

Колориметрические характеристики и положение на диаграмме Герцшпрунга - Рассела звезд типа RV Тельца

Г. Е. Ерлексова

Определены нормальные цвета $\langle B-V \rangle^0$ и $(B-V)_{\max}^0$ 20 звезд типа RV Тельца. Зависимость период-цвет различна для групп А, В и С. в связи с чем различно положение этих групп на диаграмме Г-Р. Положение на диаграмме градиентов блеска также обнаруживает различие между группами А, В и С. Уточнены средние по группам фазовые сдвиги кривых блеска V относительно кривых цвета B-V. Выявленные колориметрические различия между группами А и В+С продолжают ряд различий, найденных ранее в кривых блеска и изменениях периодов (Ерлексова, 1971, 1972). Обнаружено относительное сходство между группой А и цефеидами SW с почти симметричными кривыми блеска, между группами В и С и цефеидами SW с асимметричными кривыми блеска.

Colour Characteristics and the Position on the H-R Diagram of RV Tauri Stars

by J. E. Erleksova

The intrinsic colours $\langle B-V \rangle^0$ and $(B-V)_{\max}^0$ of 20 RV Tauri stars were determined. The relation period - intrinsic colour, the position on the diagram H-R and the light gradient diagram of groups A, B, C are different. Detected differences and improved phase shifts between V and B-V curves continue the sequence of the differences which were detected earlier in the light curves and the period changes (Erleksova, 1971, 1972).

В наших предыдущих работах (Ерлексова, 1971, 1972) были выявлены особенности кривых блеска и изменений периодов звезд типа RV Тельца и обнаружены их различия между группами А, В, С (по Престону и др., 1963). В настоящей работе сообщается о различиях колориметрических характеристик и делается сравнение этих характе-

ристик с колориметрическими характеристиками долгопериодических цефеид сферической составляющей Галактики (CW).

1. Зависимость период - нормальный показатель цвета $B-V$.

Эта важная для пульсирующих звезд зависимость не обсуждалась ни в работе Престона и др., (1963), где разделение на группы A, B и C подтверждено различием показателей цвета $B-V$ и $U-B$, ни в других работах. Основой для построения зависимости период - цвет служили показатели цвета $B-V$ из работы Престона и др. (1963), CI - из обработки фотографических и визуальных наблюдений Песевичем (1951), Жданово и (1952, 1953) и нами. В табл. 1 приведены показатели цвета: наблюдаемые средние $\langle B-V \rangle$, $\langle CI \rangle$, нормальные средние $\langle B-V \rangle^\circ$, максимальные $(B-V)_{\max}^\circ$. Значения, заключенные в скобки, в столбцах $\langle B-V \rangle^\circ$ и $(B-V)_{\max}^\circ$ относятся к $\langle CI \rangle^\circ$ и $(CI)_{\max}^\circ$. Избытки цвета E_{B-V} мы определили, используя метод учета межзвездного поглощения Паренаго (1945) в совокупности с ревизованными Шаровым (1963) данными о межзвездном поглощении. Светимость находилась из зависимости

$$M_{pg} = -4.0 + 0.026 \cdot P,$$

найденной Стозерсом (1964) для звезд RV Тельца шаровых скоплений. Полученные нами E_{B-V} мы считаем более надежными, чем E_{B-V} из работы Престона и др. (1963), где они определялись в предположении одного значения светимости для звезд всех периодов и в предположении для нескольких звезд среднего по всему небу поглощения.

Нормальные средние и максимальные показатели цвета табл. 1 нанесены против логарифмов формальных периодов (рис. 1 а, б). На этот же рис. 1 помещены $\langle B-V \rangle^\circ$ и $(B-V)_{\max}^\circ$ цефеид CW, вычисленные нами таким же образом, как и для звезд RV Тельца. Для нахождения светимостей цефеид CW использовалась зависимость $P-M_V$, полученная Кукаркиным (1970). Показатели цвета звезд RV Тельца (крестики) и цефеид (прямые крестики) шаровых скоплений нанесены по данным из работы Арпа (1962)) и Кукаркина (1970). Используя символы $B-V$ на рис. 1 и далее в тексте, мы относим к ним и показатели CI . Из рис. 1 достаточно отчетливо видно, что $\langle B-V \rangle^\circ$ и $(B-V)_{\max}^\circ$ цефеид CW с асимметричными кривыми блеска - CW (1), изображенных незаполненными треугольниками, располагаются полосами приблизительно 0.3 , незначительно наклоненными к оси $\log P$. В продолжение этих полос в сторону длинных периодов попадают звезды RV Тельца группы B-RV (B) (пустые кружки) и звезды RV Тельца шаровых скоплений. Аналитические выражения средних линий полос, найденные графически, таковы:

$$\langle B-V \rangle^\circ = 0.28 + 0.14 \log P;$$

$$(B-V)_{\max}^\circ = 0.10 + 0.10 \log P.$$

Таблица 1

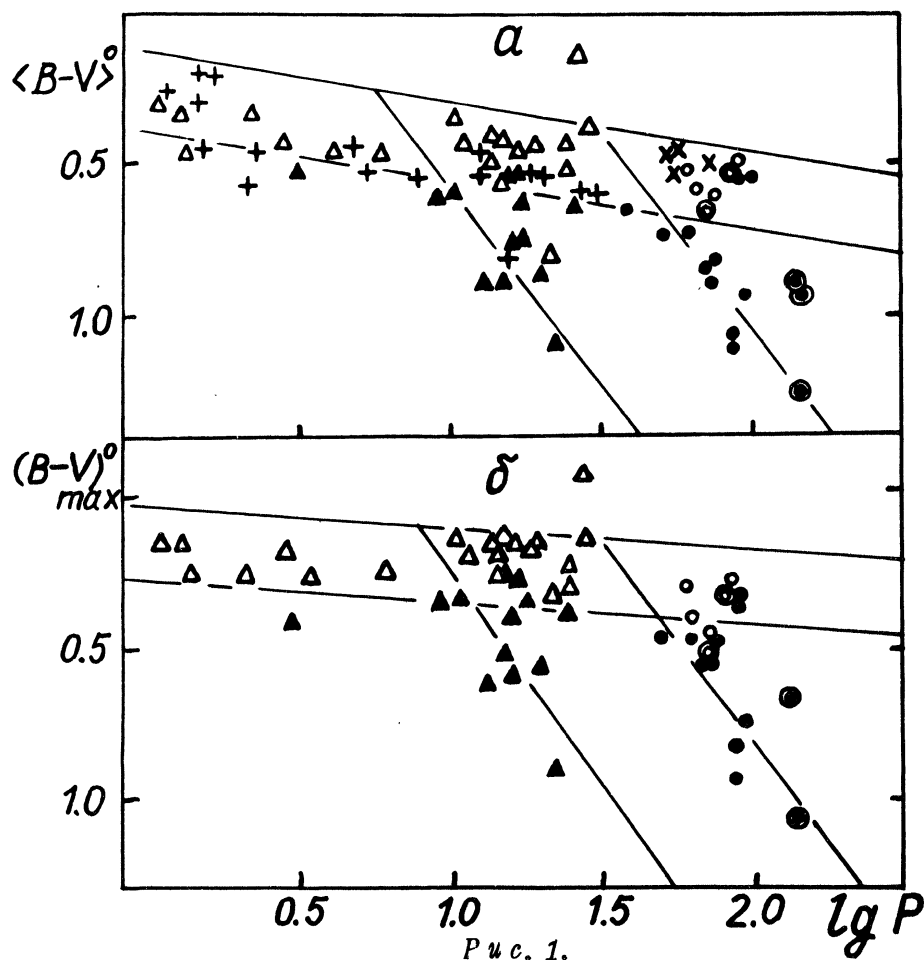
Звезда	Группа	$\langle B-V \rangle$	$\langle CD \rangle$	E_{B-V}	$\langle B-V \rangle^\circ$	$(B-V)_{\max}^\circ$	$\frac{dU}{dB}$	$\frac{dV}{dB}$
EZ	Aql	A	1.0	0.33	(0.67)	—		
DF	Cyg	A	1.28	0.53	0.75	0.47		
EQ	Cas	B?	1.18:	0.91	0.65	0.53	0.30:	—
TT	Oph	A	1.10	0.8	0.36	0.74	0.48	1.5
KQ	CrA	—	0.98	0.54:	(0.40)	0.59	(0.40)	
RX	Cap	A	—	1.0	0.14	(0.86)	(0.56)	
V 360	Cyg	C	0.88	1.06	0.22	0.66	0.52	1.20
R	Sge	A	1.08		0.19	0.89	0.56	
AC	Her	B	0.84	0.52	0.23	0.61	0.36	1.33
V	Vul	A	1.13	1.2	0.30	0.83	0.50	1.36
DS	Aqr	Вилис						0.72
V 453	Oph	C	0.95	0.90	0.42	0.53	0.33	1.16
EP	Lyr	B	0.78	0.50	0.28	0.50	0.28	1.31
TW	Cam	A	—	1.04	0.50	(0.54)	(0.33)	
UZ	Oph	A	1.25:	0.8	0.14	1.11:	0.83	1.36
AR	Sgr	A	—	1.30	0.24	(1.06)	(0.94)	
SS	Gem	A	—	0.9	0.35	(0.55)	(0.38)	
U	Mon	A	1.01		0.07	0.94	0.76	
DY	Aql	A	—	1.1:	0.20	(0.9)		
TX	Oph	A	1.18:	1.05	0.26	0.92:	0.67	1.38
R	Sct	A	1.36	1.30	0.11	1.25	1.07	1.5:

На рис. 1 звезды RV (C) и долгопериодической группы обозначены пустыми и заполненными обведенными кружками.

Иначе выглядит зависимость период-цвет для цефеид CW с почти симметричными кривыми блеска — CW (2), изображенных заполненными треугольниками, и звезд RV Тельца группы A — RV (A), изображенных заполненными кружками. В этих группах как $\langle B-V \rangle^\circ$, так и $(B-V)_{\max}^\circ$ заметно увеличиваются с возрастанием периода. Приводить аналитические выражения зависимостей преждевременно, ибо они слишком неуверенны. Использование для звезд RV (A) половинного периода не совмещает их с цефеидами CW (2).

2. Положение звезд RV Тельца на диаграмме Герцшпрунга — Рессела

Расчеты эволюционных треков и пульсационных моделей приводят к теоретическому обоснованию полосы неустойчивости классических цефеид и определяют их стадию развития. Предпринимаются попытки к обоснованию природы цефеид CW. Для звезд RV Тельца, родственных цефеидам CW, пока нет ни расчетов пульсационных моделей, ни попыток уточнения их эволюционной фазы. Для выяснения эволюционной истории звезд RV Тельца с наблюдательной стороны прежде всего необходимо знание точного положения их на диаграмме Г-Р. Об их по-



ложении можно было судить лишь по нескольким звездам шаровых скоплений. Мы решили поместить звезды RV Тельца на диаграмму цвет-светимость, пользуясь полученными $\langle B-V \rangle^\circ$ и светимостями, найденными из зависимости Стозерса (1964) (рис. 2). На рис. 2 также нанесены цефеиды SW, наблюдаемая полоса классических цефеид (заштрихована) по позднейшим и наиболее обоснованным данным Якимовой (1970), средняя линия теоретической полосы классических цефеид (штриховая) по Киппенхану (1965). Заимствованные из работ Якимовой и Киппенхана данные переведены из системы $(\log T_{\text{eff}}, \log L/L_\odot)$ в систему $(B-V, M_V)$ с помощью зависимостей Оука (1961) и Крафта (1961).

Принимая во внимание сделанное допущение—использование светимостей, полученных не непосредственно, а из зависимости $P-L$, в связи с чем, возможно, внесена систематическая ошибка, а с другой стороны исключена естественная дисперсия, положение звезд RV Тельца на диаграмме $\Gamma-P$ следует рассматривать как схематическое приближение к действительному. Однако, взаимное расположение звезд по груп-

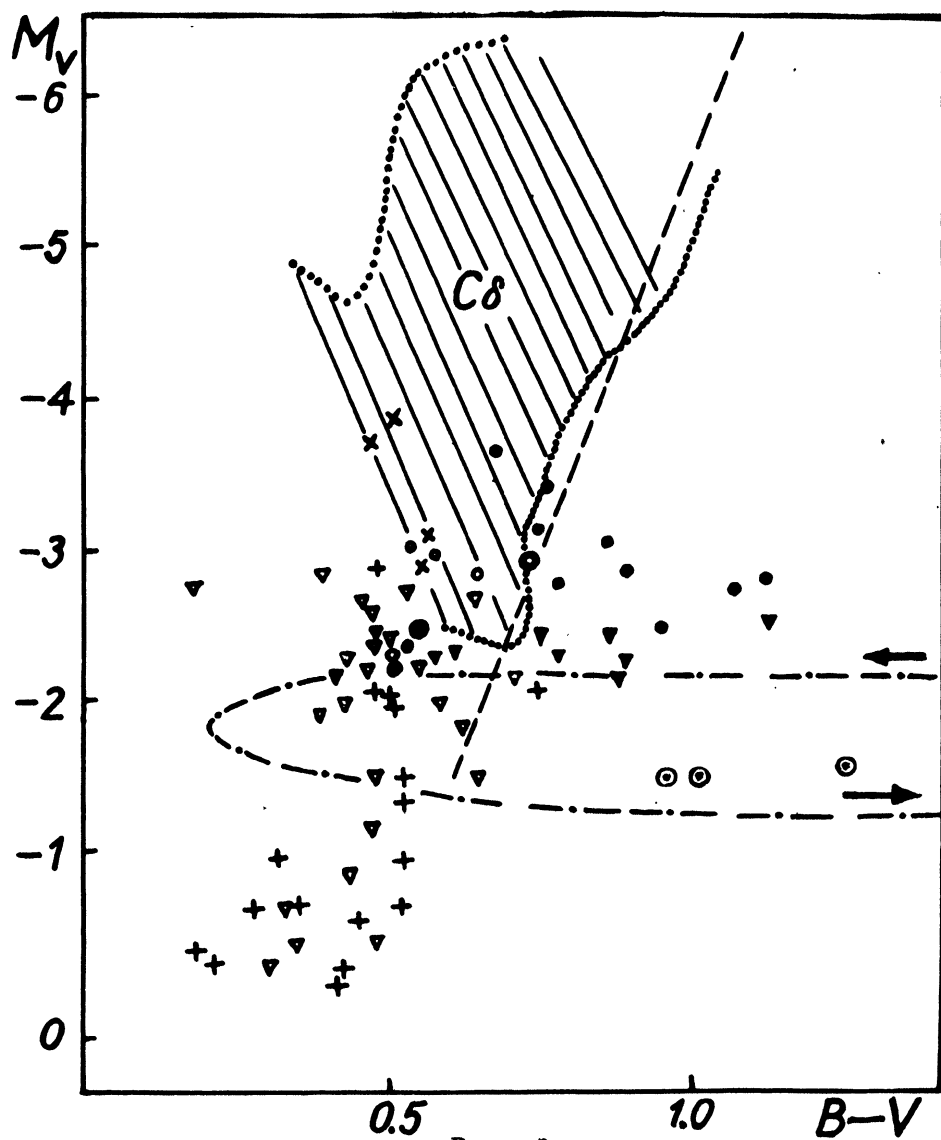


Рис. 2.

пам представляется вполне реальным. Исходя из рис.2 положение звезд RV Тельца на диаграмме ($B - V$, M_V) в сравнении с цефеидами SW представляется следующим образом:

- а) звезды RV (B) и, вероятно, RV (C) располагаются в верхней части полосы, образованной цефеидами SW (1) и цефеидами шаровых скоплений;
- б) звезды RV (A), подобно цефеидам SW(2) образуют ответвление от предыдущей полосы в сторону красных гигантов;
- в) звезды долгопериодической группы также образуют ответвление в сторону красных гигантов, но с более низкими светимостями.

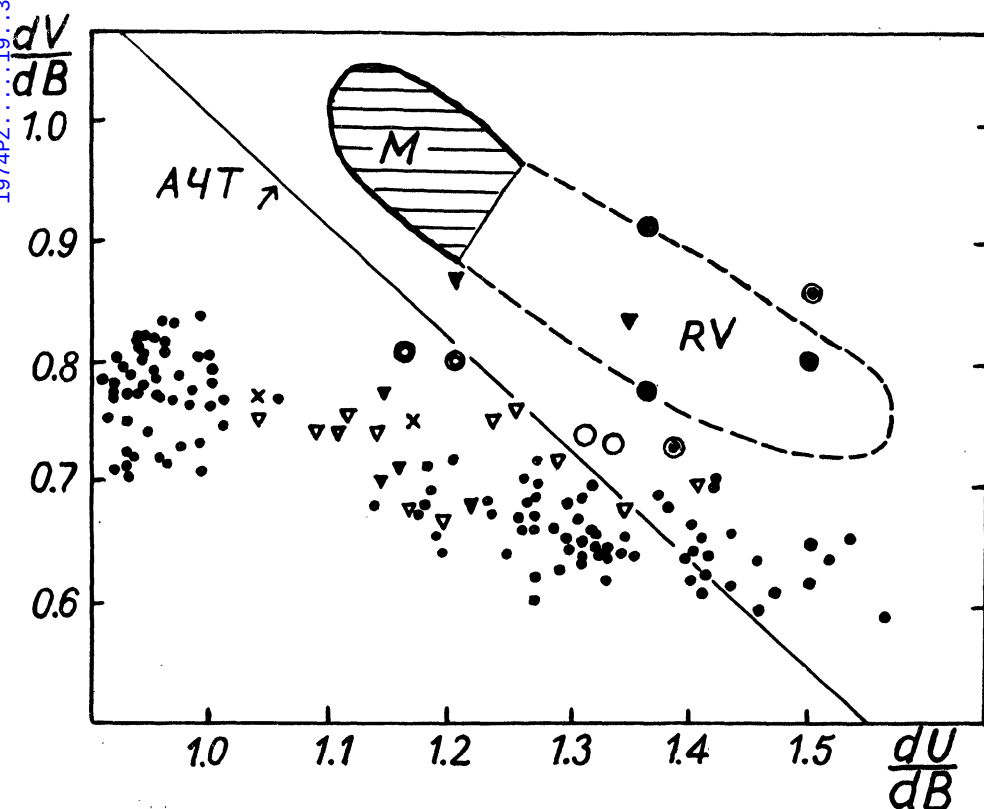


Рис. 3.

Из известных нам эволюционных треков, рассчитанных для модели населения II, в область звезд RV Тельца заходят лишь петли треков Шварцшильда и Хэрма (1970). Одна из петель, соответствующая одному циклу гелиевых вспышек в оболочке, изображена на рис. 2 штрихпунтирной линией. Шварцшильд и Хэрм нашли, что подобные петли могут описывать звезды ограниченной массы ($0.65 M_{\odot}$) с высоким содержанием гелия ($Y \approx 0.30$), достигающие на горизонтальной ветви наибольшей T_{eff} . Кукаркин и Ворошилов (1971) показали, что в шаровых скоплениях массы цефеид определено больше масс звезд типа RR Lyr и по этой причине фаза цефеид не может следовать за фазой звезд типа RR Lyr. Судя по большим светимостям звезд RV Тельца и их сходству с цефеидами CW можно думать, что эволюционная фаза звезд RV Тельца также не следует за фазой звезд типа RR Lyr.

3. Положение звезд RV Тельца на диаграмме градиентов блеска

В связи со сходством звезд RV Тельца с цефеидами CW есть основание полагать близость физических процессов, вызывающих их переменность. Мы решили воспользоваться идеей Колесника, Лукацкой

и Хейло (Колесник, Лукацкая, 1970; Колесник, Хейло, 1970) о выявлении возможных механизмов переменности по поведению звезд на диаграмме градиентов блеска. Градиенты блеска dU/dB и dB/dV звезд RV Тельца и цефеид CW с $P > 16^d$, отсутствующих в работе Колесника и Хейло, 1970, были вычислены нами графически (табл. 1,2). Диаграмма градиентов блеска по данным работ Колесника, Лукацкой, Хейло и нашим представлена на рис. 3. На ней точками нанесены классические цефеиды и звезды типа RR Lyr, остальные обозначения прежние. В область, отведенную для звезд RV Тельца (Шварцшильд и др., 1970), по нашим данным попадают лишь RV (A) и две цефеиды CW (2) с $P > 16^d$. Звезды RV (B, C) и 4 цефеиды CW (1), также с $P > 16^d$, служат "мостом" между цефеидной полосой и отведенной для звезд RV Тельца областью. Если даже предлагаемые авторами работы (Колесник, Хейло, 1970) модели для нахождения соотношений между физическими параметрами переменности приложимы к звездам RV Тельца, большой разброс dU/dB и dB/dV не позволяет выявить, какое из соотношений играет первостепенную роль.

Таблица 2

Цефеида	Группа	$\frac{dU}{dB}$	$\frac{dB}{dV}$
ST Pup	1	1.23	0.75
RS Pav	2	1.34	0.84
MZ Cyg	1	1.40	0.7:
RU Cam	2	1.20	0.87
V 420 Cen	1	1.28	0.72

4. Фазовые сдвиги кривых блеска V относительно кривых цвета B-V.

Фазовые сдвиги $\Delta\phi = \phi(V) - \phi(B-V)$, которые нашел Престон и др. (1962), являются проявлением отставания фаз максимума и минимума блеска при переходе от коротковолнового излучения к длинноволновому. По мнению Мельникова, (1962) такое явление у цефеид обусловлено разной степенью и скоростью "просветления" фотосфер при сжатии и расширении. Распространяя это объяснение на звезды RV Тельца можно заключить, что структуры фотосфер звезд RV (A) и (B, C) неодинаковы, ибо $\Delta\phi_1$ у них различны. К данным Престона добавлена звезда DS Aqr, добавлена EP Lyr и выделена R Sct, как представляющая долгопериодическую группу. Мы также определили $\Delta\phi_1$ цефеид CW. Средние по группам обоих типов приведены в табл. 3. Из нее можно заключить об аналогии между группами. У звезд RV (A) и CW (1) $\Delta\phi_1$ практически одинаковы в максимуме и минимуме т. е. эффект различия "просветления" при сжатии и расширении одинаков в максимуме и минимуме. У звезд RV (B, C) и CW (1) эффект меняется в течение цикла изменения

блеска, ибо $\Delta\phi_1$ зависит от фазы. Возможно, что зависимость фазового сдвига от фазы цикла характерна для пульсирующих звезд, имеющих асимметричные кривые блеска, а постоянство по всему циклу характерно для звезд с почти симметричными кривыми блеска (по нашим весьма предварительным данным у классических цефеид $\Delta\phi_1$ в максимуме блеска 0.01, в минимуме 0.09)

Таблица 3

Тип переменности	Число звезд	$\Delta\phi_1 = \phi(V) - \phi(B - V)$			
		min I	min II	max I	max II
<i>Звезды RV Тау</i>					
<i>группа А</i>	6	0.10	0.09	0.11	0.08
<i>группы В, С</i>	5	0.04	0.14	0.05	0.13
<i>долгопериодическая группа</i>	1	0.09	0.06	0.07	0.07
<i>Цефеиды SW</i>					
<i>первая группа</i>	22	0.12		0.02	
<i>вторая группа</i>	12	0.09		0.12	

5. Заключение

Колориметрические характеристики, дополняющие рассмотренные Престоном и др. (1963), подтверждают различие групп А, В и С. По всем колориметрическим характеристикам обнаруживается относительное сходство между звездами RV (А) и SW (2), между звездами RV (В, С) и SW (1). Выявленное сходство ставит различие между группами А и В, С в один ряд с различием проявления пульсаций у цефеид SW.

Литература:

- Арпи др., 1962, Происхождение и эволюция звезд, ИИЛ, М.;
 Ерлексова Г.Е., 1971, ПЗ 18, 53;
 Ерлексова Г.Е., 1972, ПЗ 18, 303;
 Жданова И.Г., Песевич В.П., 1952, Изв. Одесской обс. 3, 3;
 Жданова И.Г., 1953, ПЗ 9, 7;
 Киппенхан, 1965 — Kippenhahn P. KVB 4, № 40;
 Колесник И.Г., Лукацкая Ф.И., 1970, ПЗ 17, 224;
 Колесник И.Г., Хейло Э.С., 1970, ПЗ 17, 234;
 Крафт, 1961 — Kraft R.F., ApJ 134, 616;
 Кукаркин Б.В., 1970, в кн. "Пульсирующие звезды", гл. 3, "Наука", М.;
 Кукаркин Б.В., Ворошилов Ю.В., 1971, АЦ № 617;
 Мельников О.А., 1962, в кн. "Курс астрофизики и звездной астрономии" т. II, ГИФМЛ, М;
 Оук, 1961 — Oke J.V., ApJ 134, 214;
 Паренаго П.П., 1945, АЖ 22, № 3;
 Престон и др., 1963 — Preston G.M., Krzeminski W., Smak J. Williams A., ApJ 137, 401;

Стозерс, 1964 — Stothers R., PASP 76, 98;
Цесевич В.П., 1951, ПЗ 8, 134;
Шаров А.С., 1963, АЖ 40, 900;
Шварцшильд и др., 1970 — Schwarzschild M., Harm R., ApJ 160, 341;
Якимова Н.Н., 1970, ПЗ 17, 253.

Институт астрофизики
АН Таджикской ССР

*Поступила в редакцию
28 декабря 1973*