

УДК 524.3—76—655—13

## ИНФРАКРАСНЫЕ ИЗБЫТКИ ЗВЕЗД С СОБСТВЕННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Ю. К. МЕЛНИК-АЛАВЕРДЯН, Т. А. МОВСЕСЯН

Поступила 14 сентября 1981

Принята к печати 18 марта 1982

Приводятся результаты инфракрасных наблюдений 10 звезд с собственной оптической поляризацией. Обнаружена корреляция инфракрасного избытка этих звезд с величиной их оптической поляризации. Эта корреляция объясняется наличием пылевых оболочек у исследованных звезд.

1. *Введение.* Известно, что видимое излучение ряда холодных гигантов и сверхгигантов линейно поляризовано [1]. Считается, что эта поляризация обусловлена рассеянием излучения в атмосферах звезд. Излучение может быть поляризованным в тех случаях, когда атмосфера звезды несимметрична, либо когда рассеивающие частицы анизотропны и ориентированы в некотором преимущественном направлении [2]. Такими частицами могут быть металлические силикаты в случае кислородных звезд [3], либо графитовые пылинки — в случае углеродных звезд [4]. Эти пылевые частицы должны не только рассеивать, но и частично поглощать излучение звезды и переизлучать его в инфракрасном диапазоне. Следовательно, можно ожидать определенную корреляцию между наличием инфракрасного избытка и поляризацией видимого излучения звезды. И такая корреляция действительно наблюдается [5, 6]. О существовании такой корреляции свидетельствуют и приведенные ниже данные.

В настоящей работе приводятся результаты инфракрасных наблюдений 10 звезд, собственная линейная поляризация которых наблюдалась Р. А. Варданяном [7].

2. *Наблюдательные данные.* Наблюдения проводились в диапазоне 1—2,4 мкм с помощью охлаждаемого углекислотой приемника PbS. Фотометр был изготовлен в Главной астрономической обсерватории АН СССР [8]. При наблюдениях применялись разработанные и изготовленные в Институте физики АН БССР интерференционные фильтры, параметры которых приводятся в табл. 1. Наблюдения выполнены на телескопе

ЭТА-2.6-м Бюраканской астрофизической обсерватории в период IX—XI 1979 г. Программа наблюдений приводится в табл. 2. Звезды  $\epsilon$  Cyg,  $\alpha$  Ari и  $\alpha$  Lyr использовались в качестве стандартных. Для этих звезд принималось распределение энергии, полученное путем интерполяции данных [9]. Редукция наблюдаемых потоков к зениту приводилась с учетом приведенной в [10] зависимости величины селективного поглощения от воздушной массы. Полученные таким образом цвета  $\{^{\lambda}\} - \{0, 98\} = -2.5 \lg F_{\lambda}/F_{\lambda 0}$  исследованных звезд приводятся в табл. 3.

Таблица 1

## ФИЛЬТРЫ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ

$\lambda$ мкм	0.98	1.47	1.54	1.72	1.75	1.98	1.02	2.17	2.23	2.39
$\Delta\lambda$ мкм	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.06	0.04
$v$ (%)	24	42	60	57	34	52	58	62	62	68

$\lambda$  — длина волны, соответствующая максимуму пропускания,  $\Delta\lambda$  — ширина полосы по половине пропускания,  $v$  — пропускание в максимуме.

Таблица 2

## ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЙ

Звезда	Воздушная масса	Дата JD
Z Eri	1.89	2444135
BR Eri	1.88	2444135
AB Cyg	2.20	2444136
	1.13	2444137
W Tau	1.32	2444135
AE Cap	1.94	2444135
V 450 Aql	1.37	2444136
T Cap	1.22	2444130
AK Peg	2.37	2444137
W Ori	1.31	2444137
	1.39	2444188
Z Psc	1.03	2444131

Приведенные в табл. 3 цвета могут быть искажены межзвездным поглощением. Для учета этого поглощения можно поступить следующим образом. Если известен избыток цвета ( $B-V$ ), можно найти и избытки интересующих нас цветов, принимая определенный закон поглощения. Однако по некоторым причинам такой способ учета селективного поглощения в нашем случае не вполне пригоден. Дело в том, в частности, что исследуемые звезды являются переменными, что затрудняет правильную оценку их цветов, и, кроме того, их покраснение в значительной степени

обусловлено пылевыми оболочками, которые по своим оптическим свойствам могут отличаться от межзвездной среды. Поэтому для учета межзвездного покраснения мы использовали оценки [13] межзвездного поглощения в данном направлении. Модуль расстояния был принят нами соот-

Таблица 3

ЦВЕТА  $[\lambda]$  — [0.98] В ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИНАХ

Звезда	1.47	1.54	1.72	1.75	1.98	2.02	2.17	2.23	2.39
Z Eri	0.44 0.41	0.28 0.24	0.50 0.45	0.37 0.32	1.09 1.03	0.84 0.78	1.08 1.02	1.16 1.10	1.98 1.92
BR Eri	0.33 0.27	0.14 0.08	0.36 0.29	0.23 0.16	0.94 0.86	0.71 0.63	0.95 0.86	0.10 1.01	1.87 1.77
AB Cyg	0.23 0.11	0.24 0.12	0.36 0.23	0.40 0.27	1.02 0.87	0.86 0.70	1.10 0.93	1.28 1.11	1.66 1.48
W Tau	-0.45 -0.52	-0.66 -0.73	-0.39 -0.45	-0.50 -0.58	-0.00 -0.10	-0.23 -0.33	-0.09 -0.20	0.10 -0.01	0.63 0.52
AE Cap	0.28 0.17	0.03 -0.09	0.32 0.18	0.15 0.00	0.85 0.68	0.58 0.41	0.72 0.53	0.95 0.77	1.69 1.40
V 450 Aql	0.49 0.47	0.14 0.12	0.51 0.49	0.29 0.27	0.82 0.80	0.53 0.51	0.88 0.86	1.02 1.00	1.61 1.58
T Cep	0.34 0.33	0.23 0.22	0.26 0.25	0.33 0.32	0.89 0.88	0.76 0.75	0.85 0.83	1.01 0.98	1.66 1.63
AK Peg	0.34 0.28	0.26 0.19	0.24 0.16	— —	0.91 0.81	1.33 1.23	0.72 0.61	1.18 1.07	1.75 1.63
W Ori	0.25 0.16	0.11 0.01	-0.16 -0.28	0.18 0.06	0.42 0.28	0.26 0.12	0.55 0.40	0.78 0.63	1.03 0.87
Z Psc	0.14 0.12	-0.11 -0.13	0.02 0.04	-0.16 -0.18	0.44 0.42	0.02 0.00	0.34 0.32	0.52 0.50	1.01 0.98

Первая строка — наблюдаемые цвета, вторая — исправленные за межзвездное поглощение.

ветствующим абсолютным звездным величинам [10] и видимым звездным величинам [11]. Для введения поправок за избирательное межзвездное поглощение мы приняли закон поглощения в виде  $A \sim 1/\lambda$ . Исправленные таким образом за межзвездное поглощение цвета  $[\lambda]$  — [0.98] приведены в табл. 4. Цвета, приведенные в табл. 4, показаны и на рис. 1. На этом рисунке показано также распределение энергии в спектрах звезд соответствующих спектральных классов, согласно [12].

Сравнение наблюдаемых цветов с цветами, которые должны были бы иметь исследуемые звезды в соответствии со своими спектральными классами, показывает заметные различия этих цветов. Эти различия указывают, по-видимому, на наличие инфракрасных избытков у исследуемых звезд.

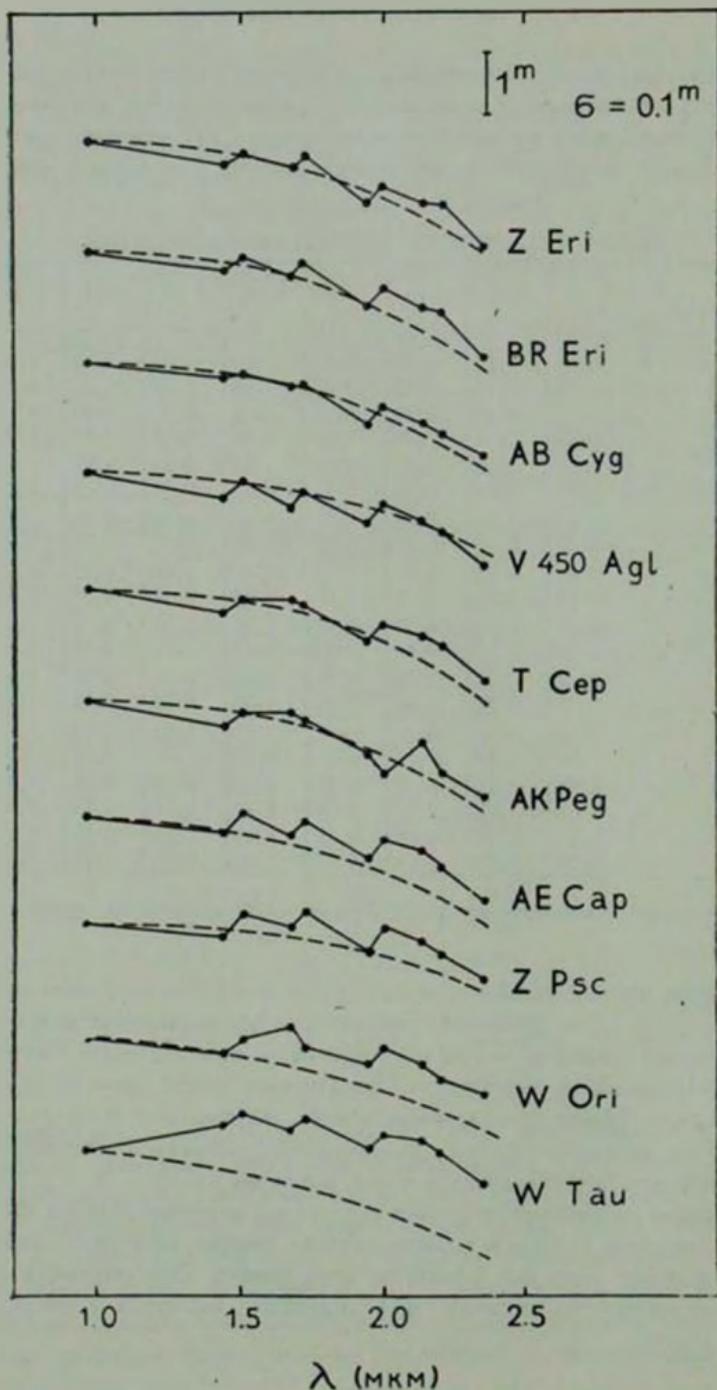


Рис. 1. Точки—цвета  $[\lambda] - [0.98]$ , исправленные за межзвездное поглощение. Прерывистая линия—цвета  $[\lambda] - [0.98]$  звезд соответствующих спектральных классов [12].  $\sigma$  — среднеквадратичная ошибка наблюдений.

3. *Обсуждение.* Рассмотрение приведенных на рис. 1 цветов привело нас к выводу, что в качестве оценки инфракрасного избытка целесообразно использовать величину  $\Delta m_{2,17}$ , определяемую выражением

$$\Delta m_{2,17} = \{[2.17] - [0.98]\}^* - \{[2.17] - [0.98]\}^{\circ}, \quad (1)$$

где  $\{[2.17] - [0.98]\}^*$  — наблюдаемые цвета исследуемых звезд,  $\{[2.17] - [0.98]\}^{\circ}$  — цвета не имеющих инфракрасных избытков звезд соответствующих спектральных классов (см. [12]). Вычисленные нами значения  $\Delta m_{2,17}$  приводятся в табл. 4 вместе со значениями  $P$  степени поляризации [7]. В случае, если поляризация оптического излучения и инфракрасный избыток обусловлены пылевой оболочкой, можно ожидать, как уже отмечалось, существование определенной зависимости между этими величинами.

Таблица 4  
ЛИНЕЙНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ И ИК-ИЗБЫТКИ  
 $\Delta m_{2,17}$  ИССЛЕДОВАННЫХ ЗВЕЗД

Звезда	$P$ (%)	$\Delta m_{2,17}$
Z Eri	1.05	-0.39
BR Eri	1.20	-0.36
AB Cyg	4.10	-0.43
W Tau	4.70	-1.50
AE Cep	4.11	-0.74
V 450 Aql	1.70	-0.10
T Cep	2.20	-0.54
AK Peg	2.60	-0.65
W Ori	2.00	-0.85
Z Psc	1.40	-0.44

Приведем расчет этой зависимости. Поток излучения оптически тонкой оболочки в интересующем нас инфракрасном диапазоне определяется выражением

$$J_{\epsilon} = \frac{N\pi r^2}{4\pi R^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{\epsilon}(\lambda) B(\lambda, T_g) d\lambda, \quad (2)$$

где  $N$  — число пылинок в оболочке,  $r$  — средний радиус пылинок,  $R$  — расстояние оболочки от Земли,  $Q_{\epsilon}(\lambda)$  — эффективность поглощения,  $B(\lambda, T_g)$  — функция Планка для температуры пыли  $T_g$ . Величина создаваемого этой оболочкой инфракрасного избытка будет равна:

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{J_0 + J_2}{J_0}, \quad (3)$$

где  $J_0$  — поток излучения звезды в рассматриваемом спектральном диапазоне.

Полагая, что  $J_0 \ll J_2$ , из (1) и (2) находим:

$$\Delta m = -2.5 \lg \frac{N r^2}{B(\lambda, T_0) R_0^2} \int Q_0(\lambda) B(\lambda, T_0) d\lambda, \quad (4)$$

где  $T_0$ ,  $R_0$  — эффективная температура и радиус звезды.

С другой стороны, степень поляризации излучения в случае рассеяния на несферической оболочке пропорциональна оптической толщине  $\tau$ . Например, в случае рассеяния на несферической оболочке, имеющей осевую симметрию [2], степень поляризации определяется выражением:

$$P_l \approx a \tau \sin^2 \theta, \quad (5)$$

где  $a$  — коэффициент, зависящий от формы оболочки и параметров пылинок,  $\theta$  — угол между лучом зрения и осью симметрии. В случае акстинкции излучения в оболочке, состоящей из анизотропных ориентированных пылинок, степень поляризации прошедшего через оболочку излучения звезды определяется аналогичной формулой [2]:

$$P_l \approx 0.25 |q_l| (3W - 1) \sin^2 \theta \cdot \tau, \quad (6)$$

где

$$q_l = \frac{I_m (2\beta_{xx} - \beta_{yy} - \beta_{zz})}{I_m (2\beta_{xx} + \beta_{yy} + \beta_{zz})}, \quad (7)$$

$\beta_{ii}$  — компоненты тензора поляризуемости пылинок,  $W$  — степень ориентации пылинок,  $\theta$  — угол между направлением ориентации пылинок и лучом зрения. Если излучение поглощается  $N$ -пылинками, то оптическая толщина  $\tau$  определяется выражением

$$\tau = \alpha \frac{N}{4\pi R^2} \pi r^2 Q_{xx}, \quad (8)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от формы оболочки, а  $\bar{R}$  — средний радиус оболочки.

Используя приведенные выше соотношения, найдем зависимость степени линейной поляризации  $P_l$  видимого излучения от величины ИК-избытка для случая несферической оболочки, состоящей из изотропных пылинок:

$$P_I \approx \alpha \sin^2 \psi \frac{\alpha Q_0 B(\nu, T_0) R_*^2 \cdot 10^{-0.43m}}{4R^3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_0(\lambda) B(\nu, T_0) d\lambda}. \quad (9)$$

В случае же оболочки, состоящей из анизотропных пылинок, соответственно получаем:

$$P_I \approx 0.25 |q_l| (3W - 1) \sin^2 \psi \frac{\alpha Q_0 B(\nu, T_0) R_*^2 \cdot 10^{-0.43m}}{4R^3 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_0(\lambda) B(\nu, T_0) d\lambda}. \quad (10)$$

Таким образом, степень линейной поляризации излучения звезды с оболочкой зависит от ряда параметров, в числе которых температура и радиус звезды, а также величина инфракрасного избытка. Рассматриваемые нами звезды имеют различные наборы значений этих и других параметров. Для того, чтобы выяснить, как связаны между собой интересующие нас величины  $\Delta m$  и  $P_I$  мы должны, строго говоря, знать их связь и с другими параметрами, входящими в (9) и (10). Мы не будем здесь обсуждать этот вопрос, заметим только, что из выражений (9) и (10) в достаточно общих предположениях следует существование положительной корреляции  $\Delta m$  и  $P_I$ .

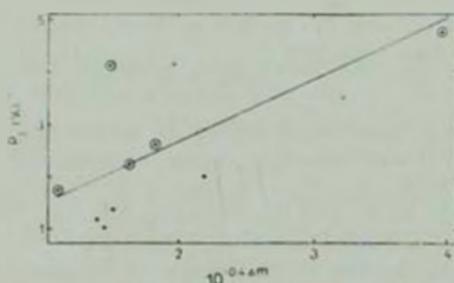


Рис. 2. Наблюдаемая зависимость степени поляризации от ИК-избытка. ⊗ — звезды, для которых разность фаз, оптической поляризации и ИК-избытком, не превышала 0.1 периода.

Вернемся снова к наблюдательным данным. На рис. 2 приводится диаграмма поляризация—инфракрасный избыток. Как видно из рисунка, имеется вполне определенная положительная корреляция между  $P_I$  и  $10^{-0.43m}$ . Наличие этой корреляции означает, по-видимому, что поляризация видимого излучения и инфракрасные избытки рассматриваемых звезд обусловлены их пылевыми оболочками. Конкретизация вида обна-

руженной зависимости между  $P_1$  и  $\Delta m$ , несомненно, будет способствовать изучению физических свойств околозвездных оболочек.

Бюраканская астрофизическая  
обсерватория

## INFRARED EXCESS OF STARS WITH PROPER POLARIZATION

Yu. MELIK-ALAVERDIAN, T. A. MOVSESIAN

The results of infrared observations of 10 stars with proper optical polarization are listed. A correlation between the infrared excess and the optical polarization of the stars is revealed. This correlation has been explained by the existence of dust envelopes around the studied stars.

### ЛИТЕРАТУРА

1. K. Serkowski, *Ap. J.*, 144, 857, 1966.
2. А. Э. Долгиков, Ю. Н. Гнедин, Н. А. Силиягьева, *Распространение и поляризация излучения в космической среде*, Наука, М., 1979.
3. N. J. Woolf, *E. P. Nou. Ap. J.*, 155, L181, 1969.
4. F. Hoyle, N. C. Wickramasinghe, *M. N.*, 121, 417, 1952.
5. A. Kruszevski, G. W. Coyne, T. Gehrels, in: "Mass Loss from Stars", ed. M. Hack, Springer Verlag, New York, 1969.
6. H. M. Dyck, W. A. Stein, R. D. Gehrz, N. J. Woolf, S. J. Shawl, *Ap. J.*, 165, 57, 1971.
7. Р. А. Вардамян, *Сообщ. Бюраканской обс.*, 46, 33, 1975.
8. В. В. Кирьян, Ю. К. Мелик-Алавердян, Г. М. Товмасын, Ю. А. Шахбазян, *Астрофизика*, 14, 645, 1978.
9. R. G. Walker, *Philos. Trans. Roy. Soc., London*, 1969, 264, 209.
10. К. У. Аллен, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.
11. Б. В. Кукаркин, П. Н. Холопов, Ю. Н. Ефремов, Н. П. Кукаркина, Н. Е. Курочкин, Г. Н. Медведова, Н. Б. Перова, В. П. Федорович, М. С. Фролов, *Общий каталог переменных звезд, АН СССР*, М., 1969.
12. H. L. Johnson, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 4, 193, 1966.
13. Th. Nuckel, G. Klake, *Astron. Astrophys. Suppl. ser.*, 42, 251, 1980.