

УДК: 524.3-6/7

## ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ИЗЛУЧЕНИИ о ANDROMEDAE И LZ CEPHEI

Т.А.ПОЛЯКОВА

Поступила 20 апреля 2001

Принята к печати 30 июня 2001

Представленные результаты наблюдений поляризации Ве-звезды о And вполне удовлетворительно согласуются с результатами, полученными Арсениевич, Винс и Кубичела в 1974-1977 годах. Вместе все эти наблюдения подтверждают предположение Харманека о том, что усиления околозвездной оболочки о And происходят при прохождении периастра ее спутником, движущимся по вытянутой орбите с периодом в 8.5 лет. Результаты поляриметрических наблюдений LZ Cep говорят о том, что небольшая переменная собственная ее поляризация, возможно, возникает, как в большинстве полуразделенных систем, при рассеянии излучения этих звезд на частицах материи, истекающей из компонента, заполняющего свою полость Роша.

1. *Введение.* В излучении горячих звезд очень не просто обнаружить ту небольшую долю света, которая поляризуется при рассеянии на частицах околозвездной среды. Однако, когда количество околозвездной материи увеличивается из-за взаимодействия компонент в звездных системах и, кроме того, геометрические факторы при движении компонент вызывают изменения видимости рассеивающих свет образований, тогда шансы обнаружить переменную собственную поляризацию даже на фоне излучения таких звезд возрастают.

В этой статье приводятся и обсуждаются результаты наблюдений поляризации двух звездных систем, состоящих из горячих звезд.

Одна из них - яркая Ве-звезда о And (HD 217675,  $\bar{V} = 3^m.62$ , B6IIIpe). Она находится от нас примерно в 100 пк, является одной из самых быстро-вращающихся звезд (вращается со скоростью  $\sim 360$  км/с [1]) и имеет радиус  $4.7 R_{\odot}$  [2]. Наблюдают ее уже более 100 лет, произведено огромное количество наблюдений, однако полученные результаты часто противоречивы, особенно в отношении короткопериодических изменений блеска. При изменениях с  $P = 1^d.57$  амплитуда блеска колеблется от  $0^m.06$  до  $0^m.15$ , беспорядочно сдвигаются фазы минимумов и изменяется форма кривой блеска [3], кроме того находили и период  $1^d.02$  [4]. В результате этих противоречий в последнем издании ОКПЗ [5] о And отнесена к классу переменных типа  $\gamma$  Cas (эруптивные неправильные переменные), а не  $\beta$  Lyr, как было в прежнем издании.

При спектральных наблюдениях о And временами обнаруживается появление и усиление околозвездной оболочки. Четкой периодичности в

этих явлениях тоже окончательно не установлено, но из всех предлагавшихся периодичностей интервал в 8.5 лет привлек наибольшее внимание исследователей [6,7]. Дело в том, что у  $\alpha$ And имеется спутник  $\alpha$  (sp A2p) с периодом обращения  $3100^d$ , открытый еще Вильсоном [8] и переоткрытый в работе Блезит и др. [9], позже его наблюдали со спеклинтерферометром [10]. Кроме того, оказалось, что  $\alpha$ And является спектроскопической двойной с периодом  $33^d.085$ , и этот спутник класса В слабее главной звезды примерно на одну звездную величину [11].

Вторая звезда - спектроскопическая двойная LZ Cep (14 Cep, HD209481,  $\bar{V} = 5^m.6$ , O8.5III + O9.5V [12]). Затмения у нее не наблюдаются, так как наклонение орбиты  $i = 52^\circ.6$  [13]. Наблюдаемые изменения блеска (около  $0^m.1$ ) происходят из-за эллипсоидальной формы звезд в тесной системе, которая имеет период  $3^d.070507$ . Последние определения масс и радиусов компонент дают следующие результаты [13]:  $15.1M_\odot$ ,  $9.0R_\odot$  и  $6.3M_\odot$ ,  $7.5R_\odot$ . При этом меньший компонент заполняет свою полость Роша [13,14] и естественно ожидать, что в системе происходит перетекание вещества в полость Роша более массивной звезды.

2. *Наблюдения.* Наши наблюдения поляризации  $\alpha$ And и LZ Cep были выполнены на 48 см телескопе АЗТ-14 Бюраканской наблюдательной лаборатории Астрономического института С.-Петербургского университета в 1991-1993 годах. А в 1997-2000 годах наблюдения были продолжены на 9-дюймовом телескопе в Петербурге. И в том, и в другом случае они проводились в полосе V с одноканальным поляриметром и содержали обычно по четыре определения параметров  $q$  и  $u$ . Измерения длились около 20 мин, из них выводились средние

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ  $\alpha$ And

Дата	JD	$p, (\%)$	$\theta^\circ$	$n$	$q(\%)$	$u(\%)$
1991 09 23	2448523.40	$0.47 \pm 0.05$	$99.7 \pm 3.3$	4	-0.44	-0.15
23	.49	$0.66 \pm 0.02$	$100.6 \pm 0.8$	5	-0.62	-0.24
24	8524.44	$0.43 \pm 0.05$	$96.7 \pm 3.2$	3	-0.42	-0.10
24	.53	$0.37 \pm 0.04$	$98.7 \pm 3.3$	4	-0.35	-0.11
1993 10 29	9290.38	$0.42 \pm 0.04$	$117.4 \pm 2.7$	4	-0.24	-0.34
29	.41	$0.40 \pm 0.03$	$129.9 \pm 2.1$	4	-0.07	-0.39
1999 09 01	2451423.50	$0.43 \pm 0.06$	$99.2 \pm 4.0$	4	-0.41	-0.13
09	1430.56	$0.44 \pm 0.07$	$110.1 \pm 4.6$	4	-0.34	-0.28
11 07	1490.29	$0.59 \pm 0.06$	$95.2 \pm 2.9$	4	-0.58	-0.11
30	1513.27	$0.62 \pm 0.08$	$103.8 \pm 3.7$	3	-0.55	-0.29
2000 08 29	1785.53	$0.47 \pm 0.14$	$105.5 \pm 10.2$	4	-0.40	-0.24
09 06	1794.40	$0.46 \pm 0.09$	$108.6 \pm 5.6$	3	-0.37	-0.28
09 07	1795.39	$0.35 \pm 0.08$	$113.6 \pm 6.6$	4	-0.24	-0.26
09 24	1814.34	$0.63 \pm 0.06$	$116.1 \pm 2.7$	5	-0.39	-0.50
10 01	1819.43	$0.53 \pm 0.07$	$120.5 \pm 3.9$	5	-0.25	-0.45
10 18	1836.45	$0.49 \pm 0.08$	$102.7 \pm 4.7$	4	-0.44	-0.21

значения параметров и определялись среднеквадратичные ошибки. Результаты приведены в табл.1 и 2, где использованы общепринятые наименования столбцов.

3. *Обсуждение наблюдений.* 3.1. *о And.* Поляризационные наблюдения *о And* не проводились сколько-нибудь продолжительно и регулярно до 1974г., когда она была включена в программу югославских наблюдателей Арсениевич, Винс и Кубичела [15], которые наблюдали ее поляризацию в полосе *V* в 1974-1977 годах. Они усреднили свои наблюдения по годам и получили 4 точки на диаграмме (*q*, *u*), демонстрирующие изменения поляризации со временем. Эти авторы отмечали, что наблюдаются не только изменения параметров поляризации с годами, но также имеются быстрые изменения от ночи к ночи и даже в

Таблица 2

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ LZ Cep

Дата	JD	$p(\%)$	$\theta^\circ$	$n$	Фаза
1992 07 20	2448824.51	1.75±0.08	65.1±1.3	3	0.83
21	25.37	1.65±0.07	65.0±1.3	4	0.11
21	25.41	1.61±0.07	65.0±1.2	4	0.12
21	25.46	1.57±0.04	66.1±0.6	4	0.14
22	26.26	1.82±0.04	62.2±0.6	4	0.43
22	26.45	1.70±0.06	62.7±1.0	4	0.46
23	27.39	1.72±0.04	67.0±0.7	4	0.76
23	27.46	1.66±0.07	66.4±1.2	4	0.79
24	28.46	1.40±0.07	66.6±1.4	4	0.11
25	29.40	1.89±0.03	62.4±0.5	4	0.42
25	29.48	1.80±0.06	62.9±1.0	4	0.44
26	30.47	1.73±0.05	65.8±0.9	4	0.77
08 01	36.24	1.49±0.03	63.8±0.5	4	0.65
01	36.44	1.57±0.04	66.7±0.8	3	0.71
02	37.27	1.77±0.05	63.6±0.7	3	0.98
02	37.38	1.59±0.06	63.3±1.1	5	0.02
02	37.49	1.46±0.06	64.9±1.1	4	0.06
03	38.49	1.69±0.08	64.1±1.3	4	0.38
04	39.36	1.40±0.04	65.2±0.8	4	0.66
04	39.53	1.68±0.05	66.8±0.8	4	0.72
10	45.31	1.56±0.06	62.8±1.1	3	0.60
1993 05 04	9112.53	1.68±0.07	64.6±1.3	4	0.63
1997 03 07	2450515.31	1.65±0.09	63.9±1.6	4	0.49
14	0522.50	1.86±0.07	63.7±1.1	4	0.83
04 16	0555.52	1.71±0.14	63.7±2.4	3	0.58
11 04	0757.44	1.80±0.07	67.1±1.0	4	0.34
1998 12 23	1171.25	1.41±0.06	66.2±1.1	4	0.11
1999 01 08	1187.21	1.70±0.09	68.0±1.5	4	0.31
02 10	1220.25	1.70±0.07	63.4±1.1	4	0.07
2000 02 24	1599.23	1.65±0.12	63.8±2.2	3	0.49
10 01	1819.53	1.58±0.07	68.9±1.3	4	0.24
18	1836.42	1.70±0.07	68.3±1.2	4	0.74
20	1838.32	1.89±0.13	63.2±2.0	4	0.36
11 27	1876.25	1.77±0.10	67.0±1.6	4	0.71

течение одной ночи. Тем не менее, мы сочли, что наблюдений достаточно много, чтобы позволить провести их усреднение по месяцам и увидеть более постепенные изменения (рис.1), причем наблюдения за сентябрь 1977г. мы усреднили для каждой ночи (см. табл.3).

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ  $\sigma_{\text{And}}$  ИЗ РАБОТЫ [15],  
УСРЕДНЕННЫЕ ПО МЕСЯЦАМ ИЛИ ЧИСЛАМ

Год	Месяц	Число	$q(\%)$	$u(\%)$	$n$
1974	8		-0.29	-0.04	8
	11		-0.47	-0.24	15
1975	1		-0.59	-0.34	2
	10		-0.42	-0.15	5
	11		-0.42	-0.36	11
1976	12		-0.39	-0.35	3
	8		+0.03	-0.44	6
	9		-0.21	-0.39	8
1977	9	8	-0.17	-0.08	10
		12	-0.08	-0.24	10
		14	-0.12	-0.19	16
		15	-0.08	-0.12	23

В табл.4 собраны некоторые результаты, полученные другими авторами, которые мы также приводим на рис.1. Койн [16] отмечал, что поляризация в эмиссионной линии  $H_{\alpha}$  не отличалась от поляризации в континууме и, хотя эти измерения относятся к красной области, усредненные параметры дали на диаграмме ( $q$ ,  $u$ ) точку, близкую к средней годовой за 1974г. из [15]. А у Кларка и Брукса [17] мы взяли только параметры поляризации для континуума.

Диаграмма ( $q$ ,  $u$ ), построенная по всем этим наблюдениям, показала, что вектор поляризации  $\sigma_{\text{And}}$  примерно за 8 лет, с 1974г. по 1982г., описал некий эллипс. Только точка, полученная за одну январскую ночь 1975г. [15] и наблюдение Холла за 1950г. [18] заметно уклоняются от этого эллипса. Такой результат наводит на мысль, что изменения поляризации

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ ПОЛЯРИЗАЦИИ  $\sigma_{\text{And}}$ , ПОЛУЧЕННЫЕ ДРУГИМИ  
НАБЛЮДАТЕЛЯМИ

$q(\%)$	$u(\%)$	$n$	Год	Месяц	Авторы
-0.42	-0.13	6	1974	10	Coyne [16]
-0.59	-0.26	2	~1950	02	Hall [18]
-0.37	-0.03	4	1981	11	Clark, Brooks [17]
-0.34	-0.03	4	1982	09	
-0.19	+0.05		1979	за 9 месяцев	Hayes, [19] Terrans

у  $\sigma$ And могут быть связаны, как и усиления оболочки, с движением спутника  $\sigma$ , имеющего период в 8.5 лет.

Когда мы нанесли на ту же диаграмму результаты наших наблюдений, усредненные по годам, то заметили, что они приблизительно повторяют изменения поляризации за рассмотренный выше период. После наблюдений в августе-ноябре 1974г. [15], через два периода по 8.5 лет аналогичная фаза была в сентябре 1991г. и в марте 2000г. Следовательно, можно было ожидать, что наши результаты за сентябрь 1991г. и за конец 1999г. окажутся близки к точке за 1974г. из [15], что и наблюдается (рис.1). А через два периода от 1976г. такая же фаза наступила в 1993г., и результаты за эти годы тоже близки друг к другу, хотя в этом случае, к сожалению, мы имеем наблюдения всего за одну ночь 1993г.

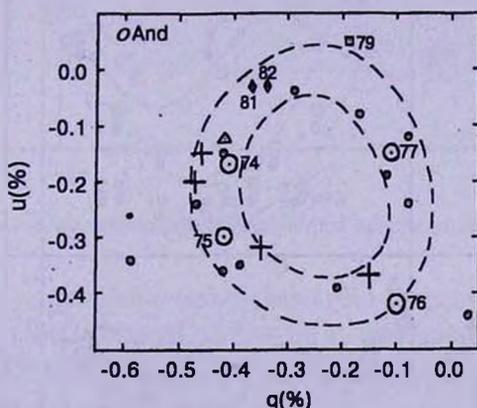


Рис.1. Результаты поляриметрии  $\sigma$  And. Большие кружки - средние значения поляризации за каждый год из [15]. Маленькие кружки - средние значения за месяц для 1974-1976гг., а для 1977г. - средние за каждую ночь из [15]. Большие крестики - средние значения поляризации по годам из наших наблюдений, точка - значение из каталога Холла [18], треугольник - поляризация из работы Койна [16], ромбики - поляризация из [17] и квадрат - поляризация из [19].

В 1975-1976 годах спутник  $\sigma$  наблюдался на расстоянии  $0''.05-0''.06$  от главной звезды и при этом позиционный угол сильно изменялся от года к году [9]. В это же время усиливалась оболочка [7] и, как показывает рис.1, возрастала поляризация и изменялся угол  $\theta$ . А в 1977-1978 годах этот спутник был на расстоянии  $0''.33-0''.34$  [10], так как он движется по очень вытянутой орбите. Оболочка в это время ослабла [7] и поляризация уменьшалась вплоть до межзвездного значения, которое составляет около 0.2% при  $\theta$  примерно  $80^\circ-90^\circ$  [19].

Для того, чтобы сравнить изменения поляризации с развитием оболочки у  $\sigma$ And, мы сопоставили их с фазой периода в  $3100^d$  (рис.2). При этом за нулевую фазу следовало выбрать эпоху, когда спутник  $\sigma$  находился на малом расстоянии от главной звезды, то есть вблизи его периастра. Такой эпохой послужила дата  $1975.7809 = \text{JD}2442698$ , когда,

по наблюдениям Блэзит и др. [9], положение спутника определялось следующим образом:  $45^\circ$ ,  $0''.046$ .

Данные о развитии оболочки были взяты по ссылкам из [7]. Можно отметить, что из всех приведенных наблюдений спектра *o*And (21 точка с 1893г. по 1983г.) только одна точка за 1946г. резко выпадает из общей картины поведения оболочки. В целом же графики на рис.2 вполне наглядно показывают, что возрастания степени поляризации и усиления оболочки тесно связаны с прохождением периастра спутником  $\alpha$ . Однако следует еще заметить, что, так как периоды  $3100^d$  и  $33^d \cdot 085$  не кратны друг другу, то спутник *o* при каждом прохождении периастра будет заставлять

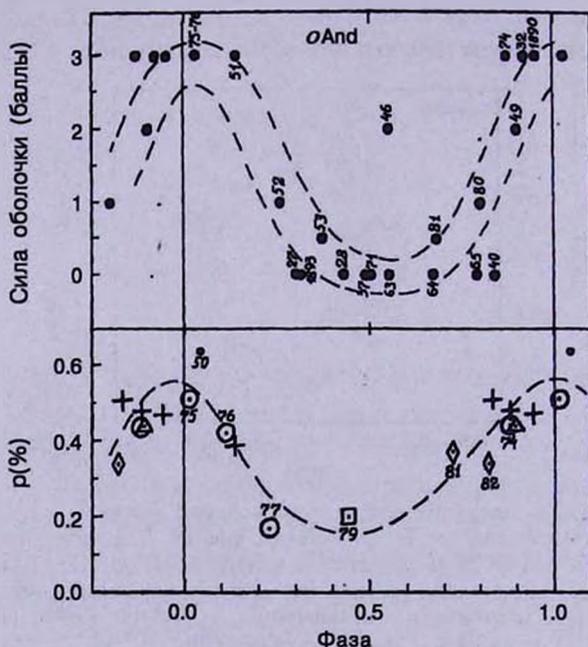


Рис.2. Распределение степени поляризации и силы оболочки *o* And по фазам периода в  $3100^d$ . Сила оболочки по спектральным наблюдениям обозначена, как и в [7], следующим образом: 0 - нормальный спектр В-типа; 0.5 - очень слабая водородная оболочка; 1.0-1.5 - водородная оболочка средней мощности; 2.0 - сильная водородная оболочка, но без металлических линий; 2.5-3.0 - оболочка с металлическими линиями. В случаях, когда для времени наблюдения был указан только год, фаза вычислялась для середины года. Года XX века указаны только двумя последними цифрами.

спектроскопическую двойную при разных фазах ее периода. Вероятно, это обстоятельство может проявиться в несколько различном усилении оболочки, а, следовательно, и поляризации, от периода к периоду, и на изменения с периодом в 8.5 лет может наложиться другая периодичность.

3.2. *LZ Cep*. Параметры поляризации *LZ Cep* мы расположили на рис.3 в соответствии с фазами, вычисленными от элементов [13]:

$$T_{\min I} = \text{JD}2441897.9787 + 3^d.070507 E.$$

Период LZ Cep почти в точности равен трем суткам, что затрудняет перекрытие наблюдениями всех фаз периода. Полученные нами 34 точки распределились по фазам не очень равномерно. Но все же они позволяют провести от руки средние кривые изменений параметров поляризации с двумя небольшими пробелами у фаз 0.2 и 0.9, где кривые были проэкстраполированы и с них были сняты значения параметров  $q$  и  $u$  через промежутки в 0.05 периода.

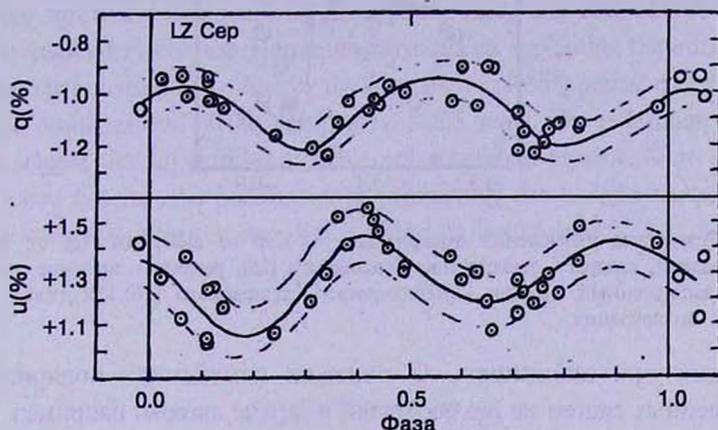


Рис.3. Распределение наблюдаемых параметров поляризации LZ Cep по фазам периода  $3^d.070507$ .

Определить межзвездную поляризацию без дополнительных наблюдений в данном случае было не просто. Наблюдения поляризации звезд в окрестности ассоциации Cep OB2 мы обнаружили только в каталогах Холла [18] и Хильтнера [20]. Однако они не позволили нам определить межзвездную составляющую по окрестным звездам, так как даже в область радиусом  $2^\circ$  вокруг LZ Cep попадает только 5 звезд с измеренной поляризацией. Одна из них расположена примерно в градусе от LZ Cep, но имеет модуль расстояния  $11^m.6$  [20] и поляризацию больше 4%, в то время как для LZ Cep модуль равен  $9^m.6$  [13], то есть она расположена на переднем крае ассоциации Cep OB2 [13], имеющей средний модуль расстояния  $9^m.9$  [21].

Оценить границы для степени межзвездной поляризации можно по ее зависимости от избытка цвета [22]. Для LZ Cep  $E(B-V) = 0^m.32$  [13], что дает  $2.7\% > p > 0.6\%$  и  $p \sim 1.65\%$ . Можно применить также способ, использованный прежде для цефеид [23]. На рис.4 приведены все наблюдавшиеся для LZ Cep параметры поляризации, в том числе полученные Бэрм [24], Серковским (30 августа 1963г.) [25] и Крушевским [26]. Оценками параметров межзвездной поляризации могут служить координаты точки, взятой у основания получившейся "розетки" (области, занимаемой точками на плоскости  $(q, u)$ ):  $q = -0.9\%$  и  $u = +1.3\%$ , то есть  $p = 1.6\%$  и  $\theta = 62^\circ$ . Полученные параметры были вычтены из значений, снятых со средних кривых изменений наблюдаемой поляризации. Изменения собственной поляризации приведены на рис.5, из которого видно, что поведение поляризации LZ Cep характеризуется увеличением степени

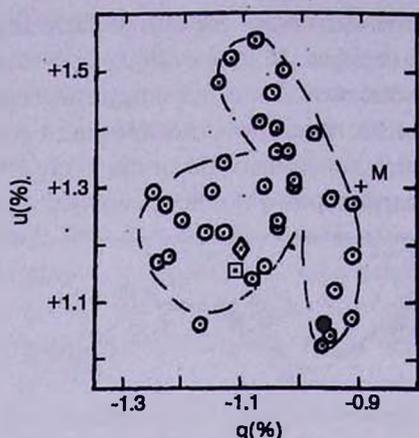


Рис.4. Результаты наблюдений поляризации LZ Cep на диаграмме  $(q, u)$ : кружки - наши наблюдения, квадрат - наблюдение Серковского [25], ромбик - значение из каталога Бэра [24], заполненный кружок - наблюдение Крушевского [26]. Крестиком указана межзвездная поляризация.

поляризации при элонгациях. О подобных изменениях поляризации у полуразделенных систем не раз сообщали и другие авторы, например, [27,28].

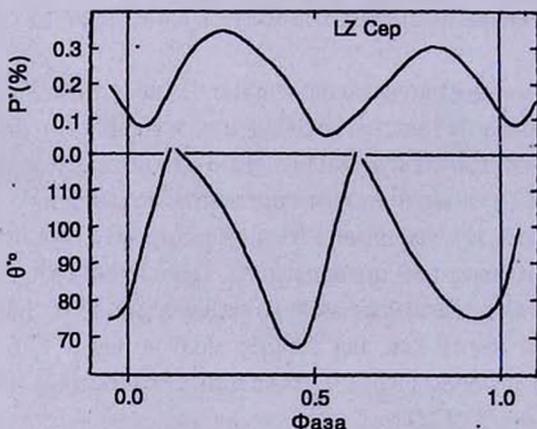


Рис.5. Изменения собственной поляризации LZ Cep.

4. **Заключение.** В отношении  $\sigma$  And можно сделать вывод, что поляризационные наблюдения поддерживают гипотезу Харманека [6] о том, что усиления оболочки связаны с прохождением спутником  $\sigma$  через периастр его вытянутой орбиты. А LZ Cep может служить еще одним примером полуразделенных систем, у которых обнаружена переменная собственная поляризация. И вполне вероятно, что, несмотря на неустойчивость процесса перетекания материи в незаполненную полость Роша, большинство полуразделенных систем могут показывать подобную поляризацию.

THE POLARIZATION VARIATIONS OF  $\sigma$  ANDROMEDAE  
AND LZ CEPHEI

T.A.POLYAKOVA

We present results of polarimetric observations of Be-star  $\sigma$  And that are in satisfactory agreement with those by Arsenijevic, Vince and Kubicela in 1974-1977. All the available data confirm Harmanec's hypothesis explaining the intensifications of circumstellar envelope of  $\sigma$  And by the companion passing periastron of its elongated orbit. The orbital period of this companion is 8.5 years. The polarimetry results of LZ Cep suggest that an intrinsic variable polarization is present. As in some other semidetached systems, the polarization is presumably due to light scattering on the matter flowing out from the star that is filling its Roche lobe.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A.Slettebac, *Astrophys. J.*, **115**, 573, 1952.
2. T.P.Show, *IAU Symp.* **98**, 379, 1981.
3. J.R.Percy, A.Attard, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **104**, 1160, 1992.
4. E.H.Olsen, *Astron. Astrophys.*, **20**, 167, 1972.
5. П.Н.Холонюк и др., *Общий Каталог Переменных Звезд*, Наука, М., 1985.
6. P.Harmanec, *Inform. Bull. Var. Stars*, N2506, 1984.
7. P.Koulsky, *Inform. Bull. Var. Stars*, N2584, 1984.
8. R.H.Wilson, *Astron. J.*, **55**, 153, 1950.
9. A.Blazit, D.Bonneau, L.Koechlin, A.Labeyrie, *Astrophys. J.*, **214**, L79, 1977.
10. H.A.McAlister, F.C.Fecel, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **43**, 327, 1980.
11. P.Harmanec, G.M.Hill, G.A.H.Walker, N.Dinsham, S.Jang, *Publ. Astron. Inst. Czechoslovak Acad. Sci.*, N70, 115, 1987.
12. P.S.Conti, W.R.Alschuler, *Astrophys. J.*, **170**, 325, 1971.
13. T.J.Harries, R.W.Hilditch, G.Hill, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **295**, 386, 1998.
14. I.D.Howarth, D.J.Stickland, R.H.Koch, R.J.Pfeiffer, *Observatory*, **111**, 167, 1991.
15. J.Arsenijevic, I.Vince, A.Kubicela, *Publ. Astron. Observ. Beograd*, **26**, 125, 1979.
16. G.V.Coyne, *Astron. Astrophys.*, **49**, 89, 1976.
17. D.Clarke, A.Brooks, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **211**, 737, 1984.
18. J.S.Hall, *Publ. Naval. Observ.*, XVII, Pt.VI, 1958.
19. D.P.Hayes, T.N.Terrance, *Publ. Astron. Soc. Pacif.* **92**, 89, 1980.
20. W.A.Hiltner, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **2**, 289, 1956.
21. C.D.Garmany, R.E.Stencel, *Astron. Astrophys.*, **94**, 211, 1992.
22. K.Serkowski, D.S.Mathewson, V.L.Ford, *Astrophys. J.*, **196**, 261, 1975.

23. *Т.А.Полякова*, Письма в Астрон. ж., **10**, 749, 1984.
24. *A.Behr*, Veroff. Gottingen, **126**, 199, 1959.
25. *K.Serkowski*, Acta. Astron. **15**, 79, 1965.
26. *A.Kruszewski*, Acta. Astron. **12**, 234, 1962.
27. *О.С.Шулов, Е.Н.Конацкая*, Труды АО ЛГУ, **31**, 146, 1975.
28. *R.J.Rudy, J.C.Kemp*, Astrophys. J., **207**, L125, 1976.