

УДК 524.33

В. И. Кардополов, Ф. К. Рспаев

## Пылевая оболочка RR Tau

Приведены результаты измерений (в полосах  $B$ ,  $V$ ,  $R$ ) линейной поляризации звезды Ae Хербига RR Tau. Поляриметрические и фотометрические характеристики этой звезды сравнены с аналогичными данными для UX Ori [1] и с результатами модельных расчетов рассеяния света звезды пылевыми частицами околозвездной оболочки [2]. Отмечено, что у обеих звезд зависимости степени поляризации от блеска, как и их цветовые диаграммы, однотипны. Это подтверждает мысль об одинаковой природе RR Tau и UX Ori. Основным источником наблюдаемой переменности RR Tau, вероятнее всего, являются процессы в околозвездной оболочке.

*DUST ENVELOPE OF RR TAU, by Kardopolov V. I., Rspaev F. K.*—The results of  $B$ ,  $V$ ,  $R$  linear polarization observations of Herbig Ae star RR Tau are given. The polarimetric and photometric data for RR Tau are compared with those for UX Ori [1] and with the calculations of the star light scattering by dust particles within the framework of the circumstellar extinction model [2]. The linear polarization degree—brightness and the colour—magnitude diagrams of RR Tau and UX Ori are similar. This indicates the identical nature of these objects. It is quite possible that the processes in circumstellar envelope are the main source of the RR Tau variability.

**Введение.** Интерес к звездам Ae/Be Хербига как к возможной физически однородной группе связан с попыткой поиска аналогов переменных типа  $InT$  среди более массивных звезд [19]. Относительно типа  $InT$  высказывалась мысль, что внутри него должна быть дифференциация по возрасту, т. е. должна проявляться эволюционная последовательность [20, 27]. Результаты сопоставления цветовых диаграмм не противоречат (на данном этапе исследований) этому предположению [9, 10]. Переменные типа Т Тельца по виду зависимостей блеск — показатель цвета, т. е. по характеру фотометрической активности, отчетливо разделились на подгруппы. Наличие их рассматривается как следствие смены механизмов нестационарности по мере продвижения звезд к главной последовательности [9, 10]. Не исключено, конечно, что обнаруженные различия у переменных типа  $InT$  — членов разных подгрупп обусловлены причинами, которые пока не известны. Подобную дифференциацию, учитывая сравнительно более высокий темп эволюции массивных звезд, логично ожидать и в случае звезд Ae/Be Хербига. У немногочисленной группы предполагаемых молодых А-звезд (большинство из них включено в списки [19, 21]) также обнаружена тенденция, отмеченная выше у переменных типа Т Тельца [10]. Говорить о какой-либо последовательности еще рано, так как к настоящему времени наиболее надежно определилась подгруппа, типичным представителем которой, по-видимому, является R CrA [10]. В нее вошли UX Ori, BF Ori, V586 Ori, RR Tau [3, 5, 7, 10].

Чтобы конкретизировать механизмы нестационарности на ранних этапах эволюции, необходимо выявить как можно больше общих свойств исследуемых объектов, т. е. сравнить не только их кривые блеска, но и другие наблюдаемые характеристики. Недавно изучено поведение линейной поляризации переменной UX Ori. Проведенные многоцветные поляриметрические измерения охватывают почти весь диапазон изменений блеска звезды [1]. Аналогичные наблюдения получены нами для RR Tau. Это позволяет расширить рамки поиска общих закономерностей у объектов подгруппы R CrA.

**Параметры линейной поляризации RR Tau и их поведение.** Поляриметрические наблюдения RR Tau, начатые в 1985 г. [8], продолжены в 1986—1987 гг. с той же аппаратурой. Результаты приведены в

таблице. Электрический вектор межзвездной поляризации в области, на которую проектируется переменная, по-видимому, параллелен или почти параллелен плоскости экватора [18]. В то же время из ранних

Результаты поляриметрических наблюдений

<i>J. D.</i> 2 446 000+	<i>V</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>	<i>P<sub>B</sub></i> , %	$\theta_B$ , град	<i>P<sub>V</sub></i> , %	$\theta_V$ , град	<i>P<sub>R</sub></i> , %	$\theta_R$ , град
681.41	12.01	0.65:	0.72	2.06±0.85	16±9	3.19±0.18	30±2	2.89±0.62	31±2
682.41	12.42	0.74	0.86	4.82±0.36	39±2	4.05±0.36	27±3	4.34±0.26	31±2
688.41	11.96	0.67	0.71	3.08±0.60	25±6	3.26±0.96	25±8	2.65±0.32	27±3
705.43	11.38	0.65	0.66	1.90±0.40	28±6	2.40±0.35	29±4	2.28±0.35	30±4
706.39	11.38	0.62	0.70	1.72±0.09	30±2	2.17±0.17	22±2	1.65±0.25	25±4
708.33	11.42	0.63	0.66	2.24±0.50	23±6	2.50±0.13	28±1	1.50±0.42	21±8
710.38	11.57	0.69	0.71	2.05±0.64	22±9	2.47±0.37	35±4	2.23±0.29	28±4
717.35	11.68	0.70	0.71	2.55±0.36	22±4	2.80±0.06	31±1	2.45±0.31	22±4
730.36	10.96	0.54	0.52	1.34±0.21	22±5	2.01±0.13	22±2	1.90±0.21	24±3
731.30	10.93	0.50	0.53	1.12±0.12	30±3	2.12±0.09	24±1	1.43±0.07	27±1
759.38	10.87	0.53	0.56	2.11±0.13	29±2	1.60±0.12	27±2	1.73±0.17	25±3
760.45	10.83	0.53	0.54	1.57±0.21	23±4	1.56±0.19	35±3	1.94±0.12	27±2
825.30	11.96	0.61	0.77	3.20±0.40	16±4	2.81±0.23	17±2	2.36±0.11	33±1
827.30	12.08	0.63	0.78	2.84±0.51	25±5	3.17±0.56	12±5	2.98±0.41	21±4
881.20	13.25	0.68	—	5	—	4.90±0.93	9±5	—	—
1125.44	12.24	0.62	0.82	4.34±0.69	34±5	3.24±0.48	35±4	3.57±0.32	27±3
1126.44	12.16	0.65	0.83	2.63±0.53	20±6	3.74±0.79	26±6	3.75±0.49	34±4
1129.26	11.56	0.71	0.60	2.83±0.60	21±6	3.11±0.42	29±4	2.67±0.52	30±6
1142.35	11.11	0.47	0.61	2.37±0.12	28±1	1.14±0.20	28±5	1.50±0.36	26±7

наблюдений известно, что для RR Тау угол  $\theta \geq 30^\circ$  [14, 17, 26]. Но основным аргументом в пользу собственной линейной поляризации у RR Тау является переменность степени поляризации  $P_\lambda$  [17, 26]. Зависимость  $P_\lambda$  (без учета межзвездной составляющей) от блеска звезды в полосах *B*, *V* и *R* показана на рис. 1. Амплитуда изменения блеска RR Тау (по имеющимся фотоэлектрическим измерениям [6, 12, 23]) доходит до  $3.8^m$  в полосе *V*, т. е. поляриметрическими наблюдениями охвачено около половины интервала изменения блеска звезды (рис. 1). Достаточно глубокий минимум блеска зарегистрирован только один раз (в *J.D.* 2 446 881), но, к сожалению, погодные условия в эту ночь не позволили определить величину поляризации с приемлемой точностью (таблица). В исследуемом диапазоне звездных величин степень поляризации  $P_\lambda$  переменной увеличивается при падении ее блеска. Все три зависимости нелинейны. Доля поляризованного света нарастает быстрее на более низких уровнях яркости звезды (рис. 1).

Угол линейной поляризации RR Тау изменяется в сравнительно небольших пределах (примерно на  $20^\circ$ ). Отчетливых закономерностей при этом не обнаружено, что может быть обусловлено малочисленностью данных и, в частности, отсутствием поляриметрических наблюдений вблизи минимального блеска звезды. Но не исключено, что угол  $\theta_\lambda$  уменьшается с увеличением  $P_\lambda$  (таблица). Отметим, что та же тенденция предполагалась и ранее [8]. Одна из вероятных причин вариаций  $\theta_\lambda$  — разная ориентация векторов межзвездной и собственной поляризации и переменность последней. Коснемся вопроса о межзвездной составляющей. Ближайшая (в картинной плоскости) к RR Тау звезда с измеренными параметрами линейной поляризации — HDE 245 770 (стандарт *e* на расстоянии примерно  $2.5'$  к югу от RR Тау [23]). Величины  $P_V$  и  $\theta_V$  для нее по данным [18] равны  $0.74\%$  и  $0^\circ$  соответственно, по нашим наблюдениям —  $0.70 \pm 0.08\%$  и  $0 \pm 3^\circ$ . HDE 245 770 видна на снимках (например, на картах *PSA*) на фоне небольшой светлой туманности. От нее в направлении RR Тау прослеживается светящаяся полоса. Исходя из этого, логично предположить наличие у HDE 245 770 околос звездного вещества и, следовательно, собственной поляри-

зации. Измерения других звезд в области RR Тау дали значения  $P_V = 1-2\%$  и более [18]. Не зная закона изменения поляризации при погружении в облако и точного расстояния RR Тау от его внешней границы, нельзя уверенно оценить суммарный вклад межзвездной среды.

Таким образом, пока корректный учет межзвездной поляризации в случае RR Тау затруднен. Но это обстоятельство не должно отразиться на выводах, полученных в данной работе.

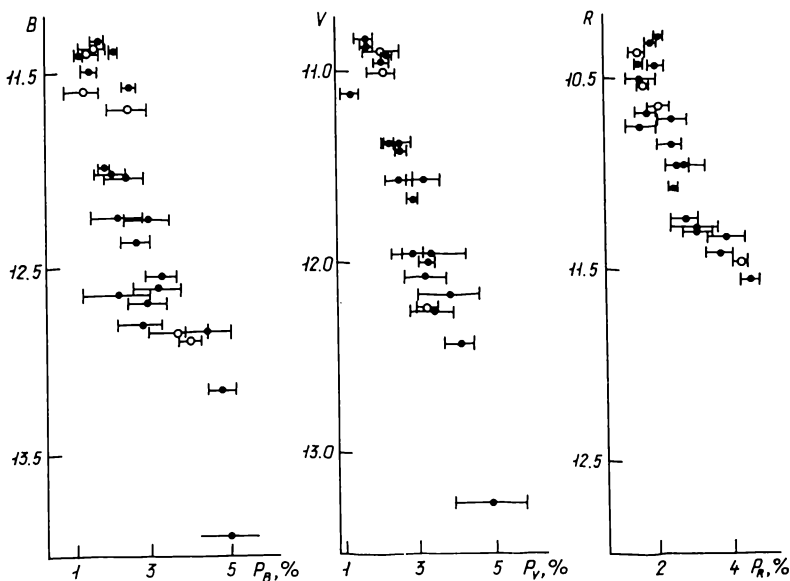


Рис. 1. Зависимости степени линейной поляризации RR Тау от блеска в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$ . Кружки — первые измерения [8], точки — данные, приведенные в таблице

**Об одном из возможных источников активности RR Тау.** Вопрос о пылевых оболочках у звезд Ae/Be Херbigа обсуждается много лет [24]. Индикаторами пыли в околозвездном пространстве этих объектов (в том числе и RR Тау) могут быть, в частности, избытки в красной и ИК-областях спектра [6, 24, 25]. В работе [25] показано, что оболочка RR Тау должна представлять собой оптически толстый диск, и предсказана высокая степень линейной поляризации этой звезды. Предполагалось, что неоднородности в околозвездной оболочке являются причиной алголеподобных ослаблений блеска звезды [23]. По данным первых поляриметрических измерений RR Тау [14, 17] независимо высказана мысль, что вариации  $P_\lambda$  скорее всего обусловлены изменениями плотности среды, ответственной за поляризацию [17].

Цветовые диаграммы RR Тау представлены на рис. 2. Используются данные [6, 12] и результаты наших наблюдений. На примере зависимости  $V$ ,  $(B-V)$  видно, что если на первом этапе уменьшения блеска переменная становится более красной, то дальнейшее ее ослабление сопровождается уменьшением показателя цвета. Чтобы объяснить «аномальное» поведение цветовых характеристик звезд, предполагали существование дополнительного источника эмиссии в синей и УФ-областях спектра (см., например, [3, 4, 11, 22]). Более приемлемой представлялась возможность значительных изменений температуры RR Тау [8].

В. П. Гринин [2] считает источником эмиссии рассеяние излучения звезды на частицах пыли. В последнем рассмотренном варианте модели оптически толстые облака или сгущения пылевых частиц, движущи-

еся по кеплеровским орбитам, погружены в оптически тонкую эллипсоидальную оболочку постоянной плотности. Результаты расчетов в приближении однократного рассеяния сопоставлены с данными фотометрических и поляриметрических наблюдений UX Ori [1]. Наблюдения RR Тау также хорошо согласуются с теоретическими представлениями. Зависимость  $P_\lambda$  от блеска в полосах  $B$ ,  $V$ ,  $R$  (рис. 1) подобны полученным для UX Ori [1]. Сплошные линии на рис. 2 — варианты 2, 3, 4 цветовых диаграмм модели алголеподобного минимума при разной

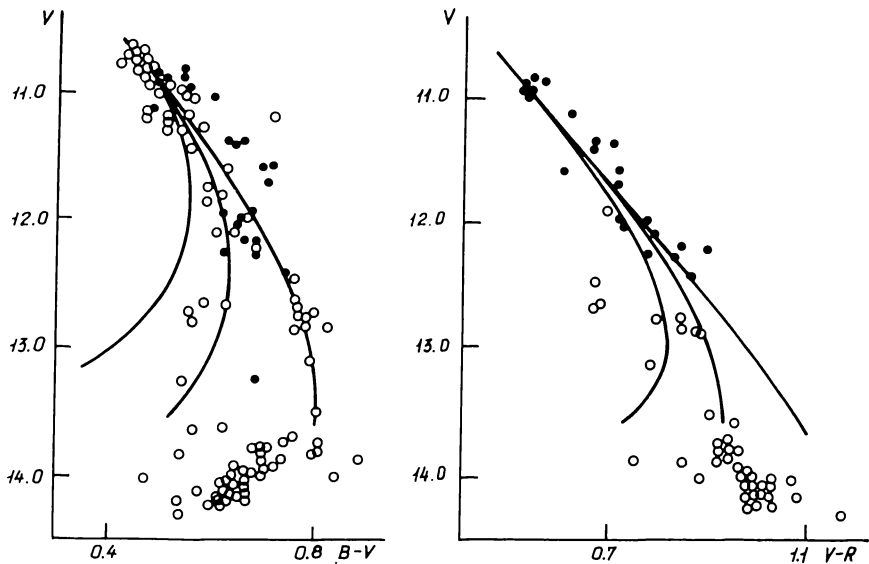


Рис. 2. Зависимость показателей цвета RR Тау от блеска по наблюдениям [6, 12] (кружки) и авторов (точки). Сплошные линии — варианты 2—4 модельных расчетов рассеяния на пылевых частицах оболочки [2]

оптической толщине оболочки [1] — не противоречат гипотезе затмений. Добавим, что ранее было сделано предположение о понижении уровня «точки перегиба» зависимостей блеск — показатель цвета при переходе от  $U-B$  к  $V-R$  [10]. Таким образом, при отсутствии данных о наиболее глубоких минимумах переменных подгруппы R Sgr их диаграммы  $V$ , ( $V-R$ ) выглядят линейными [2, 7, 8, 10]. Заподозренный эффект отчетливо проявляется в модельных расчетах [1, 2].

При анализе фотометрических рядов возник вопрос о характере быстрых колебаний блеска RR Тау. В максимуме или вблизи него быстрые изменения регистрировались как кратковременные ослабления [6]. В то же время на фоне «прописанного» минимума длительностью около  $100^d$  [12] зафиксированы «всплески» [8]. В рамках гипотезы затмений противоречия не возникнет. Если происходит движение по кеплеровским орбитам, возможна временная концентрация неоднородностей в каком-то секторе оболочки. При наблюдениях с этого направления звезда будет ослаблена. При неполном перекрытии неоднородностей возникнут «окна» относительно более высокой прозрачности, которые и приведут к явлению «всплесков» яркости. Согласно теории с увеличением оптической толщины уровни «точек перегиба» на графиках  $V$ , ( $U-B$ );  $V$ , ( $B-V$ ) и  $V$ , ( $V-R$ ) повышаются, увеличение показателей цвета на первых этапах падения блеска замедляется [1, 2]. Эта особенность RR Тау отмечена при рассмотрении имеющихся фотометрических рядов [8]. Сравнительно большой первоначальный вклад рассеянного излучения может вуалировать характерные для звезд подгруппы R Sgr зависимости цвет — звездная величина, как было в случае RR Тау [6].

Измерение поляризации в глубоких минимумах RR Tau (в отличие от UX Ori [1]) провести пока не удалось. Однако указать на основной источник наблюдаемой нестационарности звезды, по-видимому, можно, поскольку даже простая модель рассеяния излучения на пылевых частицах в предположении неоднородностей в оболочке объясняет подавляющее большинство фотометрических особенностей RR Tau. Но и отказываться от мысли о нескольких механизмах активности звезды, по-видимому, еще рано. Нельзя полностью исключать, например, вероятность изменений температуры [13, 16]. Не ясна также причина относительно быстрых изменений блеска переменной в полосе  $U$  при незначительных изменениях в полосах  $B$  и  $V$  [8].

**Заключение.** Из числа звезд Ae/Be Хербига выделена подгруппа в составе R CrA, UX Ori, BF Ori, V586 Ori, RR Tau с одинаковым поведением фотометрических характеристик [7, 10]. Показано, что у UX Ori и RR Tau однотипны также зависимости степени линейной поляризации от блеска. Это дополнительно свидетельствует в пользу предположения о том, что физическая природа членов подгруппы R CrA скорее всего одинакова.

Авторы признательны В. П. Гринину, Н. В. Вошинникову, Н. Н. Киселеву, Н. Х. Миникулову за возможность ознакомиться с их результатами до опубликования.

1. Вошинников Н. В., Гринин В. П., Киселев Н. Н., Миникулов Н. Х. Пыль вокруг молодых звезд. Наблюдения поляризации UX Ori в глубоких минимумах // Астрофизика.— 1988.—28, вып. 2.— С. 311—327.
2. Гринин В. П. О происхождении голубой эмиссии, наблюдаемой в глубоких минимумах молодых неправильных переменных звезд // Письма в Астрон. журн.— 1988.—14, № 1.— С. 65—69.
3. Зайцева Г. В. Исследование неправильной переменной звезды UX Ориона // Перемен. звезды.— 1973.—19, № 1.— С. 63—72.
4. Зайцева Г. В. Зависимость между блеском и показателями цвета  $B - V$  и  $U - V$  для звезды RY Тельца // Письма в Астрон. журн.— 1986.—12, № 5.— С. 380—382.
5. Зайцева Г. В. О цветовых характеристиках неправильных переменных звезд // Астрофизика.— 1986.—25, вып. 3.— С. 471—483.
6. Зайцева Г. В., Лютый В. М. Фотометрическое исследование и кратковременная периодичность RR Tau // Там же.— 1979.—15, вып. 1.— С. 75—84.
7. Кардополов В. И. Об одной группе *Ira* переменных звезд // Астрон. циркуляр.— 1986.— № 1464.— С. 1—3.
8. Кардополов В. И., Рспаев Ф. К., Шутемова Н. А. Особенности активности RR Tau // Перемен. звезды.— 1989.—23, № 3.
9. Кардополов В. И., Филиппев Г. К., Шаймиева А. Ф., Шутемова Н. А. Активность переменных типа *Is* и ее закономерности. IV. О характере изменений блеска некоторых *InT* звезд // Там же.— 1987.—22, № 4.— С. 461—488.
10. Кардополов В. И., Филиппев Г. К., Шаймиева А. Ф., Шутемова Н. А. Итоги программы *UBVR* наблюдений *Is* переменных звезд. Переменные типа *T* Тельца и звезды Ae/Be Хербига // Астрон. журн.— 1988.—65, вып. 5.— С. 951—969.
11. Пугач А. Ф. Феноменологическая модель активизирующей звезды RZ Psc // Астрофизика.— 1981.—17, вып. 1.— С. 87—96.
12. Шаймиева А. Ф., Шутемова Н. А. *UBVR*-фотометрия четырех звезд Ae/Be Хербига // Перемен. звезды.— 1985.—22, № 2.— С. 167—171.
13. *Bidelman W. P.* Catalogue and bibliography of emission-line stars of types later than B // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*— 1954.—1, N 7.— P. 175—268.
14. *Breger M.* Pre-main-sequence stars. III. Herbig Be/Ae stars and other selected objects // *Astrophys. J.*— 1974.—188, N 1.— P. 53—58.
15. *Cohen M.* Infra-red observations of young stars. III. Nebulous emission-line stars // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*— 1973.—161, N 1.— P. 105—111.
16. *Finkenzeller U., Mundt R.* The Herbig Ae/Be stars associated with nebulosity // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*— 1984.—55, N 1.— P. 109—141.
17. *Garrison L. M., Anderson C. M.* Observational studies of the Herbig Ae/Be stars. II. Polarimetry // *Astrophys. J.*— 1978.—221, N 2.— P. 601—607.
18. *Hall J. S.* Polarization of starlight in the Galaxy // *Publ. US Nav. Observ.*— 1958.—17, N 6.— P. 275—342.
19. *Herbig G. H.* The spectra of Be- and Ae-type stars associated with nebulosity // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*— 1960.—4, N 4.— P. 337—368.
20. *Herbig G. H.* Can post-T Tauri stars be found? // Вопросы физики и эволюции космоса.— Ереван: АН АрмССР, 1978.— С. 171—179.

21. *Herbig G. H., Rao N. K.* Second catalog of emission-line stars of the Orion population // *Astrophys. J.*—1972.—174, N 2.—P. 401—423.
22. *Herbst W., Holtzman J. A., Klasky R. S.* Photometric variations of Orion population stars. II. Ae-irregular variables and T Tauri stars // *Astron. J.*—1983.—88, N 11.—P. 1648—1664.
23. *Rössiger S., Wenzel W.* Lichtwechsel und extinktion des jungen sterns RR Tauri // *Astron. Nachr.*—1974.—295, N 1.—S. 47—52.
24. *Strom K. M., Strom S. E., Yost J.* Circumstellar shells in the young cluster NGC 2264 // *Astrophys. J.*—1971.—165, N 3.—P. 479—488.
25. *Strom S. E., Strom K. M., Yost J. et al.* The nature of the Herbig Ae- and Be-type stars associated with nebulosity // *Ibid.*—1972.—173, N 2.—P. 353—366.
26. *Vrba F. J., Schmidt G. D., Hintzen P. M.* Observations and evaluation of the polarization in Herbig Ae/Be stars // *Ibid.*—1979.—227, N 1.—P. 185—196.
27. *Walker M. F.* Studies of extremely young clusters. VI. Spectroscopic observations of the ultraviolet-excess stars in the Orion nebula cluster and NGC 2264 // *Ibid.*—1972.—175, N 1.—P. 89—116.

Астрофиз. ин-т АН КазССР,  
Алма-Ата

Поступила в редакцию  
22.01.88

## Научные конференции

### СИМПОЗИУМ МАС № 142 «ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ»

Состоится 1—5 декабря 1989 г. в Бангалуре (Индия). Научная программа: структура магнитного поля; взаимодействие магнитного поля с плазмой; нагрев плазмы; ускорение частиц; нетепловые радиативные процессы; межпланетная и астрофизическая плазма.

### РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 523.98

#### МАЛЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ И ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ АКТИВИЗАЦИИ ХРОМОСФЕРНЫХ СТРУКТУР / Боровик А. В.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 635-В89)

По наблюдениям в линии  $H_{\alpha}$  изучены активизации хромосферных структур перед 41 вспышкой балла S. Выделено два класса предвспышечных активизаций: мелко- и крупномасштабные. Определены их пространственно-временные характеристики. Результаты показывают, что существует связь предвспышечных активизаций с супергрануляционной структурой активных областей. Предполагается, что малые солнечные вспышки возникают в результате как локальных, так и крупномасштабных изменений магнитных полей.