

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 14

ФЕВРАЛЬ, 1978

ВЫПУСК 1

ОПТИЧЕСКИЕ И ИНФРАКРАСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ SU TAU

В. Т. ДОРОШЕНКО, Ю. С. ЕФИМОВ, А. Э. РОЗЕНБУШ,
В. Ю. ТЕРЕБИЖ, В. И. ШЕНАВРИН

Поступила 10 августа 1977

Представлены результаты узкополосной (с разрешением 50Å и 100Å) и широкополосной (в стандартной системе Джонсона UBVJK) фотометрии, а также поляризационных наблюдений SU Tau в 1974—1977 гг. Наблюдаемая поляризация излучения SU Tau имеет в основном межзвездное происхождение. Оценка межзвездного поглощения $A_V \approx 1^{m3} - 2^{m0}$ приводит к абсолютной величине звезды $M_V \approx -3^m$, характерной для звезд типа RCrB. Непрерывный спектр SU Tau вблизи максимума блеска соответствует сверхгигантам спектрального класса не позже G1. В спектральной области 1.25—2.2 мкм отмечен избыток, соответствующий чернотельному излучению пыли с температурой около 10^3 °К. Падение яркости обусловлено, по-видимому, экранирующим действием облака графитовых частиц, имеющих радиус порядка 0.06 мкм. Ослабление блеска на $\sim 3^m$ требует поверхностной плотности пылевых частиц порядка $1.5 \cdot 10^{10}$ см⁻². Изменения блеска звезды сопровождаются сложными изменениями цвета. Наибольшее покраснение наблюдается на стадии подъема блеска, что характерно и для других звезд типа RCrB.

Введение. Звезда SU Tau принадлежит к классу переменных типа RCrB. Сравнительно немногочисленные наблюдения ее относятся в основном к эпохе максимального блеска (см. обзоры Орлова [1] и Фиста [2]). В данной статье представлены результаты фотометрических в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, поляризационных и спектральных наблюдений SU Tau, проводившихся в 1974—1977 гг. на Крымской станции ГАИШ, Крымской астрофизической обсерватории и Главной астрономической обсерватории АН УССР.

Наблюдения. Фотометрические наблюдения в видимой области спектра охватывают минимум 1975 г. и подъем блеска из минимума 1976 г. На Крымской станции ГАИШ при наблюдениях использовались 60-см рефлектор (Цейсс) с фотометром, работающим в режиме счета фотонов [3], и

125-см рефлектор (ЗТЭ) с двухканальным спектрофотометром, также работающим в режиме счета фотонов и позволяющим одновременно измерять потоки в системе UVV и сканировать спектр [4]. В Крымской обсерватории измерения блеска, цвета и поляризации проводились на 260-см рефлекторе (ЗТШ) с поляриметром, описанным в [5], и 50-см менисковом телескопе с телевизионной приставкой [6]. Несколько оценок UVV величин получено на электрофотометре ГАО АН УССР, установленном на 48-см рефлекторе (АЗТ-14) Высокогорной базы на пике Терскол [7].

Результаты фотометрических наблюдений представлены в табл. 1, где последовательно указаны: даты и средние юлианские моменты наблюдений, величины V и показатели цвета $B-V$ и $U-B$, телескоп, на котором получены соответствующие данные. Оценки величин, сделанные в одну ночь на разных инструментах, усреднены. Среднеквадратичные ошибки измерений составляют: $\sigma_V = \sigma_B = 0^m02$, $\sigma_U = 0^m06$.

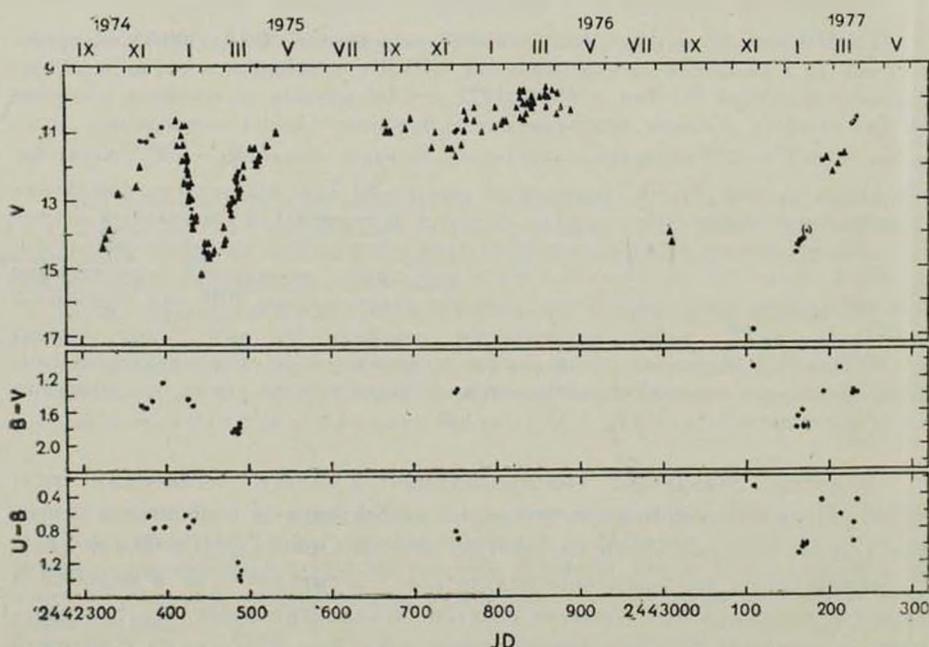


Рис. 1. Изменения блеска и показателей цвета SU Тау в 1974—1977 гг.; ▲ — результаты измерений [8, 9], ● — данной работы.

На рис. 1 представлена кривая блеска SU Тау в рассматриваемый период, причем для полноты приведены и визуальные оценки блеска звезды опубликованные в циркулярах МАС [8, 9].

Таблица 1

Дата	JD	V	B-V	U-B	Телескоп
19.11.74	2442371.53	11.25	+1.52		ЭТШ.
25.11.74	377.38	11.28	1.54	+0.64	Цейсс
02.12.74	384.46	11.07	1.47	0.78	..
15.12.74	374.40	10.86	1.26	0.76	..
13.01.75	426.29	11.67	1.44	0.77	..
14.01.75	427.22	11.87	1.44	0.63	..
19.01.75	432.46	13.24	1.53	0.69	Цейсс, АЗТ-14
20.01.75	433.25	13.70	1.52	—	АЗТ-14
05.03.75	477.28	13.2	—	—	50-см, TV
08.03.75	480.35	12.90	1.63	—	ЭТШ
12.03.75	484.28	12.4	1.8	—	50-см, TV
13.03.75	485.25	12.48	1.86	1.18	Цейсс
14.03.75	486.31	12.38	1.85	1.34	..
15.03.75	487.31	12.27	1.78	1.40	..
17.03.75	489.33	12.16	1.74	1.18	..
03.12.75	750.47	11.00	1.38	0.82	АЗТ-14
05.12.75	752.33	10.93	1.34	0.91	..
16.01.77	2443160.34	14.57	1.80	—	Цейсс
19.01.77	163.38	14.33	1.68	—	ЗТЭ
20.01.77	164.37	14.31	1.68	1.11	ЗТЭ, Цейсс
23.01.77	167.44	14.22	1.65	1.03	Цейсс
27.01.77	170.5	14.0:	1.8:	1.0:	..
17.02.77	192.50	11.90	1.38	0.46	ЗТЭ
09.03.77	212.38	11.73	1.10	0.64	Цейсс
25.03.77	228.35	10.78	1.40	0.96	..
26.03.77	229.36	10.72	1.37	0.75	..
29.03.77	232.33	10.59	1.38	0.47	..

Поляризационные наблюдения выполнены с одноканальным фотоэлектрическим поляриметром [5], установленным в кассегреновском фокусе ЭТШ. Результаты наблюдений представлены в табл. 2, где указаны даты и юлианские моменты наблюдений, среднее значение степени поляризации \bar{p} и его среднеквадратичная ошибка σ_p , среднее значение позиционного угла плоскости колебаний электрического вектора в экваториальной системе координат \bar{U} и его среднеквадратичная ошибка σ_U для цветовых полос В, V, О и R с эффективными длинами волн 4340, 5450, 6190 и 7440 А соответственно.

Таблица 2

Дата	JD	B		V		O		R	
		$P^{\circ}/_0$	l_j°	$P^{\circ}/_0$	l_j°	$P^{\circ}/_0$	l_j°	$P^{\circ}/_0$	l_j°
19.11.74	2442371.53	1.66 ± 0.15	162.0 ± 2.6	2.00 ± 0.07	163.3 ± 1.0	1.96 ± 0.08	164.4 ± 1.1	1.88 ± 0.10	161.2 ± 1.4
16.12.74	398.42	—	—	2.04 ± 0.10	162.6 ± 1.4	1.84 ± 0.15	162.1 ± 2.3	1.97 ± 0.09	159.4 ± 1.3
08.03.75	480.35	1.18 ± 0.39	179.3 ± 9.4	1.52 ± 0.19	158.8 ± 3.5	—	—	1.59 ± 0.21	167.0 ± 3.8
08.11.75	725.52	1.85 ± 0.10	154.2 ± 1.6	1.87 ± 0.07	158.0 ± 1.1	2.00 ± 0.08	155.8 ± 1.2	1.56 ± 0.28	152.0 ± 5.3

Спектрофотометрические наблюдения проводились при помощи двух приборов, устанавливаемых в каскадном фокусе ЗТЭ: спектрометра системы Сейя-Намиока [10] в спектральной области 3300—7800 Å с выходной щелью $\delta\lambda = 50$ Å и на упоминавшемся выше двухканальном спектрофотометре в области 3500—7500 Å с разрешением $\delta\lambda = 100$ Å.

В качестве спектрофотометрических стандартов использовались звезды β Ari, BS 2199 и ζ Ari. Данные о распределении энергии в спектре этих звезд, содержащиеся в каталоге Никонова и Терез [11], корректировались с учетом новой калибровки α Lyr, выполненной Хэйсом и Латамом [12]. При обработке данных наблюдений 1975 г. учитывалась среднегодовая атмосферная экстинкция; в 1977 г. атмосферная экстинкция определялась каждую ночь по наблюдениям стандартной звезды на разных зенитных расстояниях.

Инфракрасные наблюдения проводились на ЗТЭ при помощи фотометра с сернисто-цинковым сопротивлением в стандартной JK системе Джонсона с эффективными длинами волн 1.25 мкм и 2.2 мкм. В табл. 3 последовательно приводятся: дата и моменты наблюдений, звездные величины в фильтрах J, K и логарифмы внеатмосферных потоков в тех же спектральных областях.

Таблица 3

Дата	JD 2442000 +	J		K		$\lg E_v$ ($\text{эрг/см}^2 \text{сек Å}$)	
		$\lambda_{\text{eff}} = 1.25 \text{ мкм}$	$\lambda_{\text{eff}} = 2.2 \text{ мкм}$	$\lambda = 1.25 \text{ мкм}$	$\lambda = 2.2 \text{ мкм}$		
17.03.75	489.29	8.4	—	—12.809	—		
17.02.76	826.42	—	6.42 \pm 0.05	—	—12.968		
	.44	7.84 \pm 0.09	—	—12.616	—		
18.02.76	827.37	8.07 \pm 0.09	6.43 \pm 0.03	—12.708	—12.972		
10.03.76	848.34	8.19 \pm 0.06	6.75 \pm 0.06	—12.972	—13.000		
04.04.76	873.27	8.20 \pm 0.15	(6.26 \pm 0.07):	—12.760	—12.904:		

Обсуждение результатов. Фотометрия. В фотометрическом отношении SU Тау столь же активна, как и R CrB: минимумы блеска у этой звезды бывают практически ежегодно. Амплитуда переменности и продолжительность минимумов весьма разнообразны. Как правило, падение блеска происходит быстрее, чем последующий подъем.

В январе—феврале 1975 г. началось очередное падение блеска SU Тау, хотя к этому времени звезда еще не вернулась в нормальное состояние (согласно Ферни и др. [13], при этом $V = 9.77$, $B - V = +1.08$, $U - B = +0.43$). Уменьшение блеска на 3^m с 15.12.74 по 20.01.75 сопровождалось увеличением показателя цвета $B - V$ на 0^m3 : показатель $U - B$ при этом не изменился в пределах ошибок наблюдений. Наибольшие значения показателей цвета ($B - V \simeq 1.8$, $U - B \simeq 1.4$, $V - J \simeq 3.76$) наблюдаются на среднем участке подъема кривой блеска в середине марта 1975 г.

Минимум 1976 г. был глубже и продолжительнее предыдущего. Интересно, что, согласно измерениям Ландольта [14], в минимуме блеска (JD 2443109, $V = 16.89$) показатели цвета имели значения $B - V = +1.08$, $U - B = +0.30$, характерные для нормального состояния.

Как и в 1975 г., наибольшие показатели цвета $B - V \simeq 1.7$, $U - B \simeq 1.1$ достигаются при последующем увеличении яркости звезды (20.01.77). Подобные эффекты наблюдались и у других звезд этого типа: R CrB [15] и RY Sgr [16].

Поляриметрия. Поляризационные наблюдения SU Тау выполнены в предмаксимальной фазе блеска (19.11.74, 16.12.74 и 8.11.75) и во время выхода звезды из глубокого минимума (8.3.75). Как видно из табл. 2, величина поляризации во всех спектральных полосах довольно велика ($p \simeq 1.8\%$), а изменения позиционного угла θ малы. Степень поляризации незначительно меняется со временем и почти не зависит от длины волны. Небольшое уменьшение величины поляризации наблюдалось 8 марта 1975 г. при выходе звезды из минимума. Во всяком случае, изменения поляризации существенно меньше тех, которые происходили во время минимума блеска R CrB 1972 г.

Параметры поляризации излучения звезды сравнения, находящейся в непосредственной близости к SU Тау, оказались близки к измеренным для SU Тау. Это позволяет предположить, что значительная часть наблюдаемой поляризации излучения SU Тау обусловлена межзвездной средой. Для проверки этого предположения сравнивались параметры поляризации SU Тау и 17 далеких звезд в ее окрестности радиусом около 4° , взятых из каталогов Хилтнера [17] и Мэтьюсона и Форда [18]. Оказалось, что позиционные углы плоскости поляризации SU Тау и окрестных звезд близки. Зависимость степени поляризации от длины волны для большинства

дат наблюдений также мало отличается от таковой для межзвездной среды (рис. 2). Таким образом, наблюдаемая поляризация излучения SU Tau имеет в основном межзвездное происхождение.

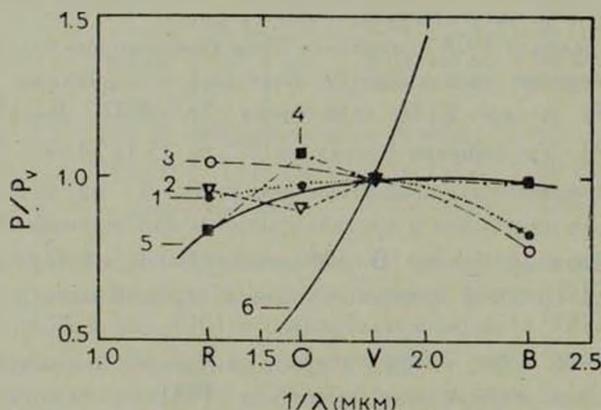


Рис. 2. Зависимость степени поляризации от длины волны. 1, 2, 3, 4 — измерения соответственно 19.11.74, 16.12.74, 8.3.75, 8.11.75; 5 — зависимость для межзвездной поляризации; 6 — для поляризации при релеевском рассеянии.

Согласно Хилтнеру [17], отношение степени поляризации, выраженной в звездных величинах, к поглощению A_V в направлении на SU Tau равно приблизительно 0.03. Принимая для SU Tau $p \approx 1.8\%$, находим отсюда $A_V = 1^m3$. Построив далее по данным [17, 18] зависимость A_V и p от истинного модуля расстояния для звезд в направлении на SU Tau (рис. 3), получим оценку $m_0 - M \approx 10 - 11$, откуда при $m_{V_{\max}} \approx 9.5$ и $A_V \approx 1^m5$ следует $M_V \approx -3$ и расстояние до звезды $r \approx 2.5$ клс.

Спектрофотометрия. Полученные нами данные о распределении энергии в непрерывном спектре SU Tau относятся к трем различным фотометрическим состояниям звезды: 1) начало падения блеска (январь 1975 г., $V \approx 11.4$, $B - V \approx +1.4$, $U - B \approx +0.8$), 2) состояние, близкое к минимуму (январь 1977 г., $V \approx 14.3$, $B - V \approx +1.6$, $U - B \approx +1.0$) и 3) состояние, приближающееся к нормальному при выходе звезды из минимума (февраль 1977 г., $V \approx 11.9$, $B - V \approx +1.4$, $U - B \approx +0.5$). Соответствующие распределения представлены на рис. 4.

Относительные распределения энергии на входе в минимум и на выходе из него почти совпадают. Распределение энергии в континууме вблизи минимума блеска значительно «краснее» распределений в двух других состояниях. Таким образом, наблюдается возврат спектральных и фото-

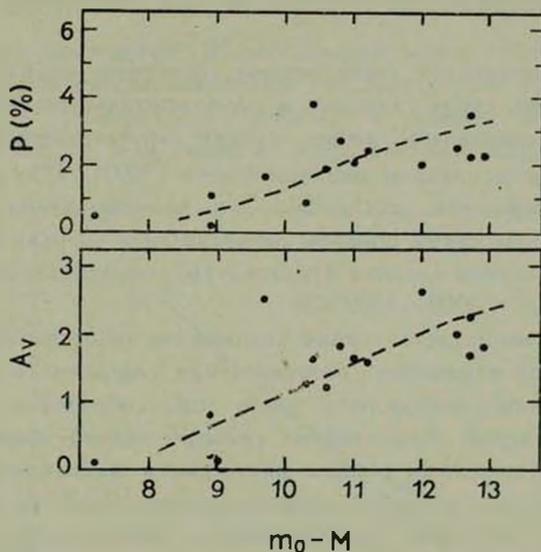


Рис. 3. Зависимость степени поляризации и межзвездного поглощения от истинного модуля расстояния для звезд в окрестности SU Tau.

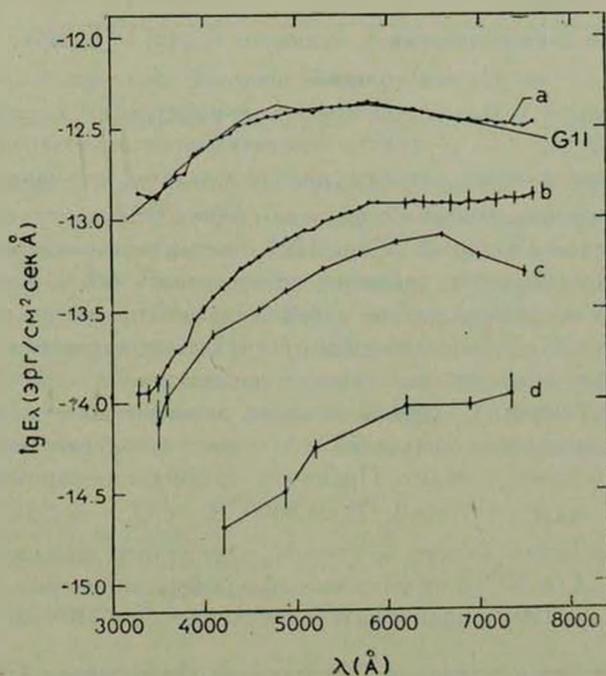


Рис. 4. Распределение энергии в непрерывном спектре SU Tau; b, c, d — наблюдаемые распределения соответственно 10.01.75, 17.02.77 и 19—20.01.77; a — распределение b, исправленное за межзвездное поглощение.

метрических характеристик, свойственных состоянию нормального блеска, независимо от того, сколь глубоким и продолжительным был минимум.

Используя сделанную выше оценку межзвездного поглощения ($A_V \approx 1^m 5$), мы исправили наблюдавшееся 10.01.1975 распределение энергии в непрерывном спектре SU Tau за межзвездное поглощение (рис. 4). Полученное таким образом распределение энергии хорошо согласуется с распределением энергии в континууме сверхгигантов спектрального класса G1 ($T_{\text{eff}} \approx 5000\text{--}5500^\circ\text{K}$).

По современным представлениям уменьшение яркости звезд типа RCrV и соответствующие изменения распределения энергии в непрерывном спектре обусловлены поглощением света при образовании графитовых частиц над фотосферой. Эффективные размеры частиц можно оценить по спектральным наблюдениям вблизи минимума и максимума блеска.

Как известно, спектральные характеристики RCrV во время различных минимумов изменялись приблизительно одинаково. Поскольку спектральные изменения SU Tau изучены недостаточно, будем считать, что наблюдения 19.01.1977 г. относятся к типичному состоянию минимального блеска, а наблюдения 10.01.1975 г. — к типичному состоянию вблизи максимума.

Распределение энергии в минимуме $I_{\text{min}}(\lambda) = I_{\text{max}}(\lambda) e^{-\tau_\lambda}$, где $\tau_\lambda = n \cdot s \cdot Q \cdot \pi a^2$ — оптическая толщина пылевой оболочки, s — ее геометрическая толщина, n и a — соответственно концентрация и средний радиус графитовых частиц, Q — фактор эффективности ослабления. Используя данные о распределении энергии, можно показать, что зависимость τ_λ от λ^{-1} приблизительно линейна с наклоном около 0.67, что соответствует, согласно расчетам Петерсона и др. [20], частицам с размерами 0.01 мкм и 0.06 мкм. Предпочтение, вероятно, нужно отдать более крупным частицам, так как в противном случае наблюдаемая зависимость степени поляризации от длины волны сильнее бы отличалась от таковой для межзвездной поляризации в сторону зависимости, характерной для поляризации при релеевском рассеянии. С другой стороны, можно полагать, что размеры частиц околозвездной пылевой оболочки не превышают размеров частиц межзвездной пыли. Принимая размеры графитовых частиц $\langle a \rangle \approx 0.065$ мкм, $\langle \tau_\lambda \rangle = 3$, $T_* = 5000^\circ\text{K}$, $\langle Q \rangle \sim 1.5\text{--}2.0$ [21], находим полное число частиц в столбе единичного сечения: $N \approx 1.5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Для RCrV по данным наблюдений минимума 1974—75 гг. Петерсон и др. [20] нашли близкое значение $N \approx 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Инфракрасная фотометрия. Приведенные выше оценки блеска SU Tau в ИК—диапазоне являются пока единственными для этой звезды. Наблюдения 1976 г. относятся к фазе нормального блеска. Согласно данным [9], в этот период $m_{\text{ИК}} \approx 10.2$. Считая, что показатели цвета В—V и U—В

звезды во время проведения ИК-наблюдений равны типичным для состояния максимального блеска значениям +1.08 и +0.43 соответственно, нетрудно получить распределение энергии в спектре SU Tau в области 0.4—2.2 мкм (рис. 5). Как видно из этого рисунка, исправленное за меж-

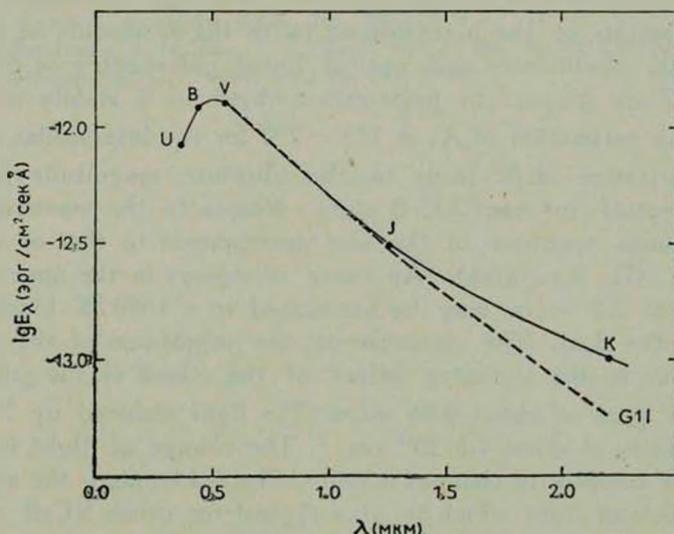


Рис. 5. Распределение энергии в спектре SU Tau в период максимального блеска.

звездное поглощение распределение энергии в спектре SU Tau в широком спектральном интервале 0.4—1.25 мкм удовлетворительно согласуется с таковым для звезды спектрального класса G11. В более длинноволновой области спектра SU Tau наблюдается избыток, обусловленный, по-видимому, присутствием пыли. Согласно Фисту и Глассу [19], подобные инфракрасные избытки наблюдаются у всех звезд типа RCrB. Если весь избыток в спектре SU Tau приписать присутствию пыли в атмосфере звезды, то температура пыли оказывается близкой к 1000—1100°K. Таким образом, пылевая компонента присутствует и в периоды, когда звезда находится в нормальном состоянии.

Крымская станция ГАИШ

Крымская астрофизическая обсерватория

Главная астрономическая обсерватория

АН УССР

THE OPTICAL AND INFRARED OBSERVATIONS OF SU TAU

V. T. DOROSHENKO, Yu. S. EFIMOV, A. E. ROSENBUSH,
V. Yu. TEREbizh, V. I. SHENAVRIN

The results of the narrow-band (with the resolution of 50–100Å) and UBVIJK photometry and optical linear polarimetry of SU Tau in 1974–1977 are given. The polarization observed is mainly an interstellar one. An estimation of $A_V \approx 1^m3 + 2^m0$ for the interstellar absorption from polarization data leads to the absolute magnitude $M_V \approx -3^m$ which is typical for the RCrB stars. Nearer to the maximum of light the continuous spectrum of the star corresponds to that of a type not later than G1 supergiant. An excess of energy in the spectral region from 1.25 to 2.2 μm may be associated to a 1000 °K black body radiation of the dust. The decrease of the brightness of the star is apparently due to the shielding effect of the cloud of the graphite particles with sizes of about 0.06 μm . The light reduced by 3^m needs a column density of about $1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$. The change of light is accompanied by the complicate changes in color. The reddening is the most in the rising branch of light which is also typical for other RCrB type stars.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Я. Орлов, ПЗ, 19, № 6, 501, 1975.
2. M. W. Feast, IAU Symposium No. 67, Dordrecht-Holland Boston-USA, 1975, p. 129.
3. В. М. Лютый, Сообщ. ГАИШ, № 172, 30, 1971.
4. В. Ю. Тербиж, Сообщ. ГАИШ, 1978 (в печати).
5. Н. М. Шаховский, Ю. С. Ефимов, Изв. Крымской обс., 54, 99, 1976.
6. А. Н. Абраменко, Л. Ф. Истомин, В. В. Прокофьева, Изв. Крымской обс., 41–42, 372, 1970.
7. А. Ф. Пулич, Р. Р. Кондратюк, А. Э. Розенбуш, Астрометрия и астрофизика, 25, 111, 1975.
8. Circ. IAU, № 2707, 2729, 1974; № 2751, 2767, 1975; № 2995, 1976; № 3050, 1977.
9. Plaut observations of variable stars, Kaptein Astr. Lab., Reports No. 28, 1975; No. 29, 30, 1976.
10. И. Н. Глушинева, А. В. Харитонов, И. Б. Волошина, Е. А. Глушкова, В. Т. Дорошенко, Е. А. Кологиллов, М. Ф. Новикова, И. Г. Петровская, В. Т. Ребристый, В. М. Терещенко, Т. С. Фетисова, Л. Д. Фришберг, Сообщ. ГАИШ, № 197–198, 3, 1975.
11. В. Б. Никонов, Г. А. Терса, Изв. Крымской обс., 54, 35, 1976.
12. D. S. Hayes, D. W. Latham, Ap. J., 197, 593, 1975.
13. J. D. Fernie, V. Sherwood, D. L. Du Puy, Ap. J., 172, 383, 1972.

14. *A. U. Landolt*, IBVS, No. 1253, 1977.
15. *M. Nakagiri*, P. A. S. Japan, 27, No. 2, 375, 1975.
16. *J. B. Alexander, P. J. Andrews, R. M. Catchpole, M. W. Feast, T. Lloyd Evans, J. W. Menzies, P. N. J. Wisse, M. Wisse*, M. N., 158, 305, 1975.
17. *W. A. Hiltner*, Ap. J., Suppl. ser., 2, 389, 1956.
18. *D. S. Mathewson, V. L. Ford*, Mem. Roy. Astron. Soc., 74, 39, 1970.
19. *M. W. Feast, I. S. Glass*, M. N., 161, 293, 1973.
20. *R. S. Patterson, J. D. Fix, J. S. Neff*, Ap. J., 204, No. 3, 838, 1976.
21. *R. C. Gilman*, Ap. J., Suppl. ser., 28, 397, 1974.