На основе этого материала проведена количественная двумерная спектральная классификация HDE 226868, результаты опубликованы в отдельной статье [13].

II. Наблюдения. Спектрограммы HDE 226868 получены на 6-м телескопе с помощью Основного звездного спектрографа. Использовались камера П с фокусом 600 мм, решетка 600''/мм с концентрацией света в 1-м и 2-м порядках, дисперсиями 9 и 14 Å/мм, пластинки Kodak ПаО, 103 аО, 103 аF. Высота спектров на пластинках 0.5—0.6 мм. Часть спектрограмм получена с дисперсией 28 Å/мм, 4 спектрограммы — с зеемановским анализатором. Сведения о наблюдательном материале содержатся в табл. 1. Калибровка спектров про-

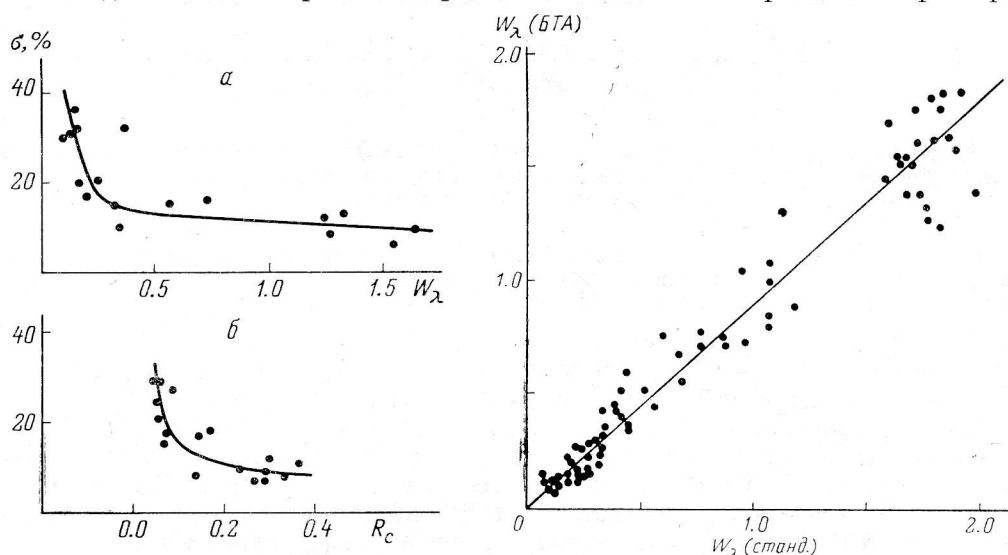


Рис. 1. Зависимости среднеквадратичной ошибки одного измерения эквивалентной ширины (а) и центральной глубины (б) от их величин.

Рис. 2. Связь систем эквивалентных ширин.

водилась на спектросенситометре ИСП-73: на пластинке впечатывались с одинаковой экспозицией через дырочные ослабители поочередно поля разной плотности либо использовался стандартный девятиступенчатый ослабитель. При тех же условиях получен ряд спектрограмм стандартных звезд: ϵ Ori (B0 Ia), α Cam (09.5 Ia), ζ Ori (09.5 Ib), 69 Cyg (B0 Ib), ρ Leo (B1 Ib), 10 Lac (O8 V).

III. Отождествление спектральных линий. Для отождествления линий абсорбционного спектра HDE 226868 были получены регистрограммы спектров на микрофотометре ИФО-451 с увеличением $20\times$ для дисперсий 9 и 14 Å/мм. Исследования этого прибора на воспроизведение и стабильность интервалов между линиями-реперами миллиметровой линейки на участке 5 мм показали, что ошибка воспроизведения их составляет менее 0.01 мм на 1 мм пластинки. Это означает, что на каждом участке 100 Å, внутри которого по сильным симметричным линиям звездного спектра строилась своя дисперсионная кривая, может накапливаться ошибка положения линии не более 1 Å. Записи 4 спектров в синей области ($\lambda\lambda$ 3900—5000 Å) и двух спектров в красной области ($\lambda\lambda$ 5000—7000 Å) практически равной плотности были усреднены для получения записи, в значительной мере очищенной от шумов фотоэмulsionии. По дисперсионной кривой на каждом участке были найдены положения всех деталей спектра, похожих по своему виду на линии, с точностью 0.1 мм (0.04 и 0.07 Å в синей и красной областях соответственно). Для ультрафиолетовой области спектра ($\lambda\lambda$ 3500—3900 Å) использовалась усредненная по двум спектрам с дисперсией 28 Å/мм запись с увеличением $50\times$. Точность измерения длин волн ограничивалась также несимметричной формой линий и реально

ТАБЛИЦА 2

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульти.	$\bar{\nu}\lambda$, Å	$\bar{\nu}_c$	n
1	3512.1	3512.51	HeI	38	0.121	0.058	2
2	31.0	30.49	HeI	36	0.168	0.065	2
3	36.5				0.164	0.098	1
4	39.0				0.108	0.050	1
5	45.0				0.132	0.065	2
6	54.4	54.39	HeI	34	0.193	0.090	2
		54.52	HeI	34			
7	68.0	68.53	NeII	9	0.074	0.032	1
8	79.2	79.04	CH ⁺	м. з.			
9	87.3	87.25	HeI	31	0.262	0.109	2
		87.40	HeI	31			
10	3600.0	99.37	HeI	30	0.128	0.070	1
11	13.5	3613.64	HeI	6	0.108	0.055	2
12	34.3	34.23	HeI	28	0.270	0.124	2
		34.34	HeI	28			
13	64.0	64.09	NeII	1	0.102	0.056	2
14	87.0	86.83	H ₁₉	4	0.117	0.048	2
15	92.8	91.56	H ₁₈	4	0.211	0.087	1
16	97.0	97.15	H ₁₇	3	0.169	0.064	2
17	3704.0	3703.86	H ₁₆	3	0.696	0.164	2
		05.07	HeI	25			
18	09.6	09.4	SiII	1	0.156	0.070	1
		09.5	OIII	21			
		09.6	NeII	1			
19	12.0	11.97	H ₁₅	3	0.590	0.131	2
20	21.4	21.94	H ₁₄	3	0.515	0.131	2
21	25.6	25.30	OIII	14	0.124	0.050	2
22	27.5	27.08	NeII	5	<0.02		
		27.33	OII	3			
23	33.7	34.37	H ₁₃	3	0.595	0.176	2
24	40.1	39.92	OII	31	0.031	0.030	1
25	49.8	50.15	H ₁₂	2	0.749	0.167	2
26	54.5	54.62	NIII	4	0.207	0.093	2
		54.67	OIII	2			
27	57.4	57.21	OIII	2	0.075	0.052	2
28	59.5	59.87	OIII	2	0.287	0.140	2
29	62.5	62.41	SiIV	3	0.055	0.030	1
		62.63	OII	31			
30	66.3	66.29	NeII	1	<0.02		
31	70.4	70.63	H ₁₁	2	1.213	0.237	2
32	73.7	73.13	SiIV	3	<0.02		
		74.00	OIII	2			
33	77.2	77.16	NeII	1	<0.02		
34	87.1				0.064	0.035	1
35	91.2	91.26	OIII	2	0.130	0.053	2
		91.41	SiIII	5			
36	97.9	97.90	H ₁₀	2	1.066	0.245	3
37	3806.0	3805.76	HeI	63	0.048	0.035	2
		06.54	SiIII	5			
38	11.0	10.96	OIII	2	0.063	0.040	1
39	13.5	13.50	HeII	4	0.040	0.035	1
40	19.4	19.61	HeI	22	0.608	0.197	3
		19.76	HeI	22			
41	29.1	29.77	NeII	39	0.108	0.050	1
		29.80	NII	30			
42	35.2	35.39	H ₉	2	1.353	0.268	6
43	38.5	38.32	SiII	5	<0.02		
		38.37	NII	30			
44	41.8	42.18	NII	30	0.056	0.040	1
45	48.2	47.89	OII	12	0.072	0.036	2
46	57.7	56.16	OII	12	0.094	0.033	1
		58.07	HeII	4			
47	64.4	64.45	OII	12	<0.02		
48	68.0	67.48	HeI	20	0.175	0.069	3
		67.63	HeI	20			
49	71.9	71.82	HeI	60	0.096	0.057	2
50	76.4	75.82	OII	13	0.077	0.044	2
		76.05	CII	33			

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульти.	$\bar{\nu}_\lambda$, Å	$\bar{\nu}_c$	n
		3876.19	CII	33			
		76.41	CII	33			
		76.67	CII	33			
51	3881.7	82.20	OII	12	0.038	0.031	5
52	89.0	89.05	H _s	2	1.209	0.268	14
53	3912.0	3911.96	OII	17	0.060	0.069	2
54	18.5	18.98	CII	4	0.062	0.046	2
		19.29	OII	17			
55	21.5	20.69	CII	4	0.032	0.042	2
56	23.9	23.48	HeII	4	0.099	0.051	2
57	26.0	26.53	HeI	58	0.172	0.072	5
58	28.5	28.61	SiII	8	<0.02		
59	33.5	33.66	CaII	м. з.			
60	36.0	35.91	HeI	57	0.038	0.038	2
61	37.8	38.52	NIII	8	0.045	0.032	2
62	39.3	39.57	NII		0.048	0.050	1
63	44.8	45.05	OII	6	0.057	0.030	1
64	51.8	52.06	CII	51	0.071	0.048	1
		52.59	FeIII				
		52.68	CII	51			
65	54.1	54.37	OII	6	0.095	0.070	1
66	56.9	56.55	SiIII		0.031	0.050	1
		56.66	SiIII				
67	57.5	57.71	CH ⁺	м. з.			
68	61.7	61.59	OIII	17	0.116	0.059	10
69	63.7	64.73	HeI	5	0.334	0.118	12
70	68.3	68.47	CaII	м. з.			
71	70.1	70.07	H _s	1	1.367	0.288	20
72	73.3	73.26	OII	6	0.266	0.130	2
73	79.8	80.32	CII	37	0.104	0.064	2
74	83.7	82.72	OII	6	0.230	0.102	2
		83.77	SiIII	8			
75	85.8	85.46	OII	22	0.104	0.068	2
		85.97	SiIII	8			
76	92.7				0.097	0.080	1
77	94.9	95.00	NII	12	0.131	0.064	4
78	98.5	98.69	NIII	16	0.120	0.052	9
79	4002.7	4003.64	NIII	16	0.187	0.075	4
80	05.0	05.04	FeIII	45	0.100	0.089	2
		05.64	FeIII	45			
81	09.0	09.27	HeI	55	0.317	0.114	21
82	26.2	26.19	HeI	18	0.730	0.246	21
		26.36	HeI	18			
83	29.6	28.79	SiII	45	0.080	0.068	1
84	32.1	32.81	SiII	59	0.042	0.032	1
85	33.8	33.87	FeIII		0.040	0.037	1
86	35.8	35.08	NII	39	0.093	0.057	3
87	41.3	41.31	NII	39	0.143	0.078	2
88	44.8	43.54	NII	39	0.093	0.055	1
89	49.3	48.22	OII	50	0.030	0.024	2
90	51.3	51.02	FeIII		0.082	0.045	1
		51.62	FeIII				
91	55.8	56.06	CIII	24	0.059	0.040	3
92	58.3	56.90	NII	39	<0.02		
93	60.7	60.58	OII	97	0.075	0.051	2
		60.98	OII	97			
94	63.9	64.11	SiIII	55	0.046	0.039	2
		64.45	SiIII				
95	68.5	67.94	CIII	16			
		68.91	CIII	16			
96	69.8	69.64	OII	10	0.363	0.107	15
		69.90	OII	10			
97	72.8	72.16	OII	10	0.147	0.071	7
98	75.2	75.87	OII	10	0.166	0.062	13
99	79.0	78.86	OII	10	0.060	0.043	2
100	81.0	81.10	OIII	23	0.057	0.040	2
101	83.8	85.21	OII	10	0.075	0.041	7
102	88.5	88.86	SiIV	1	0.690	0.245	22

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульт.	\bar{W}_λ , Å	\bar{E}_c	n
103	4092.5	4092.94	OII	10	0.050	0.045	2
104	93.8	93.22	FeIII		0.015	0.020	1
105	97.2	97.31	NIII	1	0.750	0.253	22
106	4101.5	4101.74	H _β	1	1.545	0.327	23
107	03.0	03.37	NIII	1			
108	10.4	10.20	OII	37	0.061	0.053	2
		10.80	OII	20			
		11.26	SiIII	35			
		11.51	SiIII	35			
109	12.5	12.03	OII	21	0.048	0.042	2
		13.82	OII	37			
110	16.1	16.10	SiIV	1	0.469	0.181	22
111	20.8	19.22	OII	20	0.282	0.093	21
		20.81	HeI	16			
		20.99	HeI	16			
112	27.0	26.52	FeIII		0.093	0.075	2
		27.00	FeIII				
113	29.2				0.072	0.033	1
114	32.2	32.81	OII	19	0.096	0.068	1
115	33.8	33.67	NII	65	0.066	0.055	2
116	38.3	37.93	FeIII	118	0.111	0.054	1
117	43.8	43.76	HeI	53	0.313	0.109	21
118	48.0	48.91	SiIII		<0.02		
119	53.3	53.30	OII	19	0.114	0.053	3
120	56.6	56.49	CIII	21	0.095	0.061	2
		56.76	CIII	21			
121	62.7	62.86	CIII	21	0.084	0.040	2
122	68.7	68.97	HeI	52	0.090	0.040	12
		69.23	OII	19			
		69.38	NII				
123	85.6	85.46	OII	36	0.172	0.060	7
124	86.3	86.90	CIII	18			
125	89.0	89.79	OII	36	0.092	0.048	2
126	95.0	95.70	NIII	6	0.090	0.036	11
127	4200.0	99.83	HeII	3	0.259	0.088	22
128	06.0	4206.43	NeII	53	0.026	0.031	2
129	12.0	12.44	SiIV	5	0.069	0.041	3
130	16.5	15.69	NIII	6	0.068	0.034	9
131	19.3	19.76	NeII	52	0.075	0.032	3
132	26.5	26.73	CaI	м. з.			
133	27.2	27.74	NII	33	0.043	0.033	1
134	32.3	32.57	CH ⁺	м. з.			
135	36.6	36.93	NII	48	0.133	0.044	3
136	41.6	41.78	NII	47, 48	0.118	0.052	3
137	53.3	53.59	SiIII	4	0.129	0.051	10
		53.74	OII	101			
		53.98	OII	101			
138	56.7	56.46	CIII		0.030	0.036	2
139	67.1	67.02	CH	6	0.101	0.045	16
		67.27	CII	6			
140	76.2	75.52	OII	67	0.123	0.044	11
141	85.0	83.70	SiIII		0.157	0.053	5
		84.51	NIII				
		84.99	SiIII	4			
		85.70	OII	78			
		85.70	CH	68			
142	88.8	88.21	NIII		0.051	0.032	2
		88.72	NIII				
143	90.7	90.40	NeII	57	0.108	0.040	4
144	91.8	91.25	OII	55			
145	94.5	94.82	OII	54	0.035	0.032	2
146	4300.2	4300.32	CH	м. з.			
147	04.5	03.82	OII	54	0.037	0.018	2
148	10.8	10.36	FeIII	121	0.045	0.039	2
149	13.4	14.10	SiIV	4	0.055	0.038	2
150	15.6	17.14	OII	2	0.119	0.041	11
151	19.0	19.63	OII	2			
152	26.7	25.77	OII	2	0.044	0.034	2

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульти.	\bar{w}_λ , Å	\bar{v}_c	n
153	4328.9	4328.22	SiIV	4	0.056	0.043	2
154	31.4	31.13	OII	66, 75	0.038	0.027	1
		31.47	OII	41			
		31.89	OII	41			
155	34.2	32.71	SIII	4	0.075	0.033	2
		32.76	OII	65			
156	40.5	40.47	H.	1	1.473	0.320	22
157	46.0	45.56	OII	2	0.218	0.068	5
158	49.7	49.43	OII	2	0.259	0.075	14
159	51.7	51.27	OII	16	0.088	0.050	2
160	54.6	53.60	OII	76	0.076	0.035	4
		53.66	NIII	10			
		54.56	SIII	7			
		55.28	SIII	61			
161	61.8	61.53	SIII	4	0.061	0.036	3
		61.85	CIII				
162	66.0	66.90	OII	2	0.110	0.042	4
163	68.7	69.28	OII	26	0.068	0.031	3
164	70.7	71.65	OII	76	0.044	0.033	2
165	74.5	74.27	CII	58	0.057	0.036	3
		74.98	NII	16			
		75.01	CII	75			
166	79.1	79.09	NIII	17	0.202	0.077	19
167	82.5	82.90	CIII	14			
168	84.0	83.54	CIII	14	0.038	0.032	2
169	87.9	87.93	HeI	51	0.416	0.141	22
170	92.0	91.94	NeII	57	0.108	0.040	5
171	95.0	95.95	OII	26	0.077	0.037	2
172	98.2	97.94	NeII	56	0.067	0.037	3
173	4409.2	4409.30	NeII	57	0.058	0.041	3
174	14.8	14.91	OII	5	0.080	0.041	4
175	16.5	16.98	OII	5	<0.02		
176	18.9	18.84	SIII	4	0.034	0.036	1
		19.59	FeIII	4			
177	27.2	27.24	NII	56	0.020	0.019	2
		27.96	NII	55			
178	31.9	32.74	NII	55	<0.02		
		33.48	NII	55			
179	37.3	37.55	HeI	50	0.060	0.027	2
180	42.2	41.99	NII	55	0.039	0.025	2
181	47.4	47.03	NII	15	0.073	0.043	4
182	52.2	52.38	OII	5	0.068	0.037	1
183	55.2				0.043	0.042	1
184	66.0	65.40	OII	94	0.047	0.043	2
185	67.6	67.88	OII	94	0.075	0.048	2
186	71.5	71.48	HeI	14	0.867	0.274	22
		71.69	HeI	14			
187	77.7	77.69	NII	21	0.031	0.030	2
		77.88	OII	88			
		78.48	SIII	7			
188	81.3	81.13	MgII	4	0.155	0.049	18
		84.33	MgII	4			
189	85.9	85.9	Эмиссия				
190	88.0	88.09	OII	104	0.020	0.022	2
191	91.7	91.25	OII	85	0.071	0.034	3
192	96.6				0.014	0.022	1
193	4501.2	4501.8	м. з.				
194	04.3	04.3	Эмиссия				
195	08.0	07.56	NII	21	0.026	0.017	3
196	10.9	10.92	NIII	3	0.192	0.077	20
197	14.9	14.89	NIII	3	0.219	0.082	21
198	18.0	18.18	NIII	3	0.071	0.039	11
199	22.3	22.66	NeII	68			
200	23.9	23.60	NIII	3	0.112	0.047	12
201	28.0	27.86	NIII	13	0.046	0.030	4
		27.96	SIII	7			
202	29.0	28.91	AIII	3	0.079	0.035	3
		29.18	AIII	3			

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульт.	$\bar{\nu}_\lambda$, Å	R_c	n
203	4534.6	4529.7	OIII	32			
204	41.6	34.57	NIII	3	0.137	0.050	20
205	46.4	41.59	HeII	2	0.252	0.086	21
206	52.6	47.34	NIII	3	0.081	0.040	8
207	67.8	52.62	SiIII	2	0.221	0.080	22
208	73.1	67.82	SiIII	2	0.186	0.065	20
209	74.7	73.14	FeIII				
210	79.5	74.76	SiIII	2	0.133	0.047	18
211	91.2	80.35	NeII	72	<0.02		
212	96.1	90.97	OII	15	0.142	0.049	8
213	4601.4	96.17	OII	15	0.090	0.037	4
214	06.6	4601.48	NII	5	0.078	0.034	3
215	10.1	07.16	NII	5	0.074	0.044	2
216	13.4	09.42	OII	93	0.147	0.054	12
217	20.6	13.87	NII	5	0.073	0.039	4
218	30.6	21.39	NII	5	0.072	0.043	2
219	34.0	30.54	NII	5	0.158	0.063	20
220	38.2	34.16	NIII	2	0.151	0.064	20
221	40.7	38.85	OII	1	<0.02		
		40.64	NIII	2	0.400	0.113	21
		41.81	OII	1			
		41.90	NIII	2			
222	47.4	47.42	CIII	1		0.181	21
223	50.8	49.14	OII	1		0.193	21
		50.25	CIII	1			
		50.85	OII	1	1.109		
		51.01	CIII	1			
		51.47	CIII	1			
224	54.4	54.32	SiIV	7	0.120	0.048	6
225	62.2	61.64	OII	1	0.114	0.040	13
226	66.4	65.86	CIII	5	0.111	0.045	9
227	73.8	73.75	OII	1	0.044	0.043	3
228	76.2	76.23	OII	1	0.092	0.042	10
229	85.7	85.68	HeII	1	Переменная эмиссия		
230	96.9	96.36	OII	1	0.056	0.030	3
231	99.1	99.21	OII	25,40	0.114	0.047	1
232	4703.8	4703.18	OII	40	0.039	0.029	3
233	05.2	05.36	OII	25	0.062	0.039	3
234	13.2	13.18	HeI	12	0.369	0.127	22
		13.37	HeI	12			
235	27.8	26		м. з.	0.154	0.619	13
		27.41	CII	48			
236	4861.3	4861.33	H β	1	1.265	0.281	15
237	4921.9	4921.93	HeI	48	0.595	0.181	19
238	5015.7	5015.68	HeI	4	0.433	0.136	3
239	48.7	47.74	HeI	47	0.218	0.070	1
240	53.6				0.097	0.045	1
241	94.7				0.070	0.033	1
242	5100.1	5100.71	FeIII		0.063	0.030	1
243	5411.5	5411.52	HeII	2	0.298	0.090	1
244	20.0	20		м. з.			
245	80.1				0.055	0.032	1
246	87.1	87.31		м. з.			
247	5505.1				0.122	0.040	1
248	34.4	5535		м. з.			
249	42.0	40.16	NII	63	0.038	0.025	1
		43.49	NII	63			
		44.6		м. з.			
250	44.5	92.37	OIII	5	0.258	0.07	1
251	92.4	5679.3	NII	3	0.080	0.025	1
252	5679.3	5679.56	CIII		Эмиссия		
253	95.9	95.92					
254	5705.1	5705.12		м. з.			
255	40.5	39.73	SiIII	4	0.098	0.030	1
256	45.2	47.29	NII	9	0.088	0.034	1
257	51.7				0.070	0.030	1
258	80.4	80.41		м. з.			
259	86.0	85.64	SiII		0.053	0.030	1
260	97.0	97.03		м. з.			

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ линии	λ , Å измеренная	λ , Å лабораторная	Элемент	Мульт.	\bar{W}_λ , Å	R_c	n
261	5801.2	5801.33	CIV	1	0.147	0.046	1
262	07.3	06.75	SiII	8	0.113	0.033	1
263	12.5	11.98	CIV	1	0.101	0.036	1
264	44.0	44.1		м. з.			
265	49.8	49.79		м. з.			
266	75.5	75.62	HeI	11	1.288	0.307	4
		75.65	HeI	11			
		75.99	HeI	11			
267	90.0	89.95	NaI	м.з.			
268	96.0	95.92	NaI	м. з.			
269	5900.0	5901.0	FeIII	115	0.099	0.037	1
270	08.0	08.25	SII	13	0.030	0.012	1
271	23.7				0.081	0.030	1
272	28.2	27.15	SII	21	0.036	0.018	1
		27.82	NII	28			
273	6010.5	6010.9		м. з.			
274	6195.6	6195.95		м. з.			
275	6203.1	6203.06		м. з.			
276	06.5	06.49		м. з.			
277	6310.5	6310.8	HeII	7	<0.02		
278	14.0	14		м. з.			
279	53.5	53.5		м. з.			
280	76.1	76.08		м. з.			
281	79.3	79.30		м. з.			
282	6406.2	6406.44	HeII	7	<0.02		
283	6527.2	6527.16	HeII		<0.02		
284	62.8	62.82	H α	1	Переменная эмиссия		
285	6613.6	6613.63		м. з.			
286	19.6				0.077	0.035	1
287	31.8	30.5	NII	41	0.069	0.030	1
288	78.2	78.15	HeI	46	0.955	0.214	4

составила 0.5 Å, за исключением очень асимметричных бленд, где ошибка достигала 1 Å. Аналогичная процедура была проделана для спектрограмм стандартных звезд. Отождествление большинства линий в спектре HDE 226868 было сделано с помощью списков Ламерса [14], Шольца [15], Андерхилл и де Гроота [16], Такады [17], а также таблиц Мур [18] и Стриганова и Свентицкого [19].

Отождествление, проведенное в спектре оптического компонента Лебедя X-1, представлено в табл. 2. Для тех бленд, в которых было возможно указать главную составляющую, приведено только ее отождествление, если же выбор не представлялся возможным, указаны все линии, образующие наблюдаемую абсорбционную деталь. Приведены и помечены буквами м. з. межзвездные линии. Лабораторные длины волн элементов CII, CIII, SiIII, NII, FeIII взяты из таблиц Стриганова и Свентицкого, остальное — из таблиц Мур.

IV. Измерение эквивалентных ширин и центральных глубин линий. Получение профилей и измерение эквивалентных ширин и центральных глубин линий для каждого спектра проводилось по регистрограммам, записанным на ИФО-451. Для проведения непрерывного спектра выбирались участки, свободные от линий на усредненном спектре. В табл. 2 приведены средние значения \bar{W}_λ и \bar{R}_c , в последнем столбце указано число спектрограмм, вошедших в среднее.

Случайная ошибка измерения W_λ и R_c отдельной линии определялась по стандарту 69 Cyg. На рис. 1 приведены зависимости среднеквадратичной ошибки одного измерения эквивалентной ширины (а) и центральной глубины (б) от величин W_λ и R_c . Для значений \bar{W}_λ и \bar{R}_c в табл. 2 ошибки меньше в \sqrt{n} раз, где n указано в последнем столбце.

Систематическая ошибка, которая может быть обусловлена рассеянным светом спектрографа, построением характеристической кривой, проведением непрерывного спектра и другими причинами, оценена путем сопоставления известных значений эквивалентных ширин с измеренными нами для звезд-

стандартов. На рис. 2 приведено сравнение нашей системы W_λ со стандартной системой Копылова [20]. Разброс точек в зависимости обусловлен ошибками в определении W_λ в обеих системах и спектральной переменностью «стандартных» сверхгигантов. Системы связаны соотношением $W_\lambda [\text{БТА}] = 0.91 W_\lambda [20]$.

Вопрос о масштабах и характере переменности абсорбционных и эмиссионных линий в спектре HDE 226868 с фазой орбитального периода, лишь частично затронутый в [13], требует особого детального рассмотрения.

В. Заключение. Детальное изучение спектра и определение параметров спектральных линий, естественно, необходимо для определения физических условий, кинематики и химического состава атмосферы оптического компонента Лебеда X-1. Сравнение этих данных с результатами аналогичного исследования спектров одиночных «стандартных» сверхгигантов близкого спектрального класса и светимости представляет значительный интерес с точки зрения изучения особенностей различных эволюционных стадий тесных двойных систем.

Авторы искренне признательны Е. А. Барсуковой за участие в получении спектрограмм и помощь при отождествлении.

Литература

1. Paczynski B. Evolutionary processes in close binary systems. — *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 1971, 9, p. 183—208.
2. Walborn N. R. The spectrum of HDE 226868 (Cygnus X-1). — *Astrophys. J.*, 1973, 179, L123—L124.
3. Bolton C. T. Dimensions of the binary system HDE 226868=Cygnus X-1. — *Nature Phys. Sci.*, 1972, 240, p. 124—127.
4. Bolton C. T. Orbital elements and analysis of model for HDE 226868 — Cyg X-1. — *Astrophys. J.*, 1975, 200, p. 269—277.
5. Brucato R., Kristian J. Spectroscopic observations of the optical candidate for Cyg. X-1. — *Astrophys. J.*, 1973, 179, L129—L133.
6. Hutchings J. B., Crampton D., Glaspey J., Walker G. A. H. Optical observations and model for Cyg X-1. — *Astrophys. J.*, 1973, 182, p. 549—557.
7. Bisiacchi C. F., Dultzin D., Firmani C., Hacyan S. On the interpretation of the HeII 4686 emission line in HDE 226868 (Cygnus X-1). — *Astrophys. J.*, 1974, 190, L59—L62.
8. Walker G. A. H., Yang S., Glaspey J. W. HeII 4686 emission in the spectrum of HDE 226868 (Cygnus X-1). — *Astrophys. J.*, 1978, 226, p. 976—983.
9. Hutchings J. B., Cowley A. P., Crampton D., Fahlmann G., Glaspey J. W., Walker G. A. H. H alpha emission in Cyg. X-1. — *Astrophys. J.*, 1974, 191, p. 743—748.
10. Hutchings J. B., Crampton D., Bolton C. T. H α emission in Cygnus X-1. 1977. — *Publ. Astron. Soc. of Pacific*, 1980, 91, p. 796—799.
11. Dupree A. K., Davis R. J., Gursky H., Hartmann L. W., Raymond J. C., Bogges A., Holm A., Kondo, Y., Wu C.-C., Macchetto F., Sandford M. C. W., Willis A. J., Wilson D., Ciatti F., Hutchings J. B., Johnson H. M., Jugaku J., Morton D. C., Treves A., Heuvel E. P. J. van den. IUE observations of X-ray sources: HDE 153919 (4U 1700—37), HDE 226868 (Cyg X-1), HZ Her (Her X-1). — *Nature*, 1978, 275, N 5679, p. 401—403.
12. Spada G., Ferrarri-Toniolo M., Natali G., Persi P., Saraceno P., Citterio O., Conti G., DiBenedetto P., Tanzi E. G. Osservazioni infrarosse del sistema HDE 226868/Cyg X-1. — *Mem. Soc. astron. Ital.*, 1977, 48, p. 770.
13. Ааб О. Э., Бычкова Л. В., Копылов И. М. Кумайгородская, Ченцов Е. Л. Спектроскопическое исследование оптического компонента Лебеда X-1. — Письма в АЖ, 1981, 7, с. 417—421.
14. Lamers M. J. The spectrum of the supergiant Orionis (B0 Ia). I. Identifications, equivalent widths, line profiles. — *Astron. Astrophys. Suppl.*, 1972, 7, p. 113—132.
15. Scholz M. Line spectra of eight O stars from λ 3059 to 6683. — *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1972, 7, p. 469—486.
16. Underhill A. B., de Groot M. The spectrum of 10 Lacertae. — *Rech. Astron. Obs. Utrecht*, 1965, 17, N 3.
17. Takada M. Spectroscopic study of two O-type supergiants, Alpha Camelopardalis and 19 Cephei: Model-atmosphere analysis. — *Publ. Astron. Soc. Japan*, 1977, 29, p. 439—476.
18. Moore C. E. A multiplet table of astrophysical interest. — *Contr. Princeton Univers. Obs.*, 1945, N 20.
19. Стриганов А. Р., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий. М., Атомиздат, 1966.
20. Копылов И. М. Эквивалентные ширины линий поглощения в спектрах 109 звезд O5—B7. — *Изв. Крымск. астрофиз. обсерв.*, 1958, 20, с. 123—155.