

Н. Л. ИВАНОВА

НАБЛЮДЕНИЯ ГАММЫ КАССИОПЕИ

Систематические наблюдения звезд типа Ве, часть которых являются спектрально-переменными, представляют несомненный интерес. В настоящем сообщении приводятся результаты наблюдений известного представителя этого типа — γ Кассиопеи. Наблюдения непрерывного спектра производились на бесщелевом спектрографе АСН-5 Бюраканской обсерватории. Анализ линейчатого спектра основан на щелевых спектрограммах, полученных с 1.5 м телескопом Верхнего Прованса.

1. *Распределение энергии в непрерывном спектре.* Для исследования изменений в непрерывном спектре γ Кассиопеи в 1956—1970 гг. было получено 80 спектров на 10" телескопе Бюраканской обсерватории (дисперсия 150 А/мм у Н γ).

Абсолютные спектрофотометрические градиенты определялись для двух спектральных областей: λ 3000—3600 (Φ_2) и λ 4000—4800 (Φ_1). Для звезды сравнения δ Кассиопеи абсолютные градиенты взяты из работы Барбье и Шалонжа [1]: $\Phi_1=1.17$ и $\Phi_2=1.45$. Полученные значения абсолютных градиентов, усредненные по годам, приведены на рис. 1. Из рисунка видно, что в течение первых 11 лет абсолютные спектрофотометрические градиенты испытывали небольшие колебания около значений $\Phi_1=0.72$ и $\Phi_2=0.76$. Эти величины близки к значениям, типичным для нормальных звезд типа В0, для которых приняты [2] $\Phi_1=0.74$ и $\Phi_2=0.78$. Отсюда можно сделать вывод, что оболочка γ Кассиопеи в этот период была настолько тонка, что практически не влияла на распределение энергии. Следует отметить, что в сентябре 1966 г., одновременно с возрастанием блеска на 0^m 4, наблюдалось понижение цветовой температуры.

На спектрах, полученных в сентябре 1970 г., отчетливо виден скачок интенсивности непрерывного спектра на длине волны λ 4350. Он иллюстрируется рис. 2, где приведено относительное распределение энергии, т. е. зависимость $\Delta \lg J = \lg J_{\gamma} - \lg J_{\delta}$ от $1/\lambda$. На спектрах, полученных ранее, этот скачок не наблюдался. Подобное явление наблюдала И. Купо в звезде типа Ве \times Змееносца [3].

Приведенные на рис. 1 величины бальмеровского скачка

$$D = \lg \frac{J_{3647+1}}{J_{3647-1}}$$

изменялись за время наблюдений в пределах от -0.02 до -0.11 .

Исследование распределения энергии в непрерывном спектре

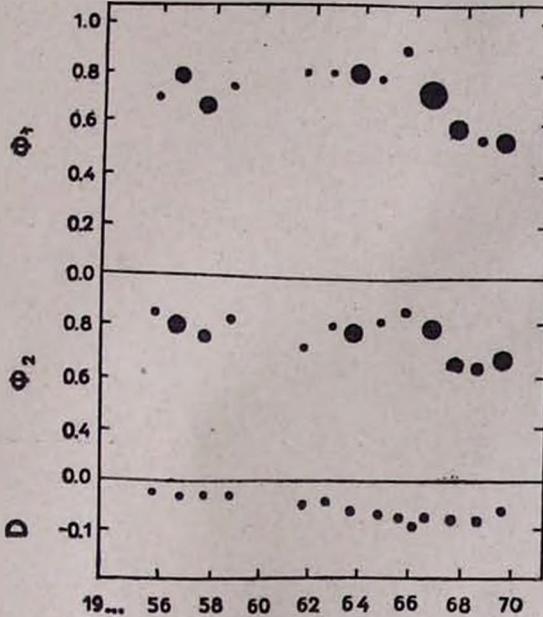


Рис. 1

γ Кассиопеи в 1953—1954 и 1960—1968 гг. [4] показало заметное, по сравнению с нормальной звездой типа В0, покраснение в визуальной области спектра. Это подтверждает результат Джонсона [5, 6], согласно которому избыток интенсивности излучения, по сравнению с нормальными звездами типа В0, значителен, возрастает с ростом длины волны и изменяется со временем (рис. 3).

Инфракрасные наблюдения γ Кассиопеи, выполненные нами на Бюряканской астрофизической станции АОЛГУ в 1971—1972 гг. [7] в полосах J ($\lambda_{\text{эф}} = 0.9\mu$) и K ($\lambda_{\text{эф}} = 2.2\mu$), показали, что в эти годы временами наблюдалось еще более значитель-

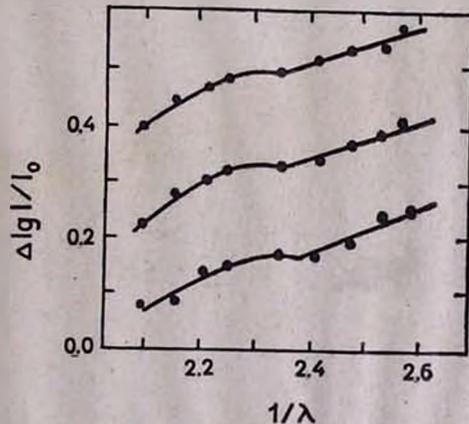


Рис. 2

ное, чем обнаруженное Джонсоном, покраснение. В фильтре К были замечены колебания яркости в пределах $1^m 9 - 2^m 4$ ($\delta = \pm 0.1$).

2. *Спектрофотометрия линий.* В сентябре и декабре 1971 г. в фокусе куде 1.5 м телескопа обсерватории Верхнего Прованса (Франция) с дифракционной решеткой (дисперсия 12 А/мм) А. Терзяном были получены и предоставлены в наше распоряжение 22 спектра γ Кас-

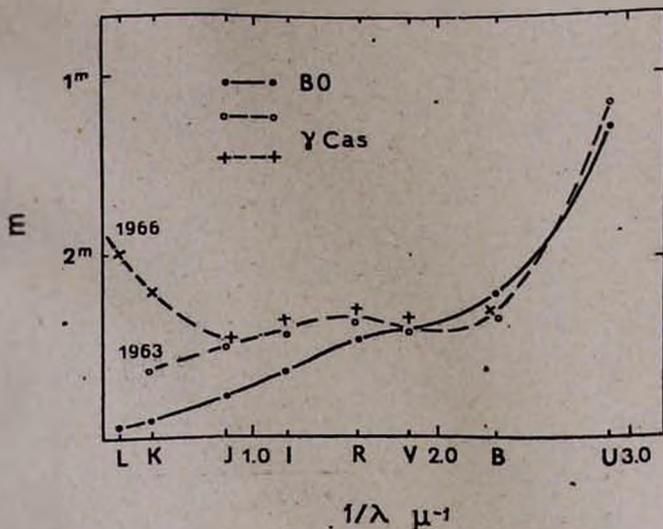


Рис. 3

снопси (табл. 1). В качестве источников спектров сравнения использовались неоновая лампа и железная дуга. Записи спектров сделаны на микрофотометре Цейсса, снабженном ФЭУ и электронным потенциометром. На координатометре «Ascogecord» были измерены и отождествлены 50 линий (табл. 2).

Линии H_{α} , H_{β} , H_{γ} , HeI 5876 А показывают двойные эмиссионные пики. Слабая эмиссия видна также в линиях H_{δ} и H_{ϵ} . Линии поглощения бальмеровской серии прослеживаются до H_{16} .

Кроме линий, приведенных в табл. 2, на пластинке от 6 декабря были обнаружены двойные эмиссионные пики со следующими длинами волн коротковолновых (V) и длинноволновых (R) компонентов:

V	R
6319	6321
6346	6349
6387	6389

Эти линии отождествить не удалось. Резкие неотжествленные эмиссионные линии λ 6320, 6386 и 6387 наблюдались также в спектре ξ Тельца [8]. Одновременно с появлением вышеупомянутых линий про-

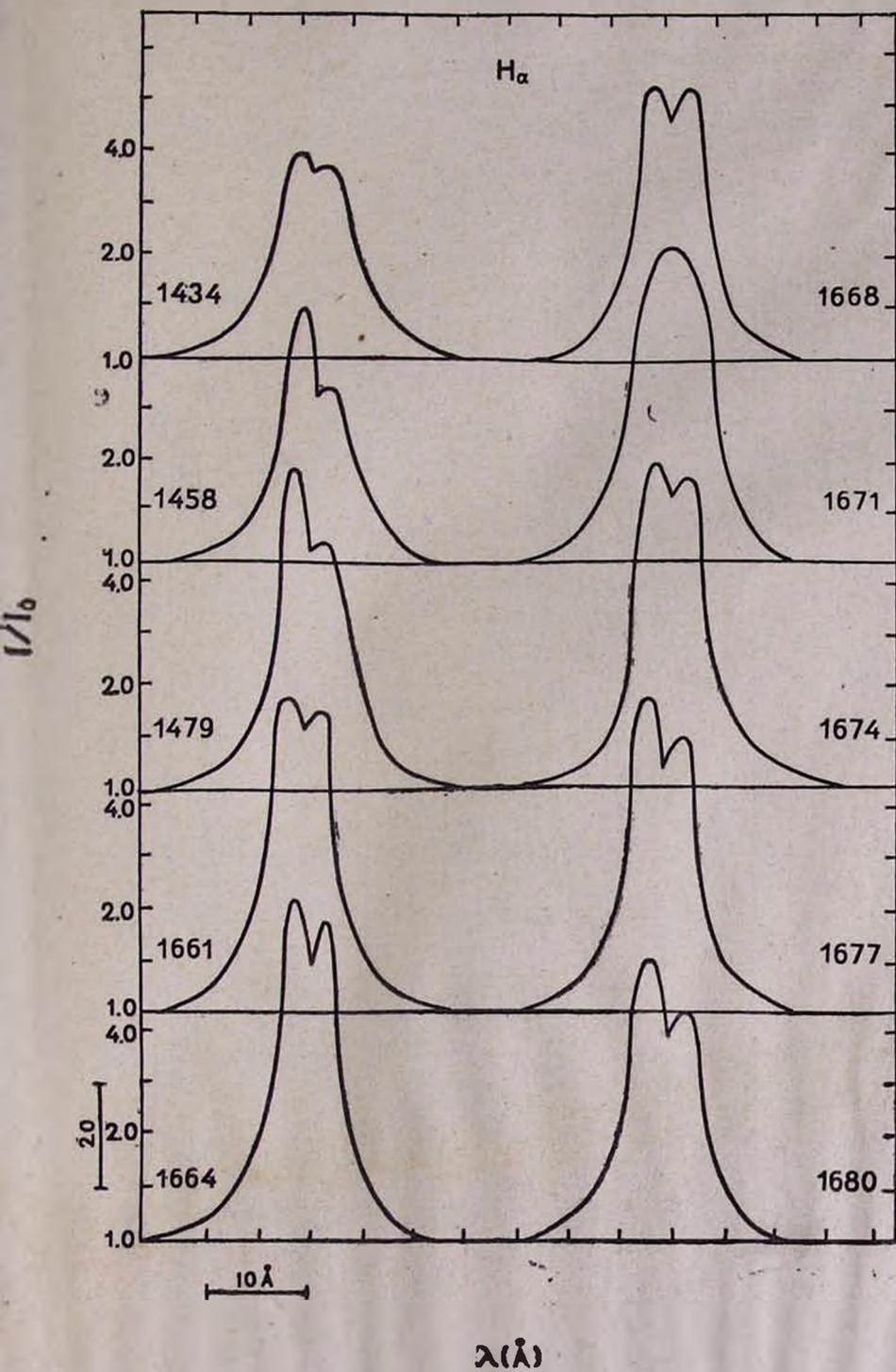


Рис. 4

изошло значительное изменение распределения энергии в непрерывном спектре γ Кассиопеи, выразившееся в возрастании интенсивности, особенно заметном в области от H_α до H_γ .

Из построенных профилей линий H_α (рис. 4), H_β (рис. 5) и 5876

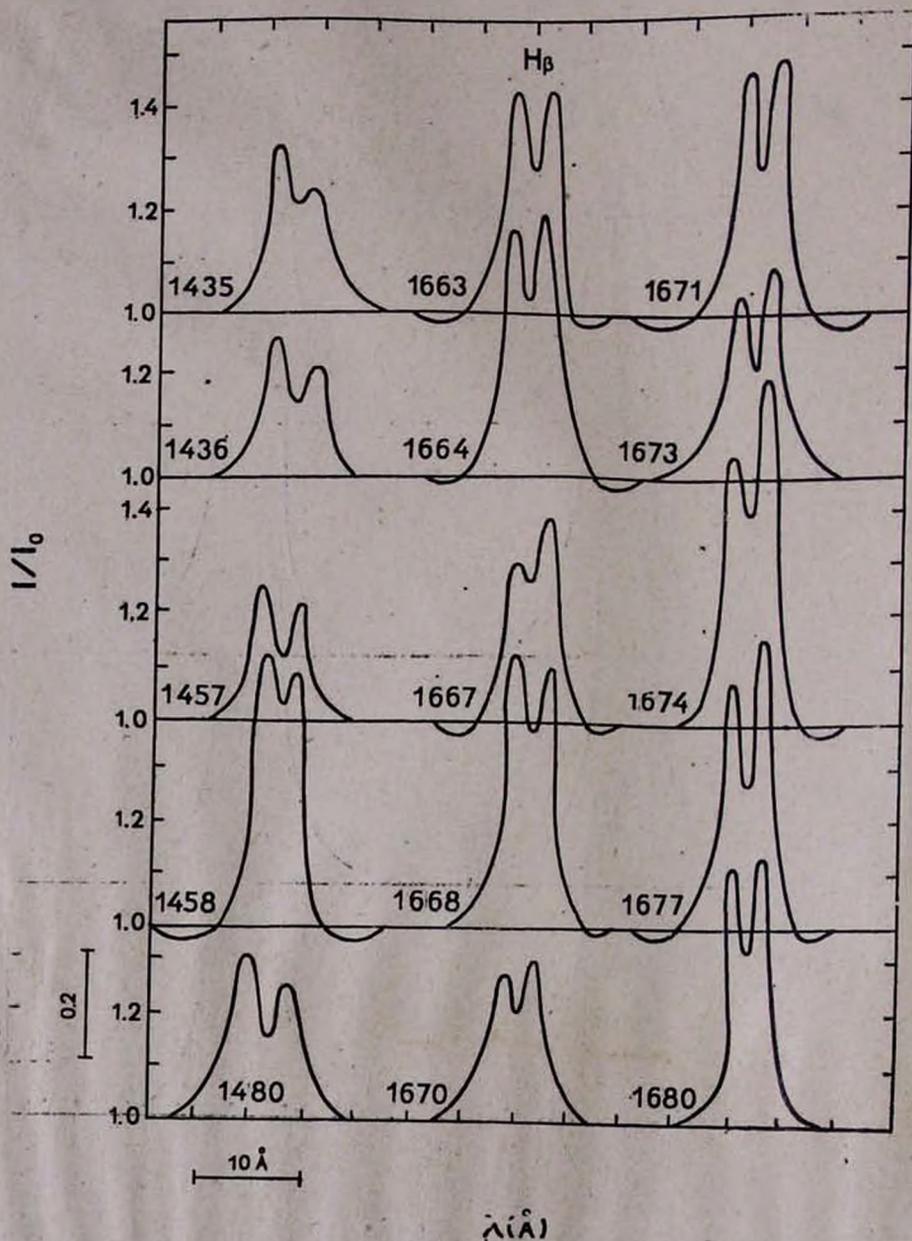


Рис. 5

HeI (рис. 6) можно сделать некоторые выводы о характере движения выброшенной из звезды материи. Из рис. 4 видно, что в профиле линии H_{α} для 9 дат отношение V/R больше единицы, что должно соответствовать удалению поглощающей материи от наблюдателя. На пластинке 1671 интенсивность H_{α} столь велика, что разделяющая эмиссию линия поглощения оболочки не прослеживается.

Изучение изменений в профиле H_{β} показывает для разных моментов наблюдения, попеременно, приближение или удаление материи относительно наблюдателя. В ряде случаев (наиболее уверенный на

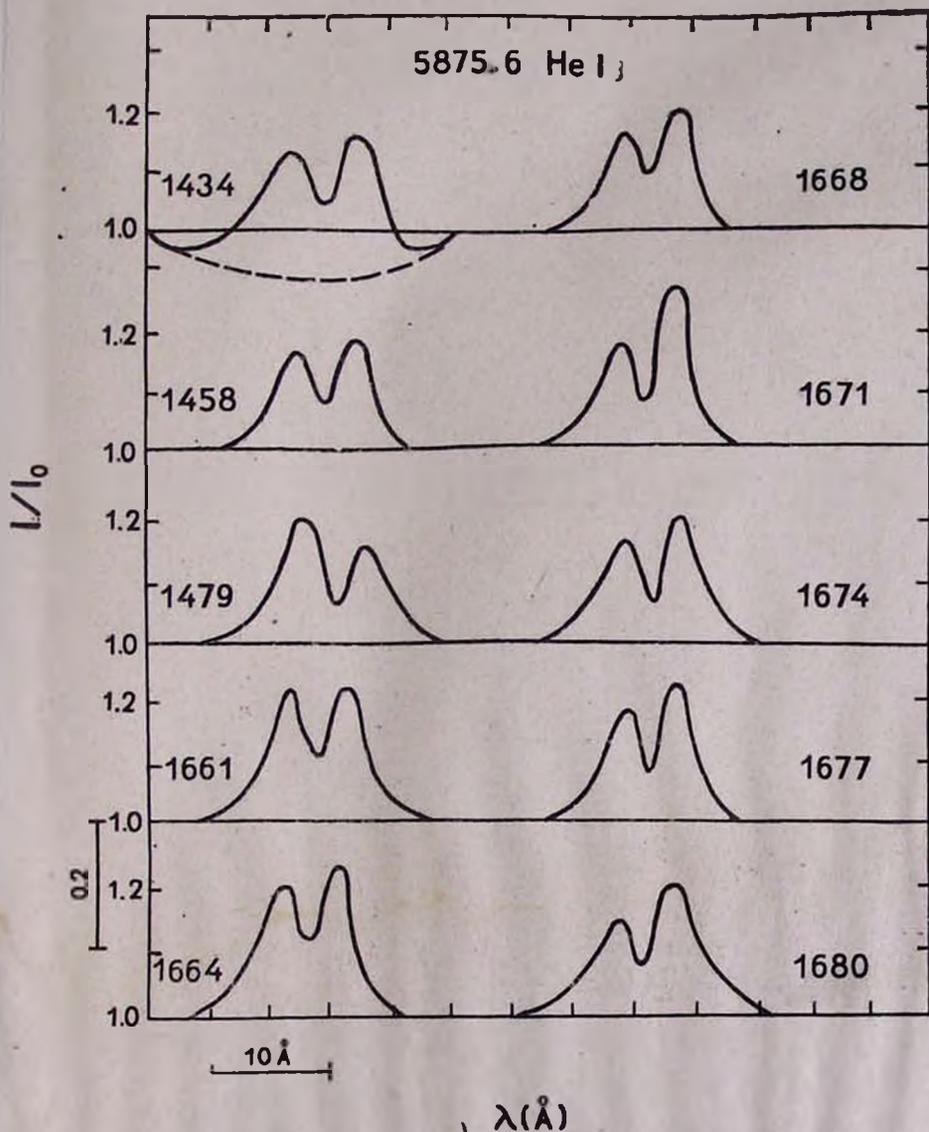


Рис. 6

Таблица 1

№	Номер пластинки	Дата, 1971	Средний момент наблюдения (УТ)	Продолжительность наблюдения	Сорт пластинок: Kodak
1	1434	22.9	23 ^h 00 ^m	2 ^m 14 ^s	103aF
2	1435	22.9	23 34	0 40	11aOch
3	1436	22.9	23 41	0 24	11aOch
4	1437	22.9	19 55	3 00	11aOch
5	1457	27.9	22 17	7 30	11aOch
6	1458	27.9	23 14	37 00	103aF
7	1479	28.9	—	11 00	103aF
8	1480	28.9	—	10 28	11aO
9	1660	2.12	18 10	10 00	11aO
10	1661	2.12	18 29	14 00	103aF
11	1663	3.12	20 41	11 00	11aO
12	1664	3.12	21 00	13 00	103aF
13	1667	5.12	17 35	9 00	11aO
14	1668	5.12	17 53	16 00	103aF
15	1670	6.12	22 35	20 00	11aO
16	1671	6.12	23 08	24 00	103aF
17	1673	7.12	21 24	8 00	11aO
18	1674	7.12	21 45	10 00	103aF
19	1676	8.12	19 29	18 00	11aOch
20	1677	8.12	19 57	25 00	103aF
21	1679	9.12	22 33	12 00	11aO
22	1680	9.12	22 54	15 00	103aF

Таблица 2

λ в Å	Элемент	λ в Å	Элемент
3705.9 + 3705.0	H ₁₄ , Hel	4143.8	Hel
3712.0	H ₁₃	4153.0	SII
3717.0	H ₁₄	4162.0	SII
3727.3	[OII]	4340.5	H _γ
3734.4	H ₁₃	4345.4	OII
3770.6	H ₁₁	4366.9	OII
3797.9	H ₁₀	4387.9	Hel
3805.8	Hel	4414.0	OII
3819.6	Hel	4437.0	Hel
3835.4	H ₉	4447.0	NII
3867.5	Hel	4471.5	Hel
3888.6	H ₈	4491.3	OII
3926.5	Hel	4552.7	SIII
3954.6	OII	4567.9	SIII
3964.7	Hel	4574.8	SIII
3970.1	H ₈	4590.0	OII
4009.3	Hel	4638.8	OII
4026.0	Hel	4641.8	OII
4069.9	OII	4649.1	OII
4088.9	SIV	4861.3	H _β
4089.3	OII	5875.6	Hel
4097.3	NIII	6562.8	H _α
4101.7	H _α	6878.3	Hel
4105.0	OII	5896.0	Nat
4120.9	Hel	5890.0	Nat

пластинке 1674) для H_{α} V/R было больше единицы, а для H_{β} — меньше единицы. Возможным объяснением этого факта может служить предположение, что на различных глубинах в оболочке звезды имеют место различные декременты балмеровских линий. Характер изменений профиля 5876 HeI (рис. 6) свидетельствует о более быстрых изменениях отношения V/R , чем в линиях водорода. Различия в поведении отношения V/R в линиях водорода и гелия могут быть приписаны стратификации излучения оболочки. За время наблюдений какой-либо регулярности в изменениях структуры двойной эмиссии линий водорода и гелия замечено не было.

Исследованные нами спектры γ Кассиопеи, полученные в САО Е. Л. Ченцовым на 60 см рефлекторе Цейсса (дисперсия 29 А/мм), показали, что в ноябре—декабре 1972 г. и январе 1973 г. отношение V/R сохранялось больше единицы.

Отсутствие более быстрых изменений отношения V/R может быть результатом малого времени разрешения фотографических наблюдений. Действительно, согласно Хатчингсу [9], при фотоэлектрических наблюдениях γ Кассиопеи с дисперсией 2.3 А/мм профили H_{β} и H_{α} показывали быстрые изменения структуры двойной эмиссии даже в течение двух последовательных ночей.

В табл. 3 приведены величины эквивалентных ширин для четырех эмиссионных линий. Для сравнения в табл. 4 даны значения W_{λ} , полученные рядом авторов в предыдущие годы. Сравнение результатов показало, что в последние годы эмиссия в водородных линиях γ Кассиопеи значительно возросла.

Таблица 3

№	Номер пластинки	$W_{H_{\alpha}}$	$W_{H_{\beta}}$	$W_{H_{\gamma}}$	$W_{\lambda 5876 \text{ HeI}}$
1	1434	17.4	—	—	0.75
2	1436	—	1.28	—	—
3	1437	—	1.34	—	—
4	1457	—	0.95	—	—
5	1458	18.1	2.70	—	—
6	1479	21.7	—	—	1.21
7	1480	—	2.70	0.40	—
8	1661	23.5	—	—	1.50
9	1663	—	3.00	0.40	—
10	1664	23.10	2.50	—	1.10
11	1667	—	2.40	0.40	—
12	1668	21.50	2.20	—	1.20
13	1670	—	1.30	0.40	—
14	1671	16.80	2.00	0.30	—
15	1673	—	2.20	0.30	—
16	1674	20.80	2.30	—	1.10
17	1677	22.70	2.30	—	—
18	1680	21.60	2.00	—	0.90

Определенный по формуле Инглисса-Теллера $I g n_e$, где n_e — электронная плотность после внесения поправок за дополнительное влия-

ние электронов на замыкание последних линий серии [10], оказалось равным 13.70.

Таблица

Дата	H α	H β	5876 HeI	Автор
1941	4.8	—	—	А. А. Боярчук [11]
31.10.1952	15.9	1.6	1.2	И. М. Копылов [12]
13.11.1952	20.1	1.4	1.9	
31.12.1952	—	1.5	1.4	
2.1.1953	19.0	1.5	—	Э. Р. Мустель, Л. С. Галкин, И. М. Копылов [13]
17.10.1953	12.0	1.2	—	А. А. Боярчук [14]
1955	13.0	1.1	—	

3. *Обсуждение результатов.* Теоретическое объяснение характера физических процессов, происшедших в γ Кассиопеи в течение периода активности 1935—1940 гг., дано в работе В. Г. Горбацкого [15]. Согласно [15], продолжающийся длительное время интенсивный выброс материи привел к образованию вокруг звезды протяженной оболочки. С ростом толщины оболочки увеличивается доля коротковолнового излучения, перерабатываемого посредством процесса флюоресценции, возрастают блеск и интенсивность эмиссионных линий и уменьшаются цветовая температура и величина бальмеровского скачка. Затем, с какого-то момента, мощность выброса и, соответственно, толщина оболочки становятся меньше, вследствие чего уменьшается блеск и интенсивность эмиссионных линий и растет цветовая температура и величина бальмеровского скачка.

После 1940 г. в γ Кассиопеи не произошло каких-либо существенных изменений физических условий, однако и в относительно спокойный период в ней наблюдались нестационарные процессы достаточно сложного характера.

Распределение энергии в непрерывном спектре в фотографической и ультрафиолетовой области изменялось в небольших пределах и мало отличалось от распределения энергии в обычных звездах типа В0. Незначительное понижение температуры, сопровождаемое увеличением блеска на $0^m 4$, наблюдалось в 1966 г. Возможно, это явление связано с некоторым возрастанием интенсивности выброса материи из звезды. Однако этот процесс был достаточно кратковременным и не привел к образованию мощной оболочки. Разница в значениях абсолютных градиентов, полученных рядом наблюдателей, вероятно, связана не с реальным колебанием температуры, а с выбором нуля-пункта, т. е. градиента звезды сравнения.

Согласно данным настоящей работы и ряда других [5, 6], с возрастанием длины волны в непрерывном спектре γ Кассиопеи наблюдается значительное увеличение интенсивности, особенно заметное в области спектра 0.67—2.20 μ . Покраснение в данном интервале длин

воли в 1971—1972 гг. возросло по сравнению с 1963 и 1966 гг. что, возможно, связано с увеличением количества околозвездной материи. Подобного покраснения не наблюдается в нормальных звездах типа В0.

В период вспышки 1935—1940 гг. и образования мощной оболочки бальмеровский скачок уменьшился до значения—0.30 [15]. В 1941 г., через два года после выброса последней оболочки, D , согласно наблюдениям Барбье и Шалонжа [1], был равен +0.11, т. е. даже больше, чем у нормальных звезд типа В0. Величина D , меняющаяся после 1941 г. в пределах от 0.00 до—0.11, и характер изменения этой величины свидетельствуют в пользу предположения о постоянном присутствии у звезды тонкой оболочки переменной плотности. Эта оболочка вызывает появление резких линий поглощения, разделяющих эмиссионные линии водорода на два компонента, отношение интенсивностей которых, как известно, является мерой движения оболочки в целом или какой-то ее части. Как следует из результатов данной работы, а также из результатов исследований, охватывающих период в несколько десятилетий, процесс движения масс газа в атмосфере, характеризующийся отношением V/R , является, по-видимому, нерегулярным. По смещениям резких линий поглощения оболочки видно, что в атмосфере звезды происходит, попеременно, движение материи то к наблюдателю, то к звезде.

Результаты исследований γ Кассиопеи в течение последних 40 лет позволили глубже познать природу этой звезды и вообще звезд типа Ве. Однако до сих пор остается неясным вопрос о причинах выброса материи и роли в этом процессе вращения и магнитных полей.

Считаю приятным долгом выразить благодарность доктору А. Терзяну и Е. Л. Ченцову за предоставление спектров γ Кассиопеи и Н. К. Андреасян за помощь в обработке.

Ե. Լ. ԽՉԱՆՈՎԱ

ԴԱՄՄԱ ԿԱՍԻՈՊԵԱՅԻ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ո մ

Հոդվածում բերված են γ Cas սպեկտրոֆոտոմետրիկ 1956—1970 թթ. ուսումնասիրության արդյունքները՝ էներգիայի բաշխումը անընդհատ սպեկտրում, էմիսիոն գծերի պրոֆիլները և էկվիվալենտ լայնությունները (H_{α} , H_{β} , H_{γ} և 5876 Hel), V/R հարաբերության արժեքը և ուրիշ պարամետրերը:

THE OBSERVATIONS OF GAMMA CASSIOPEJA

Summary

The results of spectrophotometric investigation of γ Cas are given. The energy distribution in continuous spectrum of γ Cas in 1956—70, the profiles and equivalent widths of the emission lines H α , H β , H γ and 5876 HeI, the value of ratio V/R and other parameters are presented.

ЛИТЕРАТУРА

1. *D. Barbier, D. Chalonge*, Ann. d'Ap., 4, 13, 1941.
2. *Л. Аллер*, Астрофизика, 1, 183, 1955.
3. *И. Д. Куно*, Астрон. ж., 36, 827, 1959.
4. *N. L. Ivanova, I. D. Kuro, A. Ch. Mamatkuzina*, Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, IAU Colloquium, Budapest, 215, 1968.
5. *H. L. Johnson*, Vol. Obs. Tonantzintla Tacubaya, 3, 305, 1964.
6. *H. L. Johnson et al.*, Commun. Lunar Planet Lab., 99, 1966.
7. *Н. Л. Иванова, Т. Н. Худякова*, АЦ, 762, 1973.
8. *T. van der Wel*, Astron. and Astr., 4, 341—356, 1970.
9. *J. V. Hutchings*, Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, IAU Colloquium, Budapest, 250, 1968.
10. *И. М. Копылов*, Изв. КРАО, 26, 234, 1961.
11. *А. А. Боярчук*, Изв. КРАО, 20, 118, 1958.
12. *И. М. Копылов*, Изв. КРАО, 12, 164, 1954.
13. *Э. Р. Мустель, Л. С. Галкин, И. М. Копылов*, Изв. КРАО, 11, 59, 1954.
14. *А. А. Боярчук*, Изв. КРАО, 16, 143, 1976.
15. *В. Г. Горбачкий*, Астрон. ж., 26, 307, 1949.