

УДК 524.33

*А. В. КУРЧАКОВ, Ф. К. РСПАЕВ*

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ cPNB[e] ЗВЕЗДЫ OY GEM

Приводятся спектрофотометрические и фотометрические данные, полученные для cPNB[e] звезды OY Gem за 2001–2006 гг. на высокогорной обсерватории Ассы-Тургень. В спектре присутствуют интенсивные линии H $\beta$ , H $\gamma$ , HeI, многочисленные линии FeII, а также запрещенные линии [FeII], [NII], [OI], [OII], [OIII], [SII]. Наблюдаются вариации максимума интенсивности линии Ha по отношению к непрерывному спектру (от 100 до 138). За это время эквивалентная ширина EW линии Ha изменялась в пределах 700  $\text{\AA}$ –955 $\text{\AA}$ , яркость в  $V=11^m.05$   $\pm$   $11^m.36$  звездной величины,  $(B-V)=0^m.32$   $\pm$   $0^m.38$ ,  $(V-R)=0^m.70$   $\pm$   $1^m.10$ . По нашим измерениям, видимо, имеется слабая тенденция изменения эквивалентной ширины EW линии Ha с блеском V и показателем цвета  $(B-V)$ : в среднем при увеличении EW блеск V уменьшается, а показатель  $(B-V)$  увеличивается. Проведен сравнительный анализ с ранее полученными данными.

OY Gem (MWC 162=HD 51585=IRAS 06556+1623) была впервые открыта Мерриллом и Беруэллом [1], которые нашли водородную и FeII эмиссии в ее спектре, причем водородные линии в 1933 г. имели профили типа P Cug. Алленом и Свингсом [2] она была классифицирована как принадлежащая к немногочисленному классу горячих эмиссионных звезд с сильным инфракрасным избытком и запрещенными линиями высокого возбуждения, напоминающих планетарные туманности (т.е. к типу V[e] звезд). В работе [7] было предложено пересмотреть классификационные критерии для V[e] типа звезд и определить пять классов звезд, которые показывают V[e] феномен. В этой же работе [7] для каждой из этих групп определены первичные и вторичные классификационные критерии, причем критерий наличия V[e] феномена остается тем же, что и ранее используемый для V[e] звезд, впервые введенным в 1976 г. Алленом и Свингсом [2]. Согласно этой классификации OY Gem отнесена к группе “cPNB[e] stars” или V[e] типу звезд компактных планетарных туманностей. cPNB[e] – это группа звезд, находящихся в эволюционной фазе маломассивных звезд, которые в будущем станут планетарными туманностями. В работе [3] было отмечено сходство cPNB[e] звезд со спектрами планетарных туманностей. Оптический спектр многих компактных планетарных туманностей показывает сильные бальмеровские эмиссионные линии и

эмиссионные линии FeII, а также запрещенные линии [FeII] и [CaII]. К тому же здесь могут находиться запрещенные линии и более высокоионизованных состояний, таких, как [OIII], [SIII], [NeIII]. Примерами могут служить известная туманность Бабочка M2-9 и протопланетарный инфракрасный источник Her3-1475. Многие из этих объектов показывают сильные ИК-избытки, что является характеристикой V[e] феномена [2].

Отождествление спектральных линий OY Gem в оптической и ближней ИК-областях проводилось рядом авторов [6,8–15]. Спектральный класс звезды был оценен как B0-B1 по интенсивностям эмиссионных линий H и HeI, по распределению энергии в непрерывном спектре, а также по положению звезды на двухцветной диаграмме U–B, B–V в предположении, что избыток цвета  $E(B-V)$  составляет  $0.^m5$  –  $0.^m6$  [5,6,16]. Архиповой [5] была предложена гипотеза, что OY Gem является проэволюционировавшей звездой промежуточной начальной массы, движущейся влево на диаграмме Герцшпрунга–Рессела, возможным протопланетарным объектом. Авторы работы [15] пришли к выводу, что распределение энергии в спектре звезды показывает наличие трех источников излучения: звезда с температурой 28000 K, горячая пыль с  $T=1100$  K и холодная пыль с  $T=180$  K. Они выполнили оценки следующих звездных параметров:  $M_* = 0.62 M_\odot$ ,  $L_* = 6190 L_\odot$ ,  $\log g = 3.42$ , рас-

Таблица 1

JD2450000+	EW(H $\alpha$ ) Å	FW(0.1), км/с	I <sub>max</sub>	V	B-V	V-R
2233.4375	864.2	781.7	119.75			
2236.4201	857.0	786.2	116.87			
2255.3347	865.4	809.1	113.53			
2256.3111	881.4	781.7	121.17			
2290.1854	895.0	795.4	123.22			
2314.2618	836.6	777.1	116.53			
2315.1951	847.5	777.1	118.09			
2316.2632	879.1	768.0	125.85			
2317.2778	865.6	786.2	120.80			
2589.4653	870.6	777.1	122.87	11.24	0.34	0.77
2615.4056	845.4	754.3	121.73	11.26	0.30	0.77
2646.2694	952.7	758.8	138.51	11.26	0.34	0.76
2648.2757	955.7	768.0	136.59	11.24	0.35	0.74
2668.2083	884.8	749.7	131.47	11.34		0.70
2672.2139	893.9	731.4	134.91	11.27	0.34	0.76
2674.1722	929.1	777.1	133.35	11.25	0.34	0.73
3001.3347	753.5	772.5	111.67	11.15	0.33	1.09
3023.2424	789.2	740.5	116.71	11.16	0.32	1.08
3322.4097	765.0	786.2	115.11	11.17	0.32	1.10
3323.3958	703.6	777.1	100.06	11.15	0.30	1.08
3703.3892	831.2	868.5	104.6	11.26	0.31	1.11
3795.2076	868.0	767.9	127.6			

стояние  $D=2.1$  кпс и скорость потери массы  $DM=1.4 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{год}$ .

**Наблюдения.** Спектральные и фотометрические наблюдения проведены на 1-м телескопе высокогорной обсерватории Ассы-Тургень в сентябре 2001 – феврале 2006 г. Результаты наблюдений линий H $\beta$  и фотометрия за период 2001–2004 гг. частично приведены в работе [4].

**Спектрофотометрия.** Спектральные наблюдения выполнены с помощью спектрографа UAGS и ПЗС матрицы ST-8 размером 1530 x 1020 пикселей. Размер пикселя 9 x 9 мкм. Обратная дисперсия 0.5 Å/пс. Ширина щели  $3. \mu\text{m} = 3$  пикселя. Исследования спектра OY Gem проводились в основном в области линий H $\beta$  и H $\gamma$ . Плоское поле для спектрофотометрии получалось от купола, освещаемого обычной лампой накаливания. Редукций за инструментальный контур не проводилось. Эквивалентные ширины эмиссионной линии H $\beta$  найдены без учета блендирования их линиями поглощения. Время выдержки для исследуемой звезды составляло 30 мин.

**Фотометрия.** Фотометрические BVRI данные были получены с помощью ПЗС матрицы ST-7 и исправлены за плоское поле, получаемое от сумеречного неба. В качестве звезд сравне-

ния для OY Gem использовались звезды из каталога [19]: HD 53110 (Sp A2;  $V=7^m.442$ ;  $(B-V)=0^m.107$ ;  $(V-R)=0^m.090$ ) и HD 53588 (Sp B9;  $V=7^m.183$ ;  $(B-V)=-0^m.102$ ;  $(V-R)=-0^m.064$ ).

Фотометрические и спектральные данные, полученные для OY Gem за период 2001–2006 гг., приведены в табл. 1. В столбцах табл. 1 даны: юлианская дата наблюдений, всемирное время, эквивалентная ширина EW(H $\beta$ ) эмиссионной части линии H $\beta$  (в Å), полная ширина, выраженная в км/с, при 0.1 интенсивности максимума FW(0.1), интенсивность максимума линии относительно непрерывного спектра, звездная величина в V, показатели цвета (B–V) и (V–R) соответственно. Как видно из табл. 1, в процессе наблюдений блеск объекта в полосе V изменялся в пределах  $11.^m05 \text{--} 11.^m34$ , а показатели цвета (B–V) =  $0.^m30 \text{--} 0.^m38$ , (V–R) =  $0.^m70 \text{--} 1.^m11$ .

Результаты спектральных наблюдений линии H $\gamma$  приведены в табл. 2. В столбцах табл. 2 даны: юлианская дата наблюдений, эквивалентная ширина EW(H $\gamma$ ) эмиссионной части линии H $\gamma$  (в Å), полная ширина, выраженная в км/с, при 0.1 интенсивности максимума FW(0.1), интенсивность максимума линии относительно непрерывного спектра.

Таблица 2

JD2450000+	EW(H $\beta$ )Å	FW(0.1), км/с	I <sub>max</sub>
2233.4611	83.1	357.9	33.58
2236.3979	85.1	407.3	29.47
2256.2875	77.7	382.6	27.27
2315.2708	86.1	401.1	29.41
2316.2868	91.2	388.8	32.74
2672.1722	81.5	357.9	33.27
2674.2014	78.5	345.6	32.24
3324.3507	63.4	407.3	22.90
3703.4125	78.2	388.8	28.50
3795.2333	73.8	365.3	28.70

В табл. 3,4 приводятся юлианская дата наблюдений, эквивалентная ширина EW и интенсивность максимума I<sub>max</sub> избранных линий относительно непрерывного спектра.

**Обсуждение результатов.** Немногочисленные UVV фотометрические наблюдения OY

Gem собраны в табл. 1 работы [5] и представлены несколькими измерениями 1968, 1973, 1987 и 1988 гг. Наши фотометрические BVR наблюдения этой звезды охватывают период 2002–2005 гг. и приведены в табл. 1. Как видно из этой таблицы, в течение октября 2002 – февраля 2003 гг. звезда незначительно изменяла свой блеск и показатели цвета. В декабре 2003 – ноябре 2005 гг. OY Gem показала увеличение блеска в полосе V приблизительно на 0.<sup>m</sup>1 по сравнению с ранее полученными данными. При этом показатель (B-V) остался практически прежним, а показатель (V-R) увеличился приблизительно на 0.<sup>m</sup>3. В это же время наблюдается значительное уменьшение эквивалентных ширин линий H $\beta$  и H $\gamma$ . Вероятно, такое поведение связано с увеличением оптической толщи в линиях вследствие сброса оболочки.

Таблица 3

JD 2450000+	HeI(λ4922)		FeII(λ4924)		HeI(λ5016)		FeII(λ5018)		OIII(λ4959)		OIII(λ5007)	
	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>
2233.4611	1.84	1.17	2.27	1.55	2.38	1.69	3.17	2.29	2.11	0.52	4.56	1.69
2236.3979	1.99	0.93	2.95	1.88	2.41	1.52	3.72	2.71	0.86	0.37	5.87	2.36
2256.2875	1.23	0.75	2.44	1.60	2.00	1.46	3.50	2.08	1.25	0.55	4.58	1.43
2315.2708	1.95	1.28	2.24	1.66	2.46	1.42	3.55	2.41	1.38	0.44	4.85	1.18
2316.2868	1.24	0.61	2.58	1.73	2.13	1.42	3.99	2.99	1.49	0.35	4.56	1.49
2672.1722	1.68	0.68	2.73	2.01	1.92	1.37	3.39	1.92	0.52	0.40	1.29	0.90
2674.2014	0.74	0.56	2.31	2.06	1.45	1.25	2.25	1.77	0.37	0.30	3.82	1.59
3324.3507	0.92	0.63	2.58	1.38	1.65	1.13	2.70	1.74	1.69	0.48	4.38	1.19

Таблица 4

JD 2450000+	OI(λ6300)		OI(λ6364)		FeII(λ6433)		HeI(λ6678)		HeI(λ7065)		
	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW	I <sub>max</sub>	EW(em)	EW(PCyg)	I <sub>max</sub>
2233.4375	-	-	2.23	1.74	1.57	1.16	6.19	2.49	11.80	0.15	5.17
2236.4201	-	-	2.34	1.63	1.39	0.86	6.28	2.32	11.62	0.44	5.15
2255.3347	-	-	2.64	1.49	1.39	0.77	6.58	2.62	11.86	0.13	5.11
2256.3111	-	-	2.13	1.46	1.31	1.02	7.08	2.62	11.70	0.24	4.99
2290.1854	-	-	2.71	1.82	1.36	1.01	5.70	2.29	11.85	0.03	5.04
2314.2618	7.47	4.58	2.50	1.56	1.59	0.96	5.25	2.24			
2315.1951	7.09	5.09	2.63	1.84	1.97	1.23	5.83	2.38			
2316.2632	7.25	4.55	2.81	1.71	2.01	1.10	5.22	2.12			
2317.2778	7.52	5.21	2.53	1.46	1.68	1.21	5.46	2.57			
2589.4653	7.74	5.71	2.99	2.37	1.57	1.05	5.96	2.47			
2615.4056	7.00	4.48	2.30	1.50	1.72	0.73	5.27	2.25			
2646.2694	7.37	5.55	2.52	1.83	1.32	0.90	6.56	2.68			
2648.2757	8.37	6.34	2.68	1.94	1.78	1.14	6.34	2.58			
2668.2083	6.78	4.79	2.86	1.84	1.91	1.18	5.48	2.21			
2672.2139	6.43	4.91	1.66	0.89	1.17	1.14	6.33	2.77			
2674.1722	6.93	5.06	2.22	1.46	2.26	1.26	6.09	2.59			
3001.3347	5.89	4.17	2.65	1.67	1.53	0.96	5.01	2.15			
3023.2424	5.99	3.96	2.41	1.43	1.58	1.15	5.38	2.21			
3322.4097	6.51	4.47	2.39	1.45	1.78	1.05	4.60	2.04			
3323.3958	5.42	3.31	1.95	1.32	1.20	0.82	4.27	1.70			

Отчетливой корреляции блеска  $V$  от показателя цвета ( $B-V$ ) не наблюдается, как это отмечалось и в работе [15].

На рис. 1 показаны зависимости эквивалентной ширины линии  $H\beta$  от блеска  $V$  и показателя цвета ( $B-V$ ) по нашим наблюдениям. Как видно, имеется некая тенденция к изменению эквивалентной ширины  $EW$  линии  $H\beta$  с блеском  $V$  и показателем цвета ( $B-V$ ): в среднем при увеличении  $EW$  блеск  $V$  уменьшается, а показатель ( $B-V$ ) увеличивается.

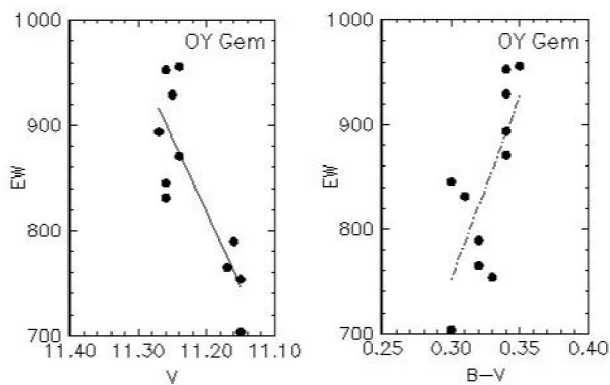


Рис.1

Все спектры получены в районе линий  $H\beta$  и  $H\gamma$ . На рис. 2 приведены характерные спектры этих областей

**Водород.** Линии бальмеровской серии  $H\beta$  и  $H\gamma$  очень сильны. Обе линии имеют двухкомпонентный профиль с центральной абсорбцией. Как для линии  $H\beta$ , так и для линии  $H\gamma$  красная компонента имеет значительно большую интенсивность по сравнению с синей. Отношение интенсивностей красной и синей компонент  $R/V$  имеет тенденцию к росту величины. Для линии  $H\beta$  величина  $R/V$  в ноябре–декабре 2001 г. составляла 2.23, в январе–феврале 2002 г. – 2.38, в ноябре 2002 – феврале 2003 г. – 2.40, в декабре 2003 – ноябре 2004 г. – 2.62 и в ноябре 2005 г. – феврале 2006 г. – 2.61. Для линии  $H\gamma$  наблюдаются еще более значительные изменения – от 4.0 в ноябре – декабре 2001 г. до 6.24 в феврале 2006 г. Разделение пиков для линии  $H\beta$  составляет приблизительно 180 км/с, для линии  $H\gamma$  – около 125 км/с. Следует подчеркнуть, что двухкомпонентные профили бальмеровских линий от  $H\beta$  до  $H\delta$  с разделением пиков 150 км/с и профили типа P Cyg для более высоких членов серии были отмечены только в работе Клютца и Свингса [14] для их наблюдений, проведенных между

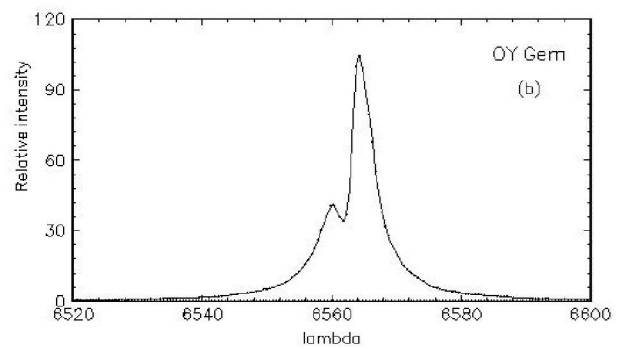
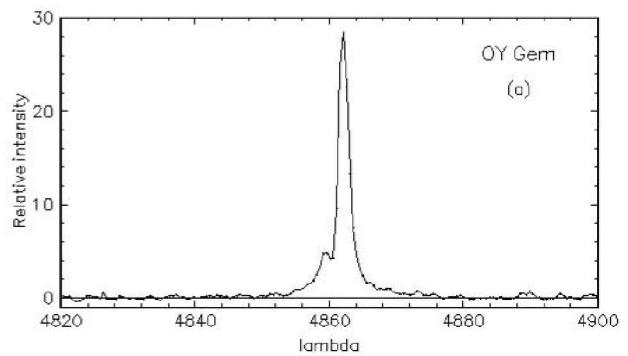


Рис. 2

1971 и 1976 гг.

Эквивалентная ширина линии  $H\beta$  в период наблюдений изменялась в пределах  $EW = 700 \div 955$  Е, линии  $H\gamma$  – от 63 до 91 Е. Полная ширина линии при 0.1 интенсивности максимума варьировалась в диапазоне: для линии  $H\beta$  – от 730 до 810 км/с, для линии  $H\gamma$  – от 345 до 407 км/с. Интенсивность максимума относительно непрерывного спектра находится в диапазоне: для линии  $H\beta$  – от 100 до 138, а для линии  $H\gamma$  – от 23 до 33. У линий  $H\beta$  и  $H\gamma$  отсутствуют какие-либо признаки наличия P Cyg профиля.

**Гелий.** Присутствуют сильные линии He I – лл 4922, 5016, 6678, 7065. Линия л4714 слаба. Линии He I имеют характерный P Cyg профиль с абсорбцией, смещенной в синюю сторону. В спектрах присутствуют слабые линии ионизованного He II – л 4686 и л 6234.

**Железо.** Наибольшее число линий, присутствующих в спектре, разрешенные и запрещенные линии Fe II.

**Кислород.** В спектрах имеются линии [OI], [OIII], OI.

**Кремний.** Имеются две разрешенные линии Si II – линия л6347 и линия л 6370, которая блендируется линией Fe II.

**Азот.** Запрещенная линия [NII] присутству-

Таблица 5

$\lambda$	1948 [17]	1959 [9]	1964 [5]	1965- 1973 [6]	1980 [16]	1987 [5]	1989- 1992 [15]	1991- 1993 [18]	2001-2006 [данная работа]
H $\alpha$	2.17	>88	500	400	780	1072	550		705-955
H $\beta$		18.5	43	96	120	95	60	62.5	65-91
4363 [OIII]		0.7						1.26	
4922 HeI							3.1	2.59	0.7-2.0
4924 FeII									2.3-3.0
4959 [OIII]							1.6		0.4-2.1
5007 [OIII]				4.8			3.7	1.89	3.8-5.9
5016 HeI								1.42	1.4-2.5
5019 FeII								2.68	2.2-4.0
5876 HeI		2.9				11.5	7.6		
6300 [OI]								8.09	5.4-8.4
6364 [OI]								2.78	1.7-3.0
6433 FeII								1.61	1.2-2.3
6678 HeI							7.0		4.3-7.1
7065 HeI				12.0		27.1	14.0	8.1-13	11.8

ет на красном крыле линии H $\beta$  с л 6584.

*Сера.* Запрещенные линии [SII] иногда появляются в красной части спектра с л 6717 и л 6731.

Для ряда избранных эмиссионных линий получены эквивалентные ширины (см. табл. 1–4). Диапазон их изменения для HD 51585 в 2001–2006 гг. представлен в табл. 5 в сравнении с ранее полученными эквивалентными ширинами другими авторами в разные годы. В таблице даны год(ы) наблюдения, ссылка на литературный источник и длина волны наблюдаемой эмиссионной линии.

Как видно из табл. 5, эквивалентные ширины эмиссионных линий сильно изменяются от года к году. Особенно наглядно это иллюстрируется изменением эквивалентных ширин водородных линий. Так, для линии H $\beta$  происходит значительный рост с 1948 по 1987 г. В 1987–1992 гг. наблюдается резкий спад [15]. Наши наблюдения 2001–2006 гг. показывают следующую картину: средняя эквивалентная ширина в ноябре 2001–феврале 2002 г. составляла 870 Å, в ноябре 2002 – феврале 2002 – 905, а в декабре 2003 – ноябре 2004 – 750, в ноябре 2005 – феврале 2006 – 850. Между отдельными датами данного периода наблюдений изменение эквивалентных ширин линии H $\beta$  достигало фактора 1.35. Для других эмиссионных линий этот фактор еще больше. Для линии He I л7065 имеется всего лишь пять спектрограмм, полученных в ноябре 2001 – январе 2002 г. В течение этого периода линия не претерпевала каких-либо значительных изменений, и для нее в таблице приведена только средняя

величина.

*Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Merrill P.W., Burwell C.G. // *Astrophys. J.* 1933. 78, 87.
- Allen D.A., Swings J.P. // *Astron. & Astrophys.* 1976. 47, 293.
- Swings J.P., Andrillat Y. // *Astron. & Astrophys.* 1979. 74, 85.
- Kurchakov A.V., Rspaev F.K. // *Astronomy and Astrophysical Transactions*, August 2005. V. 24, N 4. 317-325.
- Архипова В.П. // *Письма в АЖ.* 1989. Т.15. С.925.
- Andrillat Y., Houziaux L. // *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege. Ser. VI*, 1973. V5. P.377.
- Lamers H.J.G.L.M., Zickgraf F.-J., Winter D.de, et al. // *A&A*, 1998. 340, 117.
- Allen D.A. // *MNRAS*, 1973. 161, 145.
- Архипова В.П. // *АЖ.* 1962. Т.39. С.363.
- Beals C.S. // *Publ. DAO.* 1951. V.9. P.1.
- Houziaux L., et al. // *IAU Symp.98.* / Jaschek M. And Groth H.L. (eds.) 1982. P. 427.
- Ciatti F., d'Odorico S., Mammano A. // *Astron. & Astrophys.* 1974. 34, 181.
- Andrillat Y., Swings J.P. // *Astrophys. J.* 1976. 204. L123.
- Klutz M., Swings J.P. // *Astron. & Astrophys.* 1977. 56, 143.
- Архипова В.П., Иконникова Н.П. // *Письма в АЖ.* 1992. Т.18. С.1018.
- Архипова В.П., Инатов А.П. // *Письма в АЖ.* 1982. Т.8, С.554.
- Beals C.S., Hatcher R.D. // *Cont. Dom. Obs. Ottawa* 2. 1948. N.1.
- Jaschek C., Andrillat Y., Jaschek M. //

Astron.&Astrophys.Suppl., 1996. 117. 281.

19. Корнилов В.Г., Миронов А.В., и др. // Труды ГАИШ. 1991. Т.63. 400 с.

### Резюме

Ассы-Түрген жоғары биік таулы обсерваториясында 2001–2006 жж. аралығында ОУ Gem cPNB[e] жұлдызы үшін алынған спектрфотометрлік және фотометрлік магнұматтар келтірілді. Спектрде H $\delta$ , H $\gamma$  және HeI, әрі көпсандық FeII қарқынды сызықтары қатысады. үзіліссіз спектрге қатысты H $\delta$  сызығының қарқындылық вариациялары (100-ден 138-ге дейін) байқалады. Бұл уақытта H $\delta$  сызығының баламалы ені 700  $\text{\AA}$  955E маңында, жарықтылығы  $V = 11.^m05$   $\text{\AA}$   $11.^m36$ , түс көрсеткіші  $(B-V) = 0.^m32$   $\text{\AA}$   $0.^m38$ ;  $(V-R) = 0.^m70$   $\text{\AA}$   $1.^m10$  болып жұлдыздық шамасы өзгерді. H $\delta$  сызығының баламалы енін жұлдыздың  $(B-V)$  түс көрсеткішінің және  $V$  жарықтылығының анық корреляциялары болады. Бұры-

нырақта алынған мәліметтермен салыстырмалы талдау жасалды.

### Resume

In the paper the spectrophotometric and photometric data, received for cPNB[e] OY Gem star during 2001-2006 years at highmounting Assy-Turgen observatory are given. In spectra the H $\delta$ , H $\gamma$ , HeI, numerous FeII intensity lines and forbidden [FeII], [NII], [OI], [OII], [OIII], [SII] lines are presented. The variety of H $\delta$  lines intensity relatively to continuum (from 100 to 138) is observed. For this time the H $\delta$  line equivalent width EW is changed in the limits 700  $\text{\AA}$  955E, the brightness in range  $V = 11.^m05$   $\text{\AA}$   $11.^m36$ ;  $(B-V) = 0.^m32$   $\text{\AA}$   $0.^m38$ ;  $(V-R) = 0.^m70$   $\text{\AA}$   $1.^m10$ . On our measurements there are the weak correlation's of H $\delta$  line equivalent width EW with star's brightness  $V$  and colour index  $(B-V)$ : on the average at the increasing of EW the  $V$  is decreased and  $(B-V)$  color index is increased. The compared analysis with earlier received data is made.

Астрофизический институт  
им. В. Г. Фесенкова МОН РК,  
г. Алматы

Поступила 20 апреля 2006 г.