АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 7 АВГУСТ, 1971 ВЫПУСК 3

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗВЕЗД ТИПА Т ТЕЛЬЦА И БЫСТРЫХ НЕПРАВИЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Г. В. ЗАЙЦЕВА

Поступила 27 октября 1970

Исследовано абсолютное распределение энергии в непрерывном спектре четырех звезд типа I па и двух звезд типа T Tau в области 4000—6000 Å по щелевым спектрограммам, полученным на 125 *см* рефлекторе Южной станции ГАИШ с дисперсией 140 и 250 Å/*мм*. Определены спектрофотометрические градиенты и соответствующие им температуры звезд с учетом межзвездного поглощения света, а также интенсивности линий. Большинство исследованных звезд имеет спектрофотометрическую температуру, соответствующую ее спектральному классу. Звезда UX Ориона имеет избыточное покраснение.

Среди быстрых неправильных переменных Кукаркиным и др. [1] выделен тип I sa. Относящиеся к этому типу объекты считаются родственными с неправильными переменными, связанными с диффузными туманностями и, в частности, со звездами типа Т Тельца. Главной причиной, заставившей подозревать эту родственность, явилось сходство кривых блеска тех и других. Напротив, исследование спектров быстрых неправильных переменных типа I sa, проведенное Хербигом [2, 3], показало, что большинство из них не имеет ничего общего с переменными типов I ns или T Tau. Согласно Хербигу лишь у нескольких звезд типа I sa линия H_α наблюдается в эмиссии.

Местоположение некоторых из звезд типа I sa позволяет предполагать их связь со светлыми или темными туманностями и агрегатами молодых звезд. К их числу относится ряд звезд, расположенных вблизи туманности Ориона. Это также указывает на возможную родственность переменных типов I sa и I ns, хотя механизм переменности в каждом из этих типов может быть разным.

Нами были изучены спектры нескольких переменных типа I sa и двух звезд типа T Tau. Щелевые спектрограммы этих звезд с дисперсией 140 и 250 Å/*мм* были получены на 125 *см* рефлекторе Южной станции ГАИШ. Использовался дифракционный спектрограф конструкции Попова и Проника [4], установленный в кассегреновском фокусе. В табл. 1 приведены названия наблюдавшихся звезд, даты получения спектрограмм, продолжительности экспозиций и дисперсия.

Для определения распределения энергии в непрерывном спектре исследуемых звезд производилось сравнение их со звездами спектрального класса AOV, которые наблюдались на близких зенитных расстояниях с исследуемыми звездами. Распределение энергии в непрерывном спектре средней звезды AOV принято нами согласно [5].

Атмосферная экстинкция учитывалась для всех звезд на основе определений коэффициента экстинкции в зависимости от длины волны, полученных Костяковой по наблюдениям с кварцевым спектрографом на том же телескопе, что и использовавшийся нами.

Полученные средние сглаженные кривые распределения энергии для исследуемых звезд в спектральной области 4000—6000 А в относительных единицах приведены на рис. 1.

Для звезд сравнения межзвездное поглощение определялось по их избыткам цвета E(B—V), и вносились соответствующие поправки в спектральное распределение непрерывного излучения для средней звезды AOV. Величина межзвездного поглощения для исследуемых звезд обсуждалась автором ранее [6]. С использованием полученных данных наблюдаемое распределение энергии исследуемых звезд было исправлено за влияние межзвездного поглощения и определены спектрофотометрические градиенты. Мы принимали зависимость межзвездного поглощения от длины волны в виде $A_\lambda \sim \lambda^{-1}$.

В табл. 2 приведены названия звезд, тип их переменности согласно [8], относительные и абсолютные спектрофотометрические градиенты $\Delta\Phi$ и Φ, исправленные за межзвездное поглощение, соответствующая спектрофотометрическая температура, избыток цвета E(B—V), принятый согласно [6], разность избытков цвета исследуемой звезды и звезды сравнения ΔE(B—V). Далее приведены спектральные типы звезд и соответствующие им спектрофотометрические температуры.

Для звезды сравнения AO градиент в спектральной области 4000—6000 А принимался равным 1.10, что соответствует спектрофотометрической температуре 15 500° [7].

Отметим, что для звезды спектрального класса A точность определения спектрофотометрического градиента $\pm$ 0.04 соответствует

Таблица 1

Объект	Дата	Экспозиция	Дисперсия А/мм	№ негатива
VX Cas	26—27.10.68	35^m	250	571
	26—27.10.68	30	250	572
	19—20.11.68	40	250	583
	10—11.12.68	35	250	586
	12—13.12.68	25	250	587
	14—15.12.68	30	250	591
	15—16.12.68	28	250	599
	22—23.11.68	60	140	607
	18—19.01.69	60	140	627
UX Ori	22—23.12.68	70	140	609
	19—20.01.69	60	140	634
	15—16.02.69	75	140	640
	13—14.03.69	90	140	670
BN Ori	26—27.10.68	30	250	576
	28—29.10.68	20	250	580
	22—23.12.68	30	140	610
	14—15.01.69	28	140	617
	19—20.01.69	15	140	635
	10—11.02.69	22	140	639
	15—16.02.69	35	140	641
RR Tau	15—16.12.68	20	250	602
	14—15.01.69	40	140	619
	15—16.01.69	44	140	622
	17—18.01.69	58	140	625
	19—20.01.69	70	140	637
	16—17.02.69	70	140	642
	11—12.02.69	90	140	664
DF Tau	26—27.10.68	65	250	574
	28—29.10.68	70	250	578
	19—20.11.68	45	250	585
	14—15.12.68	60	250	592
	15—16.12.68	60	250	600
	22—23.12.68	120	140	608
	14—15.01.69	100	140	615
	15—16.01.69	94	140	621
	18—19.01.69	115	140	629
	19—20.01.69	100	140	633
DG Tau	26—27.10.68	63	250	575
	29—30.10.68	60	250	582
	13—14.12.68	60	250	589
	14—15.12.68	60	250	593
	15—16.12.68	60	250	601
	20—21.12.68	140	140	604
	14—15.01.69	102	140	616
	17—18.01.69	100	140	624
	18—19.01.69	100	140	631
	19—20.01.69	90	140	636
	9—10.01.69	110	140	658

точности определения температур $\pm 1000°$. Для звезд поздних спектральных классов (G—M) точность определения температур выше $-200-300°$.

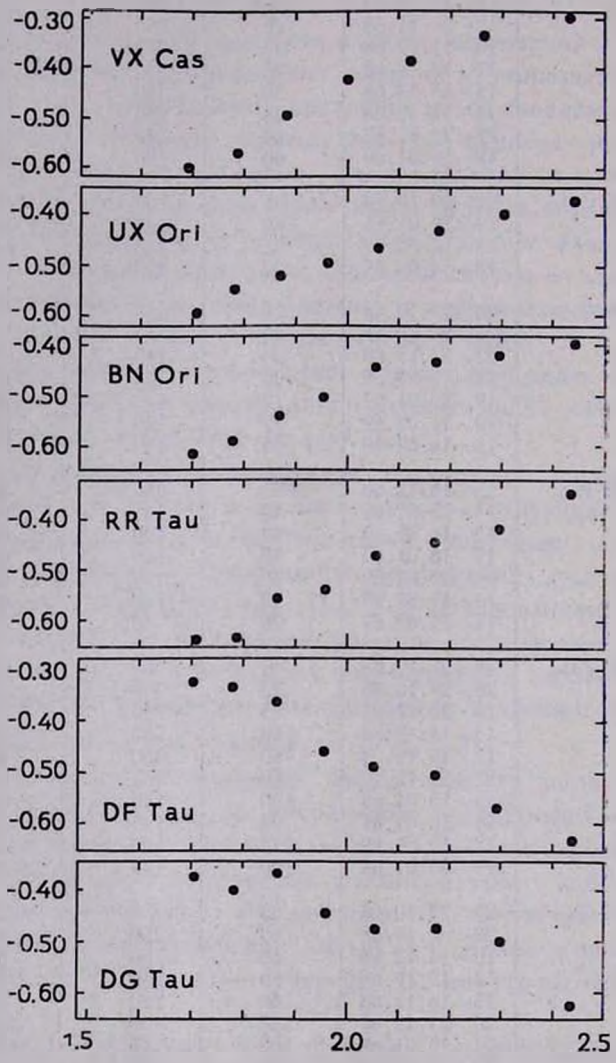

Рис. 1.

Обсуждение результатов табл. 2 будет проведено ниже вместе с описанием линейчатого спектра.

Наряду с исследованием непрерывного спектра для звезд VX Cas, UX Ori, BN Ori и RR Tau определены эквивалентные ширины линий поглощения водорода и их центральные интенсивности. Для DF и DG Tau проведено отождествление эмиссионных линий металлов и также измерены их интенсивности и эквивалентные ширины.

Таблица 2

Звезда	[8]	ΔΦ	Φ	T°	E (B—V)	ΔE (B—V)	Спектр	$T_{сн.}$
VX Cas	IsA (A)	—0.01	1.09	15750	0.28	0.2	A0	15500°
UX Ori	Isα (A)	+0.53	1.63	9200	0.08	0.0	A2eα	13200
BN Ori	Is (A)	0.46	1.56	9700	0.08	0.0	A7—A9	9400
DF Tau	I ns T (M)	1.79	2.89	5000	0.30	0.2	dM0e	3800
DG Tau	I nsTK(M)	1.59	2.69	5350	0.30	0.2	dG5e	6000

Соответствующие данные приведены в табл. 3. В первом столбце для каждой звезды даны центральные интенсивности линий в единицах интенсивности H_β, во втором — их эквивалентные ширины.

VX Cas. Спектр VX Cas классифицирован как A0 Высотским [9] по спектрам с объективной призмой и Хербигом [2] по щелевым спектрограммам. Классификация по нашим спектрограммам не противоречит этим определениям. На рис. 2 приведена регистрограмма спектра VX Cas. Эквивалентные ширины водородных линий VX Cas сравнимы

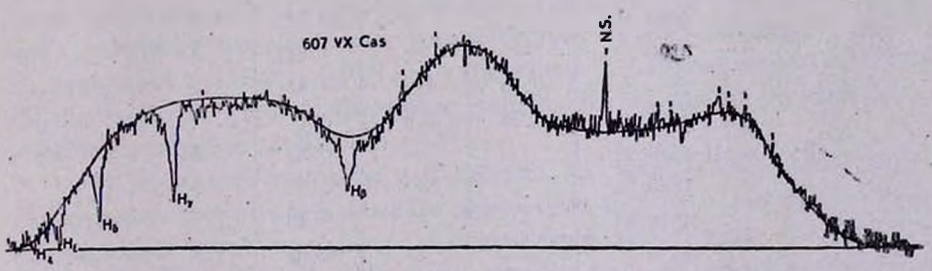

Рис. 2.

с эквивалентными ширинами соответствующих линий нормальной звезды A5 V. В принятой шкале спектрофотометрических температур температура звезды соответствует ее спектральному типу, т. е. распределение энергии не отличается от распределения энергии в нормальных звездах того же спектрального класса.

Наряду с водородными линиями поглощения на спектрограммах звезды заметны слабые эмиссионные линии, которые из-за слабости не могли быть отождествлены достаточно уверенно. Примерные длины волн этих линий следующие: $\lambda_{набл.}$ 4433, 5024, 5128 Å.

Таблица 3

Линия	VX Cas		UX Ori		BN Ori		RR Tau	
	I	W_λ	I		I	W_λ	I	W_λ
H:	1.61	5.5 Å	—	—	—		—	—
K Ca II	0.59	—	—	—	—		—	—
H_ε + H Ca II	1.81	6.8	1.67	—	1.53	3.0	2.24	2.4
H_δ	1.51	5.9	1.39	—	1.29	2.8	1.54	4.0
H_γ	1.38	6.1	1.28	—	1.12	3.2	1,32	4.3
H_β	1.00	5.0	1.00	—	1.00	3.0	1.00	4.0

Линия	DF Tau		DG Tau	
	I	W_λ, Å	I	W_λ, Å
H_η	0.54	—	—	—
H:	0.60	—	—	—
K Ca II	0.37	—	1.80	8.0
H_ε + HCa II	0.79	—	0.98	3.4
Fe I 4063 Å	—		0.49	1.4
H_δ	0.84	3.4	0.41	1.2
Fe II 4179	—	—	0.34	1.5
4233	—	—	0.24	1.0
4300	—	—	0.29	1.5
H_γ	0.89	5.2	0.45	1.5
He I 4471	0.28	1.0	—	--
Fe II 4520.23	—	—	0.36	1.5
4549.56	—	—	0.33	1.1
4576.84	—	—	0.43	1.7
4629	—	—	0.32	1.1
H_β	1.00	6.2	1.00	5.6
Fe II 4923	—	—	0.41	2.1
5018	—	—	0.48	2.2
5169	—	--	0.74	3.3
5235	—	—	0.27	1.2
5272.76	—	—	0.46	2.2
5317	—	—	0.44	2.3
He I 5876	0.38	2.2	0.33	1.6

UX Ori. По классификации Хоффмейстера [10] спектральный тип звезды A2e$_2$. Согласно нашим фотоэлектрическим наблюдениям [6] звезда является аномально красной для своего спектрального класса. Это подтверждается и распределением энергии в непрерывном спектре.

При принятом значении избытка цвета $E(B-V)=0^m08$ спектрофотометрический градиент для этой звезды примерно соответствует ее спектральному типу.

Нужно отметить, что UX Ori является изолированной быстрой неправильной переменной и может не принадлежать к комплексу звезд в Орионе. Тогда эффект аномального покраснения может быть вызван недооценкой величины межзвездного поглощения. В изучаемой области спектра других линий, кроме линий поглощения водорода, не обнаружено.

BN Ori. Хоффмейстер [10] и Пейн-Гапошкина [11] классифицируют звезду как A7. Хербиг [3] отмечает, что спектр BN Ori „пекулярный и может быть сложный, с характеристиками A и F8".

На наших спектрограммах BN Ori линии водорода более узкие, чем у звезд класса A. Линия K Ca II по интенсивности примерно равна интенсивности этой линии у нормальных звезд A9. Кроме линий водорода видны еще слабые линии поглощения, которые отождествляются с линиями нейтрального железа Fe I 4525, Fe I 5163 и Fe I 5266 Å. На спектрограммах нормальных звезд A9, полученных с этим же спектрографом, эти линии совсем не заметны и лишь появляются в F2V. Полоса G едва заметна. Присутствует очень слабая линия Mg II 4481. Если приписать BN Ori спектральный класс F0, то определенная для нее спектрофотометрическая температура будет соответствовать ее спектральному классу. Фотоэлектрические UBV-наблюдения BN Ori [6] согласуются со спектральным типом F0. На рис. 3 приведена регистограмма спектра BN Ori.

По многолетним рядам наблюдений, собранных в [11], BN Ориона свойственно долгое пребывание в максимуме блеска с незначительными колебаниями и редкие непродолжительные ослабления блеска. Эти бурные и спокойные интервалы отстоят друг от друга примерно на 10000 суток. Очередное ослабление блеска ожидается в ближайшие годы. По-видимому, наши наблюдения приходятся на период „спокойствия" звезды. По нашим наблюдениям в феврале 1970 г. звезда не изменила своего блеска по сравнению с 1967 г. [6].

RR Tau. В программу наблюдений была включена RR Тельца — звезда типа I ns$_2$(A) [8]. Для нее также получено распределение энер-

гии в непрерывном спектре в области 4000—6000 Å. Наблюдаемый спектрофотометрический градиент для нее получился равным 0.25, что соответствует бесконечно большой температуре звезды. Учет межзвездного поглощения еще усилил бы этот эффект, который, возможно, вызван наличием непрерывной эмиссии. Спектральный тип звезды B 9 [13]. На наших спектрограммах RR Tau видны лишь линии поглощения водорода.

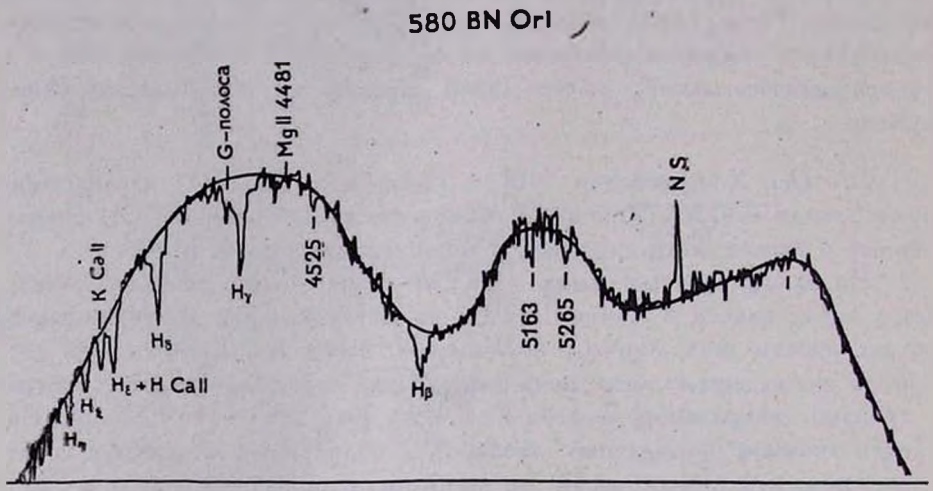

Рис. 3.

DF и DG Tau. Впервые спектры этих двух звезд типа T Тельца были исследованы Джоем и Вилсоном [14] и Джоем [15]. В спектре DF Tau были отмечены сильные эмиссионные линии H_α и H_β, интенсивные яркие линии Ca II, менее интенсивные линии излучения He I и Fe II. Спектр классифицировался как dM0e.

В спектре DG Tau (dGe) отмечены очень сильные эмиссионные линии H и K Ca II, которые превосходят по интенсивности H_α, линии излучения водорода и λ 4471 He I, слабая линия [S II] 4068. DG Tau связана с маленькой яркой туманностью Barnard № 100. Абсорбционные спектры обеих звезд завуалированы непрерывной эмиссией. Позднее обе эти звезды обнаружили изменения блеска и были причислены к классу неправильных переменных звезд типа RW Aur [16].

Распределение непрерывного излучения для этих звезд представлено на рис. 1. Относительный спектрофотометрический градиент, исправленный за межзвездное поглощение, равен 1.79 (T = 5000°) и 1.59 (T = 5380°) для DF и DG Tau соответственно. У DF Tau наблк-

дается заметное несоответствие цветовой температуры ее спектральному типу, которое в некоторой степени может быть вызвано наличием непрерывной ультрафиолетовой эмиссии. Согласно [15] у DF Tau наблюдается сильный ультрафиолетовый континуум, который у DG Tau значительно слабее. Поскольку у звезд типа Т Тельца непрерывная эмиссия иногда простирается до 4400 Å, она может исказить распределение энергии и завысить спектрофотометрическую температуру.

DG Tau находится в области с очень сильным поглощением (туманность B-217) [16], и ее цветовая температура вследствие этого может быть ниже той, которая соответствует ее спектру dG5e.

Изучение линейчатого спектра DF Tau (рис. 4) позволяет сделать следующие заключения.

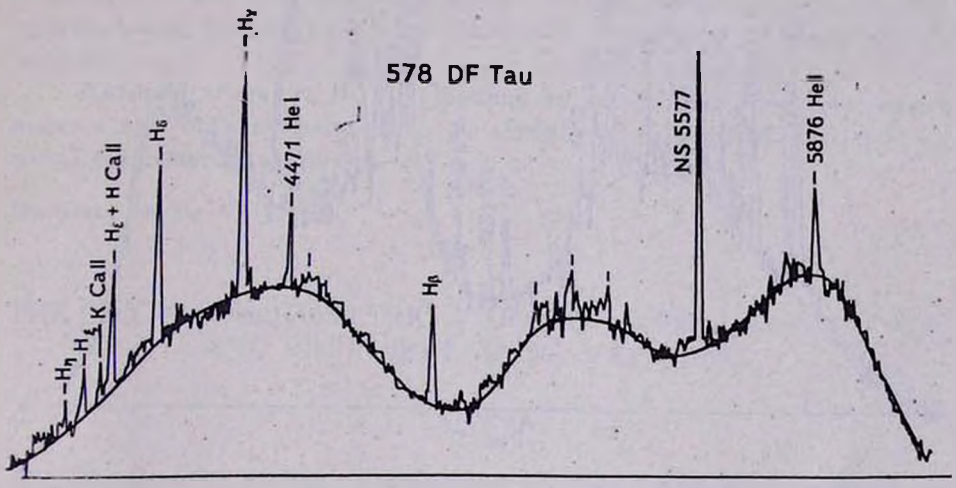

Рис. 4.

Наиболее сильно от спектра к спектру меняется интенсивность линий H и K Ca II — в 2—3 раза. Переменной интенсивностью обладают также линии водорода и He I 5876 и 4471.

Интенсивности эмиссионных водородных линий, осредненные по всем спектрограммам и исправленные за эффект межзвездного поглощения, относятся как

$$H_\beta : H_\gamma : H_\varepsilon = 1.00 : 0.95 : 0.95.$$

Видно, что у этой звезды бальмеровский декремент очень пологий.

У DG Tau (рис. 5) значительно богаче эмиссионный спектр, чем у DF Tau: присутствуют линии водорода, Ca II, многочисленные линии Fe II и He I переменной интенсивности. Линии Ca II и Fe II ме-

няют свою интенсивность в 2—3 раза. Бальмеровский декремент, исправленный за межзвездное поглощение, равен

$$H_\beta : H_\gamma : H_\delta = 1.00 : 0.49 : 0.41$$

и сильно отличается от такового для DF Tau.

По-видимому, условия образования эмиссионных линий в оболочке DG Tau существенно отличаются от таковых для оболочки DF Tau. Линии поглощения на наших спектрограммах DF и DG Tau не видны.

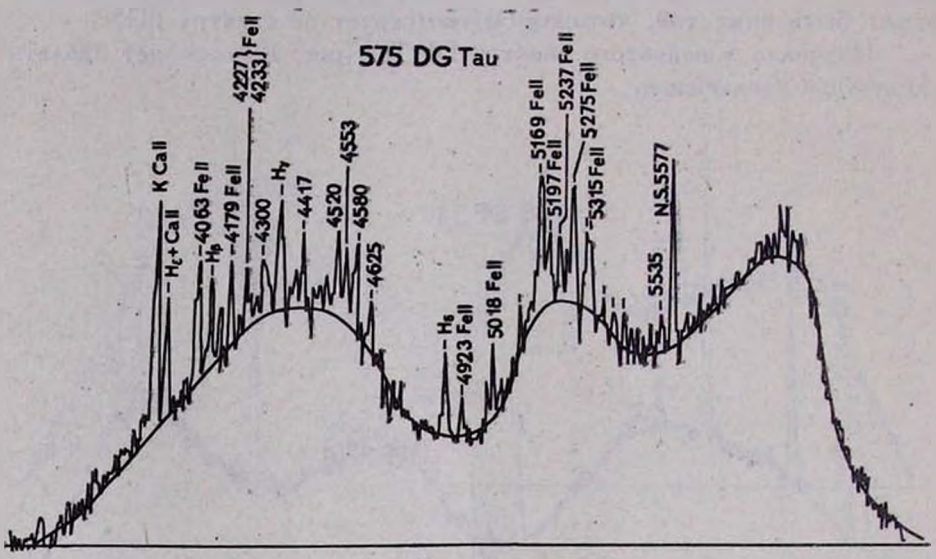

Рис. 5.

Вклад эмиссионных линий по отношению к непрерывному спектру для DG Tau составляет в полосе B около 8%, в полосе V — 4.5%, а всего в области 4000—6000 Å излучение в линиях составляет 7% общего излучения.

Для DF Tau вклад эмиссионных линий в фильтрах B и V составляет соответственно около 4 и 2%, а во всем наблюдаемом интервале длин волн — 3%.

Очевидно, максимальные наблюдаемые амплитуды изменения DF Tau, $\Delta V = 1^m.0$, $\Delta B = 1^m.6$, $\Delta U = 2^m.2$ [6] не могут быть обусловлены изменением интенсивности эмиссионных линий и вызваны изменениями в непрерывном спектре.

То же самое можно сказать и в отношении DG Tau, для которой максимальные амплитуды равны $\Delta V = 0^m.5$, $\Delta B = 0^m.6$, $\Delta U = 0^m.7$.

Наличие у UX Ориона H_2 в эмиссии и аномального покраснения, наличие у VX Cas эмиссионных линий в фотографической области спектра, пекулярность спектра BN Ориона, выражающаяся в усилении линий железа по сравнению с нормальными звездами соответствующего спектрального класса — все это говорит о большом разнообразии физических характеристик быстрых неправильных переменных. Кроме того, фотоэлектрические наблюдения этих звезд, проведенные автором в 1965—1967 гг. [6], показали, что UX Ориона при увеличении блеска становится более красной, а VX Кассиопеи, наоборот, голубеет. Этот наблюдательный факт также может свидетельствовать о различии механизмов, вызывающих переменность блеска.

Определение места неправильных переменных в эволюционной последовательности звезд не только по фотометрическим, но и по спектральным признакам, представляется очень важной и интересной задачей.

Автор благодарит В. И. Проника за предоставление менисковой камеры для спектрографа и Э. А. Дибая за содействие в получении наблюдательного материала.

Крымская станция ГАИШ

THE SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF SOME T TAURI-STARS AND RAPID IRREGULAR VARIABLES

G. V. ZAJCEVA

The absolute energy distribution in the continuous spectrum of four Isa and two T Tau stars has been investigated in the region 4000—6000 Å.

There were used the slit spectrograms, carried out with 125 *cm* parabolic reflector of Southern station in the Crimea (the dispersions of 140 and 250 Å/*mm*). The spectrophotometric temperatures, corrected for the interstellar extinction, and line intensities are determined. Spectrophotometric temperatures of the stars correspond to its spectral types in most casses. UX Ori is abnormally reddened.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Б. В. Кукаркин и др.*, ОКПЭ, т. I, 1969.
2. *G. H. Herbig*, Trans. IAU, 8, 806, 1954.
3. *G. H. Herbig*, Ap. J., 131, 632, 1960.
4. *Г. М. Попов, В. И. Проник*, Изв. КрАО, 34, 328, 1965.

5. *Б. А. Воронцов-Вельяминов, Е. Б. Костякова, О. Д. Докучаева, В. П. Архипова*, Астрон. ж., 42, вып. 4, 1965.
6. *Г. В. Зайцева*, П. З., 17, № 3, 294, 1970.
7. *W. H. Greaves*, M. N., 110, 1950.
8. *П. Н. Холопов*, Астрон. ж., 36, вып. 2, 1959.
9. *A. N. Vyssotsky*, P.A.S.P., 54, 160, 1942.
10. *C. Hoffmeister*, Astr. Nachr., 278, 24, 1949.
11. *C. Payne-Gaposchkin*, Ann. Harv. Coll. Obs., 118, No. 3, 1952.
12. *Б. А. Драгомирецкая*, Астрофизика, 1, 455, 1965.
13. *G. H. Herbig*, Ap. J., Suppl. ser., 4, No. 43, 337, 1960.
14. *A. H. Joy, R. E. Wilson*, Ap. J., 109, 231, 1949.
15. *A. H. Joy*, Ap. J., 110, 424, 1949.
16. *П. Н. Холопов*, П. З., 8, № 2, 83, 1951.