

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 1

ДЕКАБРЬ, 1965

ВЫПУСК 4

О НЕПРЕРЫВНОМ ИЗЛУЧЕНИИ SS Cyg

Л. В. МИРЗОЯН, Н. Л. КАЛЛОГЛЯН

Поступила 16 октября 1965

Изучено распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg. Используются спектрограммы, полученные с объективной призмой на 8" и 40" телескопах системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории. Обнаружено присутствие в непрерывном спектре звезды коротковолнового избыточного излучения нетелловой природы (непрерывной эмиссии) в период минимума ее блеска. Показано, что более ранние наблюдения Хиндерера [11] и Цукерман [12] находятся в согласии с этим результатом и указывают на существование непрерывной эмиссии в спектре звезды иногда и в период максимума ее блеска.

Введение. Замечательная звезда SS Cyg является представителем эруптивных переменных звезд типа U Gem [1]. Большую часть времени она имеет минимальный блеск ($\sim 12^m$). Временами ее блеск в течение нескольких дней возрастает на 3—4^m. Падение блеска происходит, обычно, медленнее, чем подъем. Промежутки времени между двумя последовательными вспышками в среднем около 50 дней. В минимуме блеска наблюдаются небольшие колебания яркости [2, 3], которые происходят, по-видимому, беспрерывно [4].

Фотоэлектрические и фотометрические наблюдения SS Cyg в системе U, B, V были выполнены рядом исследователей [2—7].

Хуже обстоит дело с изучением спектра этой звезды и вообще звезд типа U Gem, что обусловлено слабостью указанных звезд. Между тем спектральные наблюдения этих звезд, несомненно, представляют большой интерес для понимания их природы.

Согласно исследованию А. Джоя [8, 9], SS Cyg является спектроскопической двойной с периодом обращения компонент 0.276 дней. Компоненты системы: один горячий субкарлик (спектр В), а другой звезда класса G5, оба подвержены быстрым вспышкам, изменяющим полную яркость системы, особенно в коротковолновой области.

Согласно К. Эльви и Г. Бэбкоку [10], в минимуме блеска SS Cyg наблюдается наложение эмиссионного спектра на слабый непрерывный спектр. В этот период хорошо видны яркие линии водорода, гелия и ионизованного кальция, которые по мере возрастания яркости звезды заливаются непрерывным континуумом. Спектральный класс звезды при этом изменяется от G до A, а иногда и до B.

Подробное спектрофотометрическое исследование звезды было выполнено Ф. Хиндерером [11]. Оно охватывает все фазы изменения яркости звезды и показывает, что изменение спектрофотометрической температуры SS Cyg от минимума к максимуму блеска соответствует ее переходу от спектрального класса G к A. Его наблюдения содержат указания на отклонение распределения энергии в спектре от закона Планка.

Следует упомянуть также обширное исследование М. Цукерман [12], посвященное теоретической интерпретации SS Cyg, основанной на спектрофотометрических (в области λ 3200 — 6000) и трехцветных фотоэлектрических наблюдениях, покрывающих всю кривую яркости звезды, в частности, периоды сильных флюктуаций яркости, как между вспышками, так и во время вспышек.

На диаграмме Герцшпрунга — Рессела звезды типа U Gem попадают в область между белыми карликами и горячими субкарликами [1]. Согласно Дж. Гринстейну [13], оба компонента каждой из этих звезд лежат существенно ниже главной последовательности и, по-видимому, находятся в конце звездной эволюции.

Наблюдения и обработка. В течение 1961 года в Бюраканской астрофизической обсерватории на 8 — 12" телескопе системы Шмидта с помощью объективной призмы (дисперсия 420 \AA/мм у H_γ) велись регулярные наблюдения области SS Cyg. Однако, вследствие слабости звезды в минимуме, эти снимки непригодны для измерений непрерывного спектра SS Cyg. В сентябре 1961 года удалось застать звезду в максимуме блеска. Он продолжался около 18 дней, включая и период спада блеска. За этот период было получено около двух десятков снимков этой области. Из них нами использованы десять.

В начале августа 1962 года, когда звезда находилась в минимуме блеска, на метровом телескопе системы Шмидта с объективной призмой (дисперсия 275 \AA/мм у H_γ) было получено несколько снимков той же области. Три снимка из этой серии использованы для фотометрии непрерывного спектра SS Cyg.

Список всех обработанных спектрограмм приводится в табл. 1 (n — число спектрограмм).

Звездные величины m , приведенные в последнем столбце табл. 1 определены из кривых блеска SS Cyg, построенных М. Мейолл [14].

Записи спектров были получены на саморегистрирующем микрофотометре с увеличением в 40 раз. На рис. 1 приводятся примеры этих записей.

Таблица 1

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ОБЛАСТИ SS Cyg

Дата	n	Сорт пластинок	Телескоп	Экспозиция (мин)	m
1961					
16 сентября	4	Kodak OaO	8"	10	8 ^m .6
19 "	2	"	"	7	8.5
20 "	2	"	"	10	8.6
21 "	2	"	"	10	8.6
1962					
1 августа	1	Agfa Spezial	40"	15	11.9
4 "	1	"	"	10	11.8
5 "	1	"	"	11	11.7

Калибровка спектрограмм производилась с помощью отпечатков трубочного фотометра. При измерениях спектрограмм, соответствующих максимуму блеска, звездой сравнения служила HD 207219 ($m_{pg} = 9.5$, спектр G5), а минимуму блеска — безымянная звезда с координатами $\alpha = 21^h 38^m 6$, $\delta = 43^\circ 06'$ ($m_{pg} = 11.6$, спектр G5 по нашей глазомерной оценке).

Звезды сравнения находятся недалеко от исследуемой звезды, и, поэтому, нами не учтено дифференциальное атмосферное поглощение.

Исследуемая спектральная область охватывает интервал $\lambda\lambda 3700$ — 4800 в максимуме блеска звезды и $\lambda\lambda 3550$ — 5000 в минимуме. Общая методика обработки спектрограмм описана в [15, 16].

Результаты. Наши наблюдения показывают, что при переходе от минимума блеска к максимуму в спектре SS Cyg происходят значительные изменения.

В минимуме звезда имеет слабый непрерывный спектр с сильными эмиссионными линиями. Водородные линии очень сильны и могут быть прослежены до H_9 — H_{10} , остальные линии сливаются в непрерывную водородную эмиссию. Линия $\lambda 4686$ ионизованного гелия слаба. Видны линии K Ca II*, $\lambda 4026$ и $\lambda 4471$ гелия.

* Линия H CaII сливается с H.

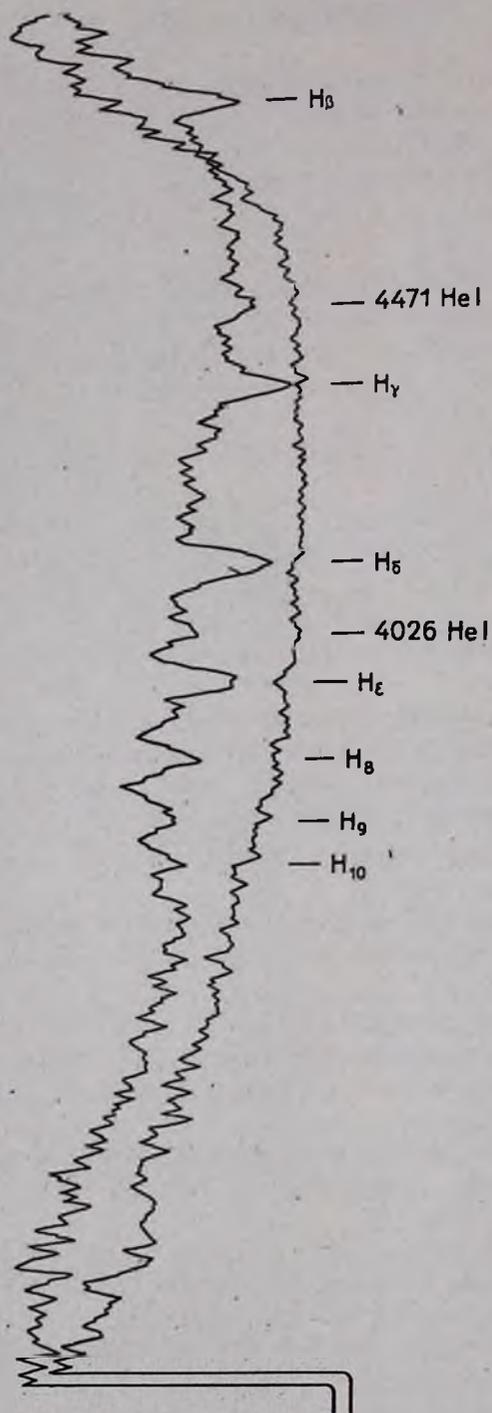


Рис. 1. Примеры записей спектра SS Cyg: в максимуме (вверху) и минимуме (внизу) блеска.

Судя по спектрограммам, полученным во время максимума блеска, с возрастанием блеска звезды усиливается ее непрерывный спектр и уже в максимуме с большим трудом можно выделить некоторые водородные линии поглощения.

Два из наших наблюдений, за 29 и 30 сентября 1961 года, приходятся на период спада блеска. К сожалению, соответствующие спектрограммы SS Cyg обработать не удалось ввиду их сильной недодержанности. На спектрограммах отчетливо видно, что непрерывный спектр звезды в этот период был слаб, а в коротковолновой части спектра уже заметны эмиссионные линии.

Значения относительных интенсивностей в логарифмической шкале (SS Cyg — звезда сравнения) для всех наших наблюдений приводятся в табл. 2 (максимум) и 3 (минимум). Эти разности даны для волновых чисел, указанных в первой строке.

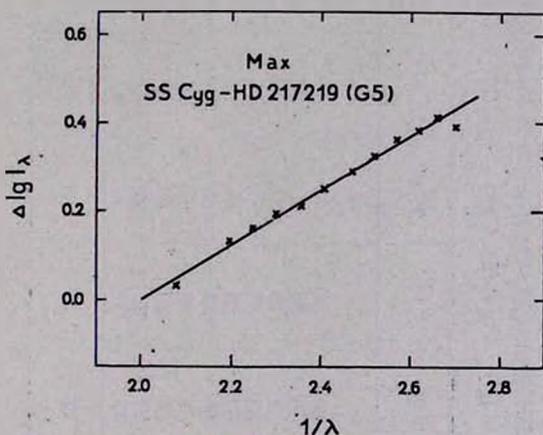


Рис. 2. Относительное распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg в период максимума блеска, усредненное для 10 наблюдений.

Рис. 2 иллюстрирует относительное распределение энергии SS Cyg в максимуме блеска, усредненное для 10 наблюдений (табл. 2). Оно удовлетворительно представляется прямолинейной зависимостью от $1/\lambda$ (звезда сравнения HD 207219 — G 5). Это свидетельствует о том, что в период максимального блеска непрерывное излучение SS Cyg в рассматриваемой области спектра нормальное и может быть представлено планковской кривой. Соответствующий относительный спектрофотометрический градиент (-0.6) указывает на спектрофотометрическую температуру, несколько более высокую, чем у звезды сравнения HD 207219.

Таблица 2

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ $100 (\Delta \lg I_{\lambda} + 0.2)$ В МАКСИМУМЕ БЛЕСКА SS Cyg

$$\Delta \lg I_{\lambda} = \lg I_{\lambda}(\text{SS Cyg}) - \lg I_{\lambda}(\text{HD 207219} - \text{G5})$$

Дата \ $1/\lambda$	2.08	2.20	2.25	2.30	2.36	2.41	2.47	2.52	2.57	2.62	2.66	2.70
16 сентября 1961	21	33	36	38	42	47	51	57	62	64	67	—
16 .	2	12	16	20	23	26	30	35	40	43	46	48
16 .	21	31	34	39	41	46	52	56	60	64	66	67
16 .	29	33	35	36	39	41	45	49	53	57	63	—
19 .	40	56	62	65	68	69	72	74	76	76	77	—
19 .	34	45	50	53	56	58	61	65	67	68	71	73
20 .	29	37	38	40	42	48	52	54	56	57	58	60
20 .	8	24	26	29	32	37	40	46	52	54	—	—
21 .	14	22	24	26	28	31	37	40	44	46	46	48
21 —	27	34	37	39	41	43	46	48	50	53	57	59
Среднее	23	33	36	39	41	45	49	52	56	58	61	59

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ $100 (\Delta \lg I_{\lambda} + 0.5)$ В МИНИМУМЕ БЛЕСКА SS Cyg

$$\Delta \lg I_{\lambda} = \lg I_{\lambda}(\text{SS Cyg}) - \lg I_{\lambda}(\text{G5})^*$$

Дата \ I/λ	1.99	2.03	2.10	2.15	2.22	2.30	2.37	2.42	2.47	2.51	2.55	2.58	2.61	2.64	2.67	2.70	2.73	2.76	2.79	2.88	
1962																					
1 августа	12	6	10	5	7	14	12	18	24	29	33	33	38	44	50	51	59	57	64	64	
4	31	26	32	30	30	31	26	25	26	30	35	41	46	52	58	66	80	—	—	—	
5	24	26	26	29	33	31	32	32	34	39	40	39	46	53	62	68	70	69	68	76	
Среднее	22	19	23	21	23	25	23	25	28	33	36	38	43	50	57	62	70	63	66	70	

*) Безымянная звезда: $\alpha = 21^{\text{h}}38^{\text{m}}6$, $\delta = 43^{\circ}06'$.

Совершенно отличную картину мы имеем в минимуме блеска звезды. В этот период (звезда сравнения класса G5: $\alpha = 21^{\text{h}} 38^{\text{m}} 6$, $\delta = 43^{\circ} 06'$) относительное распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg невозможно представить одной планковской кривой (рис. 3). Относительная интенсивность излучения, начиная примерно с $1/\lambda \approx 2.4$, резко возрастает вплоть до коротковолнового предела наших измерений. Поэтому в этом случае для представления наблюдаемого распределения требуются по крайней мере две планковские кривые для спектральных областей до и после указанного волнового числа.

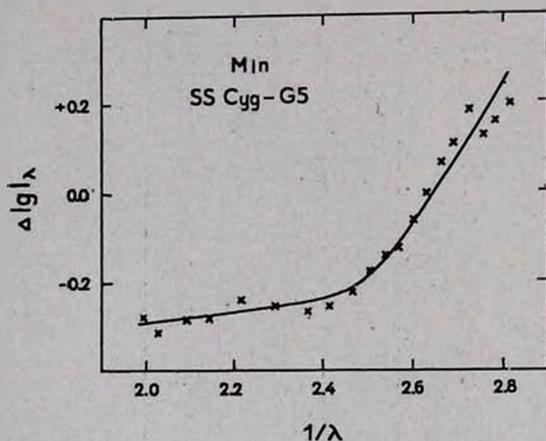


Рис. 3. Относительное распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg в период минимума блеска, усредненное для 3 наблюдений.

Используя абсолютное распределение в непрерывном спектре Солнца [17], при допущении об идентичности его с распределением для наших звезд сравнения, на рис. 4 построено распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg по усредненным данным табл. 2 и 3 в условных единицах (интенсивность излучения при $\lambda 4000$ принята равной единице). Сравнения этих кривых с кривыми, построенными для звезд спектральных классов O8 [18] и A0 [12] показывает, что в максимуме блеска непрерывное излучение SS Cyg близко к излучению нормальной A-звезды, с небольшим избытком в конце коротковолновой области спектра. Между тем в минимуме блеска SS Cyg это распределение аномальное: интенсивность излучения в коротковолновой области спектра звезды в этот период растет заметно быстрее, чем у высокотемпературной звезды класса O8.

Обсуждение. Приведенные выше данные, характеризующие непрерывное излучение SS Cyg, определенно указывают на присутст-

вие в его составе, в период минимума блеска, избыточного коротковолнового испускания. В период максимума блеска это избыточное испускание либо составляет незначительную долю всего излучения, либо вовсе отсутствует. Рис. 4, вероятно, свидетельствует в пользу первой из этих возможностей.

Более отчетливо это следует из наблюдений Хиндерера [11]. Они показывают, что коротковолновое избыточное излучение постоянно

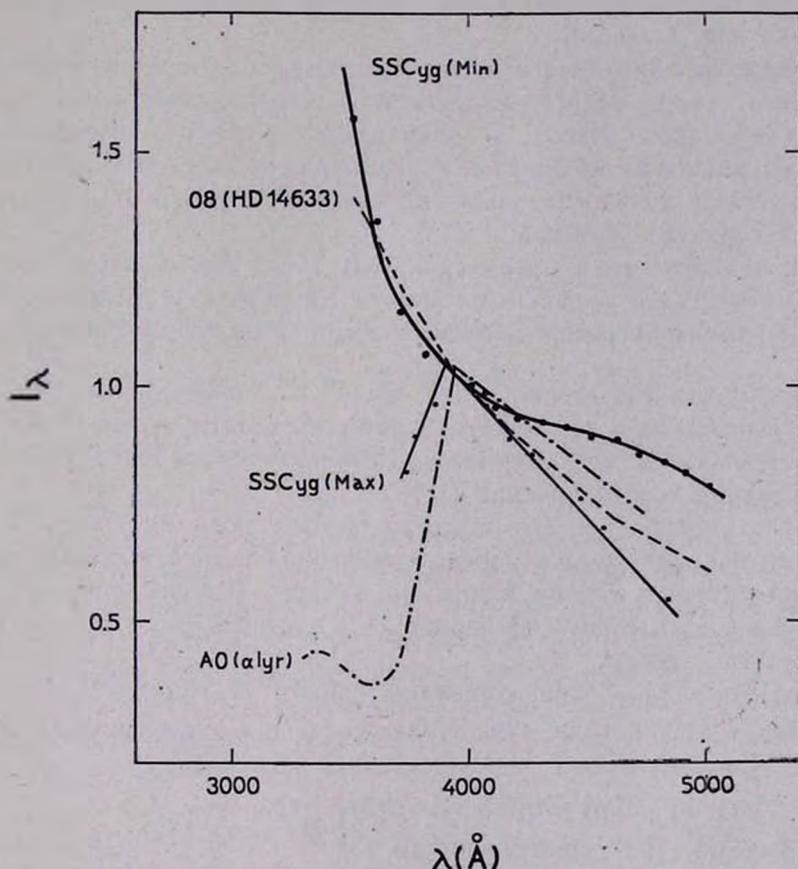


Рис. 4. Абсолютное распределение энергии в спектре SS Cyg. Для сравнения приведены распределения для O8-звезды и A0-звезды. Интенсивность у λ 4000 принята за единицу.

присутствует в спектре SS Cyg независимо от яркости звезды. На всех графиках зависимости Δm от $1/\lambda$ (звезда сравнения BD + 44° 3840, спектрального класса B 5), представленных в работе Хиндерера [11], наблюдается отклонение от прямолинейного хода в коротковолновой области спектра около $1/\lambda \approx 2.4$, в смысле сильного возрастания

интенсивности непрерывного излучения SS Cyg. Это возрастание особенно резко в минимуме блеска звезды, когда относительная интенсивность коротковолнового избыточного излучения велика.

Вместе с этим в минимуме блеска звезды указанное отклонение от прямолинейного хода, то есть проявление избыточного излучения, начинается при значительно более длинных волнах, чем в максимуме. Согласно [11], в максимуме блеска оно наступает при $1/\lambda \approx 2.6$, в то время как в минимуме блеска имеются случаи, когда она начинается уже при $1/\lambda \approx 2.3$.

Заслуживает серьезного внимания тот факт, что возрастание интенсивности непрерывного излучения к коротковолновому концу спектра аномально резкое. В некоторых случаях (в особенности, в периоды минимума яркости) оно настолько резкое, что не может быть объяснено дополнительным высокотемпературным тепловым излучением горячего спутника.

Нам кажется, что об этом свидетельствует как наш рис. 4, так и упомянутые выше графики из работы Хиндерера [11], представляющие относительное распределение энергии в непрерывном спектре SS Cyg.

Следует отметить также, что, даже в длинноволновой области спектра, наблюдаемая зависимость спектрофотометрической температуры от яркости SS Cyg значительно отклоняется от ожидаемой для случая планковского излучения [11].

Можно думать, что это подтверждается также необычными изменениями цвета SS Cyg в коротковолновой области спектра во время колебаний блеска в период минимума. В табл. 4 приведены данные, заимствованные из работы Цукерман [12] и относящиеся к этому периоду яркости звезды.

Согласно табл. 4, при изменении яркости SS Cyg на $\Delta V = 0.55$ (от 12^m05 до 11^m50) в желтых лучах, яркость в синих и ультрафиолетовых лучах возрастает, соответственно, на величину

$$\Delta B = 0.785 \quad \text{и} \quad \Delta U = 1.43.$$

Для отношения амплитуд имеем

$$\frac{\Delta B}{\Delta V} = 1.4, \quad \frac{\Delta U}{\Delta B} = 1.8, \quad \frac{\Delta U}{\Delta V} = 2.6.$$

Если учесть, что при тепловом излучении эти отношения не могут превышать, соответственно, 1.3, 1.2 и 1.5*, то отсюда следует, что наблюдаемые изменения яркости SS Cyg невозможно объяснить высокотемпературным избыточным излучением.

* Предельные значения указанных отношений вычислены для монохроматических звездных величин: U (λ 3600), B (λ 4200) и V (λ 5400).

Таблица 4

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ
ЯРКОСТЬЮ И ЦВЕТОМ SS Cyg

V	$B-V$	$U-B$
12.05	+0.795	-0.20
12.00	0.76	-0.33
11.95	0.74	-0.43
11.90	0.71	-0.49
11.86	0.70	-0.54
11.85	0.69	-0.545
11.80	0.66	-0.60
11.75	0.64	-0.665
11.70	0.63	-0.72
11.65	0.61	-0.75
11.60	0.59	-0.79
11.55	0.57	-0.81
11.50	0.56	-0.845

Вычисления, основанные на данных об изменениях между соседними строчками табл. 4, показывают, что отношения $\frac{\Delta U}{\Delta B}$ и $\frac{\Delta U}{\Delta V}$ во всех случаях, а отношение $\frac{\Delta B}{\Delta V}$ в большинстве случаев также превышают эти предельные значения для теплового излучения.

Таким образом, коротковолновое избыточное излучение, наблюдаемое в спектре SS Cyg, обладает свойствами, приближающимися к свойствам непрерывной эмиссии, наблюдаемой в спектрах звезд типа Т Тау и примыкающих к ним звезд [20, 21]. В частности, начало его проявления скользит по спектру, перемещаясь в сторону длинных волн, при усилении ее относительной интенсивности [22 — 24], а возрастание интенсивности более резкое, чем может быть при тепловом или синхротронном излучении [18, 24].

Исходя из вышеизложенного, трудно согласиться с интерпретацией SS Cyg Цукерман [12], связывающей вспышки звезды с изменениями лишь температуры горячего ее спутника.

Приведенные данные трудно согласовать, по-видимому, также с точкой зрения Гринштейна [13], согласно которой звезды типа U Gem находятся в конце звездной эволюции. Присутствие коротковолнового избыточного излучения нетепловой природы в непрерывном спектре звезд во всех до сих пор известных случаях рассматривалось как явление, обусловленное их молодостью [20, 21]. Этому представлению, вероятно, не противоречит и расположение компонентов звезд типа U Gem на диаграмме Герцшпунга-Рессела существен-

но ниже главной последовательности [13]. В недавней работе Г. Аро и Э. Чавира [25] приводятся свидетельства о существовании значительного числа молодых вспыхивающих звезд, расположенных ниже главной последовательности.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

ON CONTINUOUS RADIATION OF SS Cyg

L. V. MIRZOYAN, N. L. KALLOGHLIAN

The energy distribution in continuous spectrum of SS Cyg has been studied. The objective-prism spectrograms taken with 8" and 40" Schmidt cameras of the Byurakan astrophysical observatory have been used. The presence of a short-wave excess radiation of non-thermal origin (continuous emission) in continuous spectrum of the star during its minimum brightness has been detected. It has been shown, that the earlier observations of Hinderer [11] and Zuckermann [12] were in agreement with this result and showed the existence of a continuous emission in spectrum of the star, sometimes during maximum brightness as well.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. Г. Горбацкий, И. Н. Минин, *Нестационарные звезды*, М. 1963, стр. 320.
2. G. Grant, *Ap. J.*, 122, 566, 1955.
3. M. C. Zuckermann, *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, quatrième serie*, 20, 237, 1958.
4. К. К. Чуваев, *Изв. КРАО.*, 28, 141, 1962.
5. M. F. Walker, *Non-Stable Stars*, Cambridge Univ. Press, 1957, p. 46.
6. G. Grant, H. A. Abt, *Ap. J.*, 129, 323, 1959.
7. G. Wallerstein, *Publ. A. S. P.*, 71, 316, 1959.
8. A. Joy, *Ap. J.*, 124, 317, 1956.
9. А. Джой, *Нестационарные звезды*, АН Арм. ССР, Ереван, 1957, стр. 137.
10. С. Т. Elvey, H. W. Babcock, *Ap. J.*, 97, 412, 1943.
11. F. Hinderer, *Astr. Nachr.*, 277, 193, 1949.
12. M. C. Zuckermann, *Ann. d'Astrophys.*, 24, 431, 1961.
13. J. Greenstein, *Stellar Atmospheres*, Chicago, 1960, p. 684.
14. M. Mayall, *J. Roy. Astr. Soc.*, 56, 133, 1956; 57, 125, 1957.
15. Л. В. Мирзоян, *Сообщ. Бюр. обс.*, 19, 43, 1956.
16. Л. В. Мирзоян, Э. С. Казарян, *Астрофизика*, 1, 213, 1965.
17. А. Унзольд, *Физика звездных атмосфер*, ИЛ., М., 1949, стр. 49.
18. К. Н. Вёлт, *Zs. f. Astrophys.*, 43, 245, 1957.
19. И. Н. Глушневa, *Автореферат*, МГУ, 1964.
20. В. А. Амбарцумян, *Сообщ. Бюр. обс.*, 13, 1954.
21. В. А. Амбарцумян, *К симпозиуму по нестационарным звездам*, АН СССР, М., 1955, стр. 5.
22. Л. В. Мирзоян, *ДАН СССР*, 105, 928, 1955.
23. L. V. Mirzoyan, *Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, quatrième serie*, 20, 274, 1958.
24. Л. В. Мирзоян, *ДАН СССР*, 119, 667, 1958.
25. G. Haro, E. Chavira, *Flare Stars in Stellar aggregates of different ages*, Tonantzintla Observatory, preprint, 1964.