

УДК 524.338.2

## Активные Ве-звезды

В. Д. Кругов

Приводятся результаты спектроскопических наблюдений активных Ве-звезд: 28 Cyg, CX Dra и  $\lambda$  Cyg. Для профилей линий  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  получены величины  $E/C$ ,  $V/R$  и  $W$ . У 28 Cyg и CX Dra обнаружены быстрые изменения эмиссии в линии  $H_{\alpha}$ . Наряду с быстрыми изменениями общей интенсивности эмиссии у CX Dra наблюдалось исчезновение эмиссионных линий.

*ACTIVE Be STARS, by Krugov V. D.*—Spectroscopic observational data of active Be stars 28 Cyg, CX Dra, and  $\lambda$  Cyg are presented.  $E/C$ ,  $V/R$  and  $W$  values for  $H_{\alpha}$  and  $H_{\beta}$  profiles were obtained. 28 Cyg and CX Dra show rapid variations of emission in  $H_{\alpha}$ . While showing rapid variation in total intensity of emission, CX Dra demonstrated full disappearing of emission in  $H_{\alpha}$ .

Хотя наблюдения Ве-звезд ведутся уже в течение более ста лет, динамика их образования и эволюции до сих пор не ясна. В последние годы с ИСЗ *Sorernpicus* и IUE были получены новые данные, которые позволили изучать динамику, структуру, размеры и термодинамику околозвездной оболочки. Но пока нет четкого ответа на вопрос, почему только некоторые В-звезды, а именно Ве-звезды, обладают околозвездной оболочкой.

По-видимому, только в рамках модели двойной звезды можно правдоподобно ответить на этот вопрос [7]. Однако в обзоре [11] отмечается, что вследствие немногочисленности использованных в работе [7] двойных звезд, нельзя говорить о достоверности этого представления. Многие Ве-звезды являются членами скоплений (например, Плеяд), и установлено, что на диаграмме Г—Р Ве-звезды лежат выше и правее соответствующих звезд нулевой главной последовательности [11]. Эволюцию звезды можно правильно понять лишь при учете наличия оболочки и быстрого вращения звезды, которые заметно влияют на ее основные свойства. Вследствие этого массы, температуры, радиусы, светимости и эволюционное положение Ве-звезд до сих пор известны с недостаточной точностью. Один факт хорошо изучен: классические Ве-звезды вращаются быстрее нормальных В-звезд, но не ясно, почему быстровращающиеся звезды в большем количестве встречаются среди звезд спектрального класса В, чем среди звезд других классов.

Возросшие инструментальные возможности позволяют исследовать спектроскопическую переменность многих Ве-звезд. Так, в работе [3] сообщается о систематических (1980—82 гг.) спектральных наблюдениях большого числа ( $\sim 100$ ) звезд, названных активными, поскольку у них обнаружены и детально описаны изменения профилей линии  $H_{\alpha}$ . По мнению автора работы [3], эти звезды следует включить в программы спектроскопических, фотометрических и поляриметрических наблюдений.

В программу наших спектроскопических наблюдений входили следующие активные Ве-звезды: CX Dra,  $\lambda$  Cyg и 28 Cyg. Наблюдения проведены в 1982—1984 гг. Результаты приводятся в данной статье.

**Наблюдения.** Наблюдения ярких Ве-звезд проводились в Голосеево на 70-см телескопе АЗТ-2, а также на 60-см рефлекторе ВНБ «Терскол» с помощью спектрографа UAGS в двух областях спектра: 350—500 нм и 500—700 нм (эмульсии Eastman Kodak 103a-O и 103a-F) с дифракционными решетками, характеристика которых приведена в табл. 1. Все наблюдения проводились при размерах щели спектрографа

0.12×2.5 мм. При этом красная область спектра звезды 6.0<sup>m</sup> получалась за 90 мин с дифракционной решеткой 651/28°. Проявление пластинок осуществлялось в стандартном проявителе MWP-2. Для калибровки спектров использовался стандартный ступенчатый ослабитель (девять градаций плотности). Характеристические кривые строились для исследуемых длин волн спектральных линий H<sub>α</sub>, H<sub>β</sub>, H<sub>γ</sub> и H<sub>δ</sub>. Все

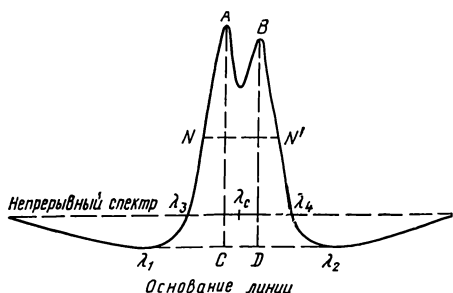
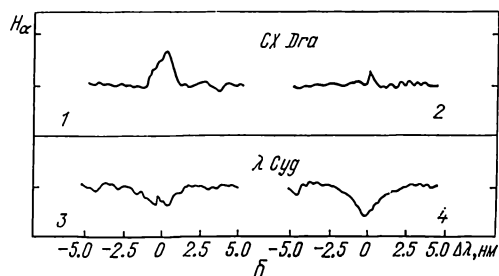
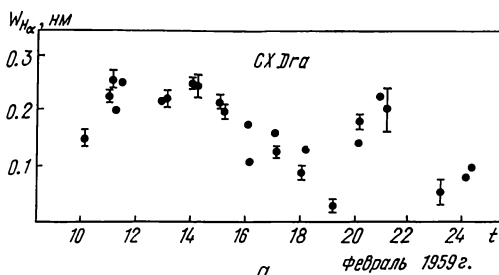


Рис. 1. Схематический профиль эмиссионной линии, наблюдаемой в Ве-звездах

Рис. 2. Эквивалентные ширины (а) и относительные интенсивности профиля эмиссионной линии H<sub>α</sub> (б) в спектрах CX Dra и λ Cyg согласно [3, 8] CX Dra: 1—18.06.80 г.; 2—23.06.82 г. λ Cyg: 3—1.06.81 г.; 4—5.06.82 г.



спектры измерялись на микрофотометре МФ-4 с записью в интенсивностях. В каждую наблюдательную ночь мы получали спектры выбранных нами звезд, а в одну из ночей — 3—4 спектра для одной звезды (28 Cyg). Тем самым мы могли грубо оценить ошибку наблюдений при условии, что для данной звезды не наблюдаются изменения профиля эмиссионной линии в течение нескольких часов.

Таблица 1. Характеристика дифракционных решеток, используемых при наблюдениях

Количество штрихов	Угол блеска, град.	Порядок	Спектральный диапазон, нм	Обратная линейная дисперсия, нм/мм	
				камера F=110 мм	камера F=175 мм
651	8	1	300—700	13.6	8.6
1302	17	1	300—700	7.0	4.4
651	28	2	500—700	—	4.4
651	28	3	420—550	—	2.9

С мая 1982 по сентябрь 1984 года нами было получено около 50 спектрограмм в спектральном диапазоне 350—700 нм.

**Результаты наблюдений.** Изменения, происходящие в спектрах Ве-звезд, можно разделить на следующие две группы: 1. Изменения общей интенсивности эмиссии. 2. Изменения вида профиля эмиссионной линии. Схематический профиль эмиссионной линии представлен на рис. 1. Введем следующие обозначения:  $I(\lambda)$  — интенсивность, измеренная на длине волны  $\lambda$  профиля линии;  $I_F(\lambda)$  — интенсивность в той же длине волны  $\lambda$  основания линии (на прямой, соединяющей два минимума интенсивности на  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ );  $I(\lambda_c)$  — интенсивность в точке  $\lambda_c =$

$= (\lambda_3 + \lambda_4)/2$  непрерывного спектра. Эквивалентная ширина эмиссионной линии вычисляется следующим образом [2]:

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \{ [I(\lambda) - I_F(\lambda)] / I(\lambda_C) \} d\lambda. \quad (1)$$

Изменения интенсивности первой группы обычно характеризуются изменением величины  $E/C = I_A/I_F$ , т. е. отношением максимума интенсивности эмиссии  $I_A$  к интенсивности в основании эмиссионной линии  $I_F$ . Изменения второй группы характеризуются изменениями величины

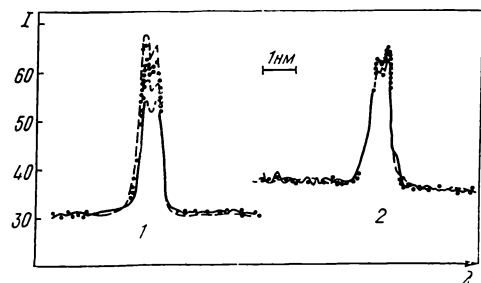
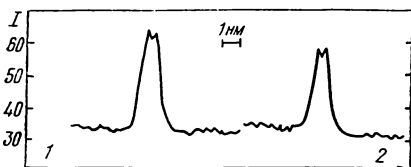


Рис. 4. Профили эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  у 28 Cyg: 1—7/8.10.82 г.; 2—за период 1982—83 гг.

Рис. 3. Профили эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  28 Cyg в различные даты наблюдений: 1—9/10.08.82 г.; 2—7/8.10.82 г.; 3—20/21.09.83 г.; 4—19/20.10.83 г.; 5—27/28.09.84 г.; 6—5/6.09.84 г.

отношения  $V/R$  интенсивности коротковолнового компонента  $V$  эмиссионной линии к интенсивности длинноволнового компонента  $R$ . Величина  $V/R = (I_A - I_C) / (I_B - I_D)$  (см. рис. 1).

Многочисленные наблюдения Ве-звезд [1] показывают, что изменения отношения  $E/C$  и  $V/R$  различны у разных Ве-звезд. Изменения  $E/C$ , как правило, характеризуются резким возрастанием и более медленным уменьшением. Как отмечают некоторые авторы, эмиссионная линия может вообще исчезать (см. рис. 2 б). Изменения величины  $V/R$  в некоторых случаях имеют периодический характер, например у  $\mu$  Cep [10], а в других случаях величина  $V/R$  меняется совершенно неправильным образом, например у  $\pi$  Aql [9].

Итак, по систематическим продолжительным спектральным наблюдениям Ве-звезд можно попытаться выяснить причину реальных изменений физических характеристик разреженных газовых оболочек Ве-звезд. Рассмотрим теперь отношения  $E/C$  и  $V/R$  для наблюдавшихся нами звезд 28 Cyg,  $\lambda$  Cyg и CX Dra.

28 Cyg (HD 191610, B2.5 V e [4, 5],  $v \sin i = 310$  км/с [14]). В работе [12] показано, что эмиссия в  $H_{\alpha}$  в июне 1977 г. была заметно слабее, чем в ноябре 1976 г. Среднее значение в 1976 г. составляло  $W = 1.39$  нм ( $\sigma_W = 0.045$  нм), а в июне 1977 г.  $W = 1.28$  нм ( $\sigma_W = 0.049$  нм). В работе [6] у 28 Cyg (использованной как звезда сравнения) в 1977 г. найдена короткопериодическая переменность в цвете  $V$ . Блеск звезды увеличился на  $0.035^m$  за 5 ч в течение ночи 8/9 октября 1976 г. и уменьшился на  $0.020^m$  за 3 ч в течение следующей ночи. Результаты UBV наблюдений 28 Cyg, приведенные в работе [13], показали, что в июле 1978 г. обнаружено увеличение периода короткопериодической переменности по сравнению с 1976 г. на  $0.7^d$  (в течение 4 ночей). Наши наблюдения 28 Cyg проведены в течение 14 ночей в 1982—1984 гг.

Результаты приведены в табл. 2. Профили эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  в различные даты наблюдений показаны на рис. 3. Анализируя наши наблюдательные данные, можно сделать следующие выводы. У 28 Суг обнаружены изменения профиля эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  как от месяца к месяцу, так и от ночи к ночи. На рис. 4 справа показан профиль эмиссионной линии  $H_{\alpha}$ , полученный в одну ночь 7/8.10.82 г., 3 спектрограммы ( $\bar{W}=0.87$  нм с  $\sigma_W=0.029$  нм), а слева — в течение осталь-

Таблица 2. Результаты наблюдений 28 Суг в 1982 — 1984 гг.

(E<sub>П</sub>, W<sub>П</sub> — для линии поглощения)

Дата	$H_{\alpha}$					$H_{\beta}$			Дисперсия	
	$E_V/C$	$E_R/C$	$V/R$	$W_{\alpha}$ , нм	$\sigma_{W_{\alpha}}$ , нм	$E_{П}/C$	$W_{П}$ , нм	$\sigma_{W_{\beta}}$ , нм	$H_{\alpha}$ , нм/мм	$H_{\beta}$ , нм/мм
9/10.08.82	2.05	2.01	1.034	1.05	—	—	—	—	8.6	8.6
7/8.10.82	1.81	1.84	0.963	0.90	—	—	—	—	8.6	8.6
7/8.10.82	1.83	1.89	0.930	0.82	0.029	—	—	—	8.6	8.6
7/8.10.82	1.87	1.88	0.980	0.88	—	—	—	—	8.6	8.6
19/20.09.83	2.19	2.17	1.018	1.06	—	0.83	-0.64	0.08	8.6	8.6
20/21.09.83	2.33	2.28	1.047	1.14	0.05	0.83	-0.48	—	8.6	8.6
21/22.09.83	2.31	2.31	1.000	1.18	—	—	—	—	8.6	8.6
17/18.09.83	2.02	2.00	1.024	0.93	—	—	—	—	8.6	8.6
19/20.10.83	2.26	2.39	0.911	1.16	0.12	0.83	-0.55	—	8.6	8.6
19/20.06.84	2.70	2.60	1.071	1.35	—	—	—	—	4.4	2.9
5/6.09.84	2.20	2.25	0.951	0.86	—	0.78	-0.67	—	4.4	2.9
17/18.09.84	1.93	1.95	0.976	0.80	—	—	—	—	4.4	2.9
21/22.09.84	2.05	2.00	1.049	0.97	0.13	—	—	—	4.4	2.9
26/27.09.84	1.80	1.83	0.969	0.67	—	0.76	-0.80	0.050	4.4	2.9
27/28.09.84	2.05	1.98	1.073	1.05	—	0.86	-0.73	—	4.4	2.9

Таблица 3. Результаты наблюдений звезды  $\lambda$  Суг в период сентябрь — октябрь 1983 г.(E<sub>П</sub>, W<sub>П</sub> — для линии поглощения)

Дата	$H_{\alpha}$			$H_{\beta}$			Дисперсия	
	$E_{П}/C$	$W_{П}$ , нм	$\sigma_{W_{\beta}}$ , нм	$E_{П}/C$	$W_{П}$ , нм	$\sigma_{W_{\beta}}$ , нм	$H_{\alpha}$ , нм/мм	$H_{\beta}$ , нм/мм
20/21.09.83	0.70	-0.475	0.003	0.50	-0.944	0.072	8.6	8.6
21/22.09.83	0.71	-0.482	—	0.53	-0.800	—	8.6	8.6
17/18.10.83	0.70	-0.483	0.019	0.53	-1.040	—	8.6	8.6
19/20.10.83	0.71	-0.521	—	0.53	-0.890	0.075	8.6	8.6

Таблица 4. Результаты наблюдений СХ Дра за 1982 — 1984 гг.

(E<sub>П</sub>, W<sub>П</sub> — для линий поглощения)

Дата	$H_{\alpha}$					$H_{\beta}$			Дисперсия	
	$E_V/C$	$E_R/C$	$V/R$	$W_{\alpha}$ , нм	$\sigma_{W_{\alpha}}$ , нм	$E_{П}/C$	$W_{П}$ , нм	$\sigma_{W_{\beta}}$ , нм	$H_{\alpha}$ , нм/мм	$H_{\beta}$ , нм/мм
5/6.05.82	1.26	1.26	1.000	0.23	—	0.63	-1.13	0.11	8.6	8.6
12/13.05.82	1.62	1.62	1.000	0.47	0.12	0.67	-0.98	0.11	8.6	8.6
13/14.05.82	1.47	1.47	1.000	0.46	—	0.84	-0.86	0.11	8.6	8.6
5/6.08.82	1.28	—	—	0.17	—	0.69	-0.69	—	8.6	8.6
7/8.08.82	1.00	1.00	1.000	—	0.11	0.71	-0.78	0.04	8.6	8.6
9/10.08.82	1.00	1.00	1.000	—	—	0.75	-0.73	—	8.6	8.6
4/5.10.82	0.89	0.89	1.000	-0.11	—	0.67	-0.77	—	8.6	8.6
5/6.09.84	1.21	1.21	1.000	0.29	—	0.69	-0.74	0.002	4.4	2.9
16/17.09.84	1.18	1.18	1.000	0.13	—	0.68	-0.74	—	4.4	2.9
17/18.09.84	1.25	1.25	1.000	0.25	0.07	—	—	—	4.4	2.9
21/22.09.84	1.14	1.14	1.000	0.12	—	—	—	—	4.4	2.9
26/27.09.84	1.21	1.21	1.000	0.14	—	—	—	—	4.4	2.9

ных ночей. Сравнивая наши эквивалентные ширины  $H_{\alpha}$  ( $W=0.82-1.35$  нм) за весь период наблюдений с данными работы [12], можно отметить их хорошее согласие. Однако наши значения  $W$  за 1982—84 гг. систематически меньше, чем в [12]. Нами также получены профили эмиссионной линии  $H_{\beta}$  (табл. 2).

$\lambda$  Cyg (HD 198183 A, B5 IV, V  $e$  [4, 5],  $v \sin i=165$  км/с [14]. Наблюдения  $\lambda$  Cyg [6] показывают, что эту звезду до 1981 г. можно было использовать в качестве стандарта, поскольку за многие годы она не показывала наличия каких-либо эмиссионных линий. Профили линий

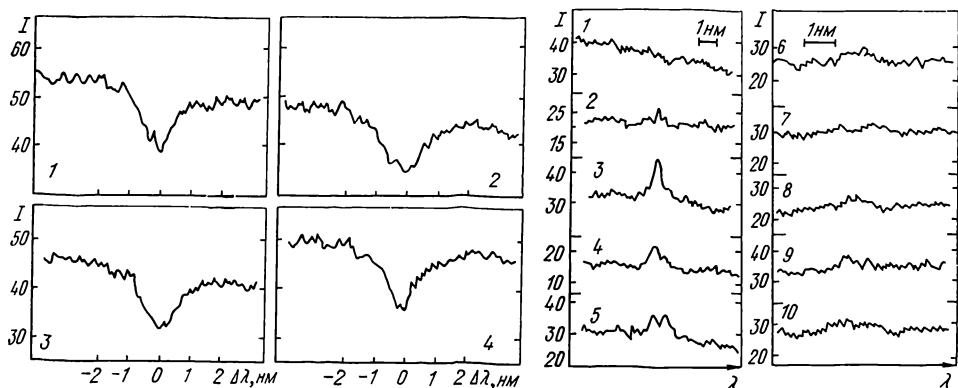


Рис. 5. Профиль спектральной линии  $H_{\alpha}$  у  $\lambda$  Cyg в различные даты наблюдений: 1—17/18.10.83 г.; 2—19/20.10.83 г.; 3—20/21.09.83 г.; 4—21/22.09.83 г.

Рис. 6. Быстрые изменения профиля эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  у CX Drg в различные периоды наблюдений: 1—4/5.10.82 г.; 2—5/6.08.82 г.; 3—13/14.05.82 г.; 4—12/13.05.82 г.; 5—5/6.08.82 г.; 6—26/27.09.84 г.; 7—21/22.09.84 г.; 8—17/18.09.84 г.; 9—16/17.09.84 г.; 10—5/6.09.84 г.

$H_{\alpha}$ , полученные в ноябре 1976 г. и июне 1977 г., не дают каких-либо указаний на их переменность. Но уже в работе [3] обнаружено наличие слабого центрального двойного пика эмиссии в  $H_{\alpha}$  в июне 1981 г., что было первым указанием на эмиссию в спектре этой звезды за несколько десятков лет. Эмиссия исчезла в июле 1982 г.

Наши исследования линий  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  у  $\lambda$  Cyg проведены в течение 4 ночей. Профили  $H_{\alpha}$ , полученные в сентябре и октябре 1983 г., показаны на рис. 5. В одну ночь (17/18 октября 1983 г.), по-видимому,  $H_{\alpha}$  наблюдалась в эмиссии. Обнаружены изменения общей интенсивности и профилей линий  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$  (табл. 3).

CX Drg (HD 174237, B3 V  $e$  [4, 5],  $v \sin i=175$  км/с [14]). У этой звезды обнаружена очень нестабильная эмиссия в линии  $H_{\alpha}$  и отмечено, что она может изменяться в течение нескольких суток. Эти быстрые изменения, вероятно, относятся к 6.7-дневному периоду вариаций блеска звезды, обнаруженных другими авторами. Однако изменения эмиссии в линии  $H_{\alpha}$ , возможно, связаны с более сложными долгопериодическими вариациями. Быстрые изменения эмиссии в  $H_{\alpha}$  у CX Drg в феврале 1959 г. приведены на рис. 2 (а). Данные взяты из работы [8]. Результаты наших наблюдений этой звезды, которые проводили в течение 12 ночей, приведены в табл. 4 и на рис. 6. Они показывают наличие быстрых изменений общей интенсивности эмиссии, а также наличие вариации профилей эмиссионной линии вплоть до полного их исчезновения. Эмиссия в  $H_{\alpha}$  полностью исчезла 4/5.10.82 и 21/22.09.84 г. Возможно, что у данной звезды на короткопериодические вариации накладываются более сложные изменения, которые необходимо исследовать. На протяжении всего периода наших наблюдений эмиссия в  $H_{\alpha}$  у CX Drg была очень слабой. Наши спектральные наблюдения активных Ве-звезд будут продолжены.

**Закключение.** Проведенные спектроскопические наблюдения активных Ве-звезд (28 Cyg,  $\lambda$  Cyg и CX Dra) в 1982—84 гг. позволили выявить следующие особенности поведения эмиссионных линий  $H_{\alpha}$  и  $H_{\beta}$ . 1. У всех наблюдаемых звезд обнаружены быстрые изменения эмиссии в линии  $H_{\alpha}$ . 2. Для звезды 28 Cyg от ночи к ночи наблюдаются вариации отношения  $V/R$  и эквивалентной ширины. 3. У CX Dra наблюдаются быстрые изменения общей интенсивности эмиссии  $E/C$  и  $V/R$  вплоть до полного ее исчезновения. 4. В 1982—1984 гг. эмиссия в линии  $H_{\alpha}$  у CX Dra была слабой.

В заключение выражаю благодарность А. А. Сапару за полезные замечания.

1. Боярчук А. А. Об оболочках Ве звезд.— *Вопр. космогонии*, 1960, 7, с. 231—257.
2. Andriilat Y. Deuxieme catalogue du profil de la raie  $H_{\alpha}$  dans 55 etoiles Be.— *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*, 1983, 53, N 3, p. 319—338.
3. Barker K. P. Active Be stars.— *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 1983, 95, N 574, p. 996—999.
4. Buscombe W. MK spectral classifications / Third general catalogue.— Evanston: Northwestern Univ., 1977.—250 p.
5. Buscombe W. MK spectral classifications / Fifth general catalogue.— Evanston: Northwestern Univ., 1981.—230 p.
6. Gies D. R., Percy J. R. Photometric variability of 29 Cygni.— *Astron. J.*, 1977, 82, N 2, p. 166—168.
7. Kriz S., Harmanec P. A hypothesis of the binary origin of Be stars.— *Bull. Astron. Inst. Czech.*, 1975, 26, N 2, p. 65—81.
8. Lacoarret M. Enveloppes d'etoiles Be: Variations spectrales et caracteristiques physiques.— *Ann. Astrophys.*, 1965, 28, N 2, p. 321—347.
9. McLaughlin D. B. Notes on spectra of class Be.— *Astrophys. J.*, 1937, 85, N 2, p. 181—192.
10. Peters G. I. An analysis of the far-ultraviolet spectra of the pole-on Be stars  $\nu$  Cygni and  $\mu$  Centauri.— *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1979, 39, N 2, p. 175—193.
11. Slettebak A. The Be stars.— *Space Sci. Rev.*, 1979, 23, N 4, p. 541—580.
12. Slettebak A., Reynolds R. C.  $H_{\alpha}$  variations in the spectra of the brighter northern Be stars.— *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1978, 38, N 3, p. 205—228.
13. Spear G. G., Mills J.-R., Snedden S. A. Short-period photometric variability of the Be star 28 Cygni.— *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 1981, 93, N 554, p. 460—463.
14. Uesugi A., Fukuda J. Revised catalogue of stellar rotational velocities.— *Kyoto: Kyoto Univ.*, 1982.—83 p.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,  
Киев

Поступила в редакцию 26.02.85,  
после доработки 18.04.85