

УДК: 524.3-6

## ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗВЕЗД С ИНФРАКРАСНЫМ ИЗБЫТКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

М.А.ЕРИЦЯН, Р.Х.ОГАНЕСЯН, Е.Р.ОГАНЕСЯН

Поступила 16 мая 2001

Принята к печати 29 ноября 2001

Представлены результаты поляриметрических и ИК (IRAS) - наблюдений для 24 В - А - F звезд. У 11 звезд из 24 наблюдается собственная поляризация света. Степень поляризации остальных 13 звезд находится в пределах ошибок измерений. Построены также диаграммы цвет-цвет. Из сопоставления степени поляризации с показателем цвета на диаграммах цвет-цвет видно, что из вышеуказанных 13 звезд 8, вероятно, являются звездами "типа Веги", а 5 являются газопылевыми и/или оболочечнодисковыми звездами. Показано, что 6 звезд из вышеуказанных 11, имеющих собственную поляризацию, по-видимому, являются газопылевыми оболочечными и/или оболочечнодисковыми звездами, а 5 из них (учитывая также N 24) - звездами "типа Веги". Показано также, что ИК-излучение 10 звезд соответствует степенному распределению  $F_{\lambda} \sim \nu^{-\alpha}$ . Этот факт можно объяснить как свободно-свободными переходами электронов, так и тепловым излучением пылинок, находящихся в околозвездных газопылевых оболочках (дисках).

1. *Введение.* Как известно, собственная поляризация света звезды чаще всего объясняется рассеянием света в газопылевой материи, окружающей звезду. Известно также, что газопылевые оболочки существуют как вокруг звезд поздних типов F-M [1-9], так и вокруг звезд ранних типов O-B-A [10,11, 19-21], поэтому у таких звезд наблюдается собственная поляризация. Это звезды типа Вольфа-Райе и Ве звезды с протяженной атмосферой [10-12], красные гиганты с постоянно истекающей атмосферой [6-9], симбиотические звезды [9,10,14] и тесные двойные [13,14], а также звезды типа Ae/Be Хербига [15] и другие звезды, окруженные газопылевой материей [16].

Рассеяние света в плазменных оболочках - это, в основном, томпсоновское рассеяние на электронах [1,2], в неионизованных - релеевское рассеяние на атомах, молекулах и мелких пылинках [1,17].

Установлено, что параметры собственной поляризации света звезд со временем подвергаются сильным изменениям, связанным с температурными изменениями поверхности звезды [1,5,17]. Обычно у указанных выше звезд наблюдается инфракрасный избыток излучения [7,16,18-20].

Исходя из вышеизложенных фактов, с 1999г. в программу поляриметрических наблюдений были включены около 210 В-А-F звезд с ИКИИ из [16,21], большинство которых показывает нестационарность.

В 2000г. была опубликована первая статья [7], где представлены результаты исследования для 12 В-А-F звезд с ИКИИ.

Из исследований [16,22-24], выполненных на основании IRAS данных на длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм, известно, что многие звезды спектральных классов O-B-A-F и всех классов светимостей окружены газопылевыми оболочками и/или дисками. Из этих работ следует, что ИК спектры таких звезд состоят из двух компонентов: спектра фотосферного излучения звезды и спектра избыточного излучения околозвездной составляющей (газопылевой материи). При этом, избыточное ИК-излучение может быть как сильным, так и слабым, в зависимости от массы околозвездной материи. ИК исследования типичных Ве звезд [25], находящихся на близких от нас расстояниях (50-75 пк) показали, что ИК-избыток излучения обусловлен излучением ионизованного газа, где происходят свободно-свободные переходы электронов. Их ИК-показатели цвета на двухцветных диаграммах [12]-[60], [12]-[25] и [25]-[60], [12]-[25], согласно [25], занимают очень компактную область. С другой стороны, на этих же диаграммах указанные показатели цвета других звезд типа Ве и Ae расположены вне этой компактной области. Согласно [16,22], такие звезды, кроме газовых оболочек, имеют и пылевые.

Из работ [16,22,26 и 27] следует, что в число звезд с ИК-излучением входят звезды разной физической природы, поэтому поляриметрические исследования таких звезд весьма желательны, поскольку о существовании околозвездных газопылевых облаков можно судить и по поляриметрическим наблюдениям оптического диапазона.

В настоящей работе приведены результаты исследования 24 В-А-F звезд, основанного как на результатах полученных по поляриметрическим наблюдениям в *U*, *B*, *V* и *R* цветах, так и по ИК (IRAS) наблюдениям этих звезд на 12, 25 и 60 мкм.

2. *Поляриметрические наблюдения.* Наблюдения проводились с 25 июля по 30 августа 2000г. с помощью электрополяриметра, установленного на 0.5 метровом телескопе системы Кассегрена (АЗТ-14А) Бюраканской обсерватории в *U*, *B*, *V*, *R* цветах. За указанный период были исследованы 24 В-А-F звезды, список которых с порядковым и HD-номерами, а также спектральные классы приведены в табл.1. Среди этих звезд были нормальные

Таблица 1

### СПИСОК ИССЛЕДУЕМЫХ ЗВЕЗД

N	HD	Спектр	N	HD	Спектр	N	HD	Спектр
1	17463	F5 Ib	9	178596	F0 III	17	195593	F5 Ia
2	125162	A0 Vpsh	10	179218	B9 e	18	196740	B5 IV
3	149630	B9 V	11	184961	B9IVpSi?	19	206773	B0 Vnnc
4	158352	A8 Vsh	12	187203	F8 Ib	20	208682	B2 Vesh
5	163506	F2 Ibe	13	190073	A0IVepsh	21	216411	B Ia
6	170576	F2 Ibp	14	193911	B8IIInesh	22	217891	B6 Ve
7	172028	B2 V	15	195324	A1 Ib	23	220057	B2 IV/V
8	175427	A0	16	195556	B2 IV	24	220819	A06II, F0-F2

звезды с линиями поглощения, а также звезды с эмиссионными линиями. Ошибки измерений параметров поляризации составляют  $\sigma_p = 0.1\%$  и  $\sigma_\theta = 3^\circ$ .

Из 24 звезд, у 11 наблюдается поляризация света. На рис.1 приведена зависимость степени поляризации ( $P$ ) от длины волны ( $\lambda$ ). Как видно из рис.1 существует явная зависимость  $P$  от  $\lambda$ , которая показывает, что наблюдаемая поляризация собственная.

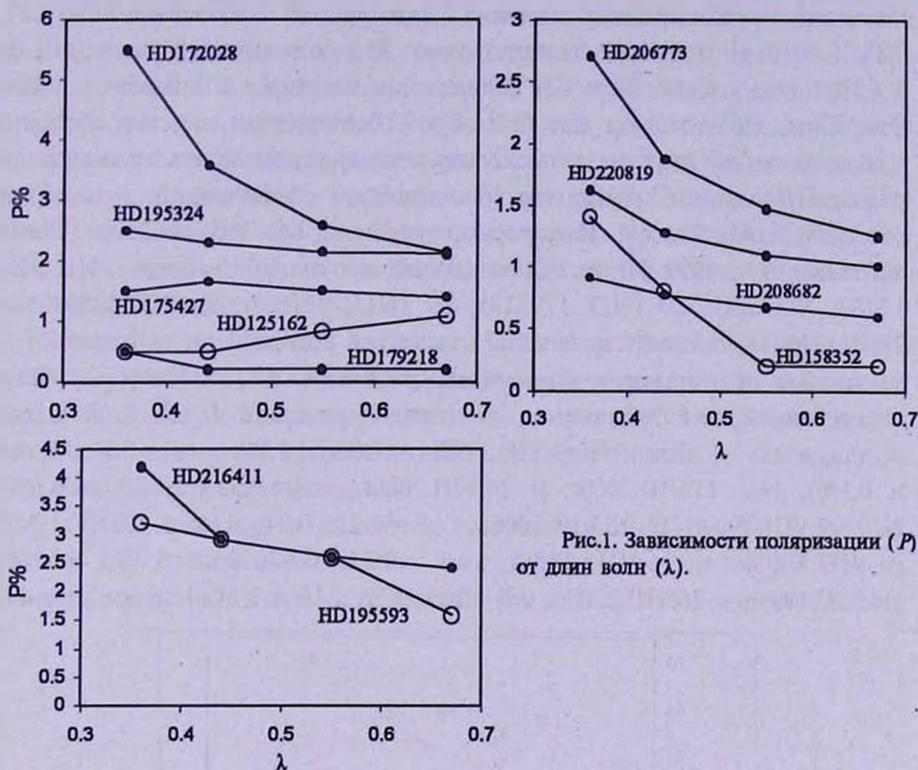


Рис.1. Зависимости поляризации ( $P$ ) от длин волн ( $\lambda$ ).

3. *IRAS* показатели цвета и двухцветные диаграммы. Для определения *IRAS* показателей цвета для 23 звезд ИК-поток (в Ян) на длинах волн 12, 25 и 60 мкм, а также их звездные величины в  $V$  цветах и показатели цвета  $B - V$  были взяты из [16,29,30], а для - HD 220057 [16,28] (является ядром диффузной туманности NGC 7635), *IRAS* звездные величины  $[\lambda] = [12], [25], [60]$  определены по формулам, приведенным в [7]. По звездным величинам  $V, [12], [25]$  и  $[60]$  были вычислены показатели цвета  $V-[12], [12]-[25]$  и  $[12]-[60]$ .

На рис.2-4 приведены двухцветные диаграммы, соответственно, для следующих пар показателей цвета:  $V - [12]$  от  $B - V, [12]-[25]$  от  $V - [12]$  и  $[12]-[60]$  от  $[12]-[25]$ . На этих рисунках треугольниками представлены вышеуказанные пары показателей цвета для 19 звезд, выбранных в качестве стандартных. При этом *IRAS* потоки для 17 звезд сравнения были взяты из [23], для звезды HD 16908 - из [29], а для - HD 34921- из [20].

4. *Обсуждение.* Из результатов наблюдений обнаружено, что из 24 звезд 11 имеют собственную поляризацию. При этом, для 5 звезд (N4, 7, 17, 19 и 21) наблюдается довольно сильная зависимость  $P$  от  $\lambda$ . Максимальные разности поляризации  $\Delta P$  для каждой из этих звезд соответственно составляют 1.37, 3.35, 1.64, 1.46, и 1.78%. Для 6-и звезд - N2, 8, 10, 15, 20 и 24 изменения степени поляризации сравнительно небольшие: максимальные значения разностей  $\Delta P$  составляют 0.58, 0.24, 0.45, 0.40, 0.31 и 0.62%, соответственно. Для остальных 13 звезд (N1, 3, 5, 6, 9, 11-14, 16, 18, 22 и 23) поляризация находится в пределах ошибок измерения. Но этот факт еще не говорит об отсутствии пылевых оболочек - облаков вокруг этих звезд, поскольку деполяризация может произойти по разным причинам, например, по причине сферической симметрии газопылевых облаков. Интересно отметить, что по данным наших наблюдений в 1999 [7] и 2000гг. (настоящая статья) 5 звезд - N1 (HD 17463, SU Cas), 10 (HD 179218), 19 (HD 206773), 20 (HD 208682) и 21 (HD 216411) показали изменение параметров поляризации не только от  $\lambda$ , но также от времени. При этом, разности  $\Delta P$ , соответствующие определенной дате наблюдения для каждой звезды в  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R$  цветах составляют: для звезд N1 (9.VIII.1999г. и 30.VIII.2000г.,  $\Delta P = 0.5, 0.1, 0.1$  и  $0.1\%$ ), N10 (3.VIII.2000г. и 24.VIII.2000г.,  $\Delta P = 0.5, 0.1, 0.1$  и  $0.1\%$ ), N19 (9.VIII.1999г. и 26.VIII.2000г.,  $\Delta P = 2.21, 0.31, 0.02$  и  $0.27\%$ ), N20 (9.VIII.1999г. и 26.VIII.2000г.,  $\Delta P = 0.71, 0.57, 0.48$  и  $0.3\%$ ) и N21 (14.VIII.1999г. и 26.VIII.2000г.,  $\Delta P = 0.63, 0.52, 1.16$  и  $1.24\%$ ) соответственно.

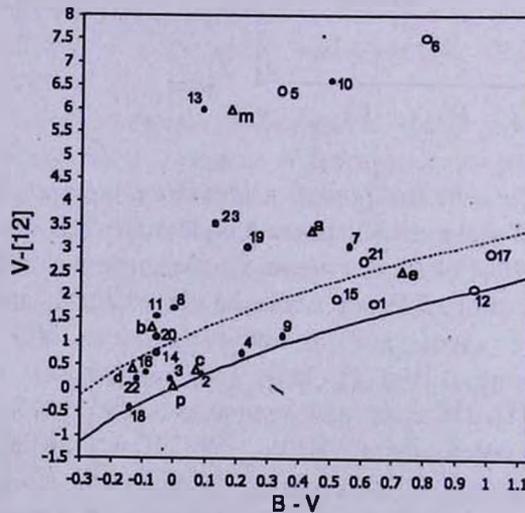


Рис.2. Показатели цвета ( $V-[12]$ ) и ( $B-V$ ) на диаграмме цвет-цвет. Сверхгиганты (1 - 10) отмечены кружками, карлики (11 - 21) - точками. Для сравнения приведены те же показатели цвета для 8-и звезд, которые отмечены треугольниками. Сплошная линия представляет зависимость  $V-[12]$  от  $B-V$  фотосферного излучения нормальных звезд, соответствующее уравнению (1) из работы [2]. Звезды над пунктирной линией, параллельной сплошной, на длине 12 мкм имеют большую ИК-эмиссию.

На рис.2 приведена диаграмма цвет-цвет  $V-[12] - B - V$  для 23 звезд. Сплошная линия на этой диаграмме представляет зависимость  $V-[12]$  от  $B - V$ , соответствующую эмпирическому уравнению (1) из работы [16]. Пунктирная линия, которая проведена параллельно сплошной линии, отстоит от последней на  $1^m$  и разделяет те звезды, для которых  $V-[12]$  больше одной звездной величины, считая от сплошной кривой [16].

Из этого рисунка видно, что 12 звезд (N1-4, 9, 12, 14-18 и 22) расположены ниже пунктирной линии, где величины  $\Delta(V-[12]) = 1^m$ . Из них у 8 звезд (N1, 3, 9, 12, 14, 16, 18, 22) поляризация находится в пределах ошибок измерения ( $P = 0.1\%$ ), а 4 звезды (N2, 4, 15, 17) показали собственную поляризацию. В этом интервале расположены также следующие звезды сравнения: Vega = p(HD 172167), c(HD 9672), d(HD 16908) и e(HD 20041). При этом, звезды N2, 12, 18 и Vega = p находятся на сплошной линии. Все указанные звезды, вероятно, являются дисковыми звездами "типа Веги".

Остальные 11 звезд (N5-8, 10, 11, 13, 19-21 и 23) и звезды сравнения a(HD 3191), b(HD 4180) и m(HD 62623), имеющие сравнительно большие  $V-[12]$  показатели цвета, расположенные выше пунктирной линии, возможно, являются звездами с газопылевыми оболочками и/или оболочечнодисковыми звездами.

На рис.3 показана двухцветная диаграмма  $[12]-[25] - V-[12]$  для 23 звезд B-A-F спектральных классов, откуда видно, что звезды N1-3 и 12 находятся рядом со звездами сравнения p и l(HD 60606), в нижней части

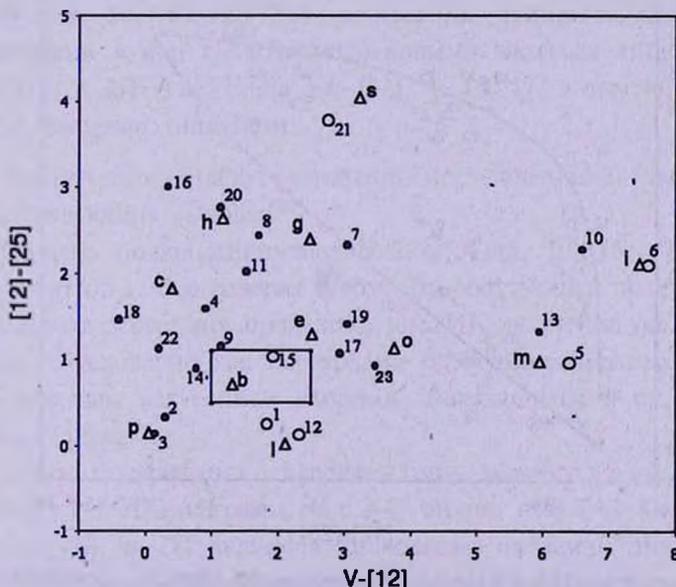


Рис.3. Диаграмма цвет-цвет для показателей цвета  $[12]-[25]$  от  $V-[12]$ . Обозначения для карликов и сверхгигантов, а также для звезд сравнения такие же, как на рис.2. Квадрат указывает на местоположения тех Ве-звезд, ИК-эмиссия которых, в основном, обусловлена только газовой составляющей.

этой диаграммы в полосах  $[12] - [25] \leq 0.5$  и  $V - [12] \leq 2.5$ . Звезды же N4, 14, 16, 18, и 22, находятся в полосе  $V - [12] \leq 1$ , вдоль  $[12] - [25]$ . Вероятно, эти звезды являются дисковыми звездами "типа Веги" (с,  $h = \beta$  Pic).

Звезды N9, 15, 17, 19 и 23 по местоположению находятся в соседстве со звездами сравнения b, e и o(51 Oph), поэтому, не исключено, что эти звезды являются оболочечнодисковыми звездами.

Звезды же N5, 6, 10 и 13 и звезды сравнения m и i(HD 259431) по местоположению находятся рядом, поэтому, возможно, эти звезды являются звездами с газопылевыми оболочками.

Звезды N7, 8, 11, 20 и 21 по расположению, соответственно, находящиеся рядом со звездами сравнения g(HD 34921), h и s(HD 20898), возможно, являются оболочечнодисковыми и/или дисковыми звездами.

На рис.4 приведена диаграмма цвет-цвет  $[12] - [60] - [12] - [25]$  для 23 звезд В-А-F типов. Сплошная линия на диаграмме изображает суммарное излучение, состоящее из двух компонентов - от фотосферного ИК-излучения (на IRAS длинах волн 12, 25, 60 и 100 мкм) нормальной звезды с температурой 10000 К и наложенного на него ИК-излучения, исходящего из более холодных составляющих. Холодные составляющие излучают как черное тело, их цветовые температуры находятся в пределах от 2000 до 30° К [16].

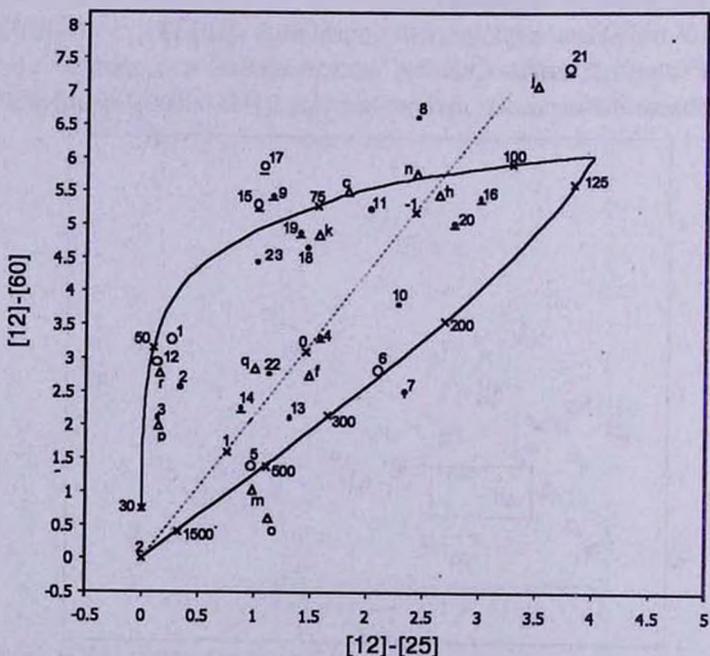


Рис.4. Распределение 23 В-А-F звезд на IRAS двухцветной диаграмме по показателям цветов  $[12] - [60]$  и  $[12] - [25]$ . Сплошная линия соответствует излучению черного тела, имеющего температуру 10000° К, с которым суммируется излучение более холодного компонента, температуры которого обозначены крестиками. Пунктирная линия соответствует распределению  $F_v^\alpha$ , где некоторые из значений  $\alpha$  отмечены. Остальные обозначения такие же, что и на рис.2.

Пунктирная линия соответствует степенному распределению энергии, согласно  $F_{\lambda} \sim \nu^{\alpha}$ , при фиксированных значениях  $\alpha$ . Некоторые значения  $\alpha$  отмечены на рис.4. Вдоль этой линии, в основном, расположены звезды, ИК-избыток излучения которых обусловлен как пылевыми частицами, так и свободно-свободными переходами электронов [31]. При этом надо отметить, что вблизи пунктирной линии расположены звезды N4, 5, 10, 11, 13, 14, 16, 20, 21, 22 и звезды сравнения f(HD 22298), h, j(HD 51479), m, n (HD 96042), q(HD 193237 = P Cyg) и, возможно o (51 Oph). Кроме N16 (B2 IV), 21(B1 Ia), h(A5 V) и j(B7 V), эти звезды, в основном, являются Be-Ae и Fe звездами. Не исключено, что звезды N16, 21, h и j, согласно [29], не являются ИК Be-Ae звездами. По-видимому, ИК-излучения этих звезд обусловлены как тепловым переизлучением пылинок, так и излучением свободно-свободных переходов электронов, находящихся в их околозвездных газопылевых оболочках (дисках).

Из рис.4 видно, что звезды "типа Веги", в основном, расположены поблизости от сплошной линии чернотельного излучения. Интересно отметить, что у звезд N1, 3, 5, 6, 9, 11-13, 16, 18 и 23 не наблюдается собственная поляризация, а у N2, 7, 8, 15, 17 и 19 имеется собственная поляризация. Около этой линии расположены и звезды сравнения p, r( $\alpha$  Ps A, HD 216956), s, k(HD 57821), h и n. Среди указанных звезд, возможно, имеются как дисковые, так и оболочечнодисковые звезды.

Что же касается звезд N2, 4, 7, 8, 10, 15, 17, 19, 20, 21 и 24, имеющих собственную поляризацию околозвездного характера, то 6 из них (N7, 8, 10, 19, 20 21), возможно, являются газопылевыми оболочечными и/или оболочечнодисковыми звездами типа f, h(39060), j(HD 51479) и k(HD 57821), а 5 - (N2, 4, 15, 17, в том числе и N 24) являются звездами типа Веги.

4. *Заключение.* Анализ результатов исследования 24 звезд позволяет сделать следующие выводы:

1. Степень поляризации звезд N2, 4, 7, 8, 10, 15, 17, 19, 20, 21 и 24 зависит от  $\lambda$ . Это говорит о том, что собственная поляризация этих звезд имеет околозвездное происхождение. ИК-излучение указанных звезд, вероятно, обусловлено как переходами свободно-свободных электронов, так и тепловым излучением пылинок, находящихся в их газопылевых оболочках (дисках).

2. Степень поляризации остальных 13 звезд находится в пределах ошибок измерений. Из ИК-диаграмм (рис.2-4) видно, что 8 из них (N1, 3, 9, 12, 14, 16, 18, и 22) являются дисковыми звездами "типа Веги", а 5 звезд - (N5, 6, 11, 13, 23) являются оболочечнодисковыми звездами.

3. Звезды N4, 5, 10, 11, 13, 14, 16, 20-22, а также звезды сравнения f, h, g, m, q, возможно, и o, расположенные вблизи и вдоль пунктирной

линии степенного распределения  $F \sim \nu^{\alpha}$ , в основном, являются Ве -Ае-Fe shell звездами. ИК-эмиссия этих звезд обусловлена как переходами свободно-свободных электронов, так и тепловым излучением пылинок.

Авторы выражают благодарность академику Э.Е.Хачикяну за обсуждение результатов, а также рецензенту за внимательное прочтение, рукописи и полезные замечания.

Бюраканская астрофизическая обсерватория  
им. В.А.Амбарцумяна, Армения

## THE POLARIMETRIC INVESTIGATION OF THE INFRARED EXCESS STARS

M.H.ERITSYAN, R.Kh.HOVHANNESIAN, E.R.HOVHANNESIAN

The results of the polarimetric and IR (IRAS) observations of 24 B-A-F stars are presented. The self-polarization is observed for 11 stars out of 24. The polarization degree of the rest 13 stars are within the limits of errors. The colour-colour diagrams are constructed too. By the comparison of the polarization degree and the colour indices, it is shown that the 8 stars from above mentioned 13 stars are probably the Vega type stars, but the other 5 are gas-dust and/or disk-shell stars. It is shown that the 6 of 11 stars with a self polarization, probably are gas-dust shell and/or disk-shell stars, but 5 of them (including N24 also) are Vega type stars. It is shown that IR radiation of 10 stars corresponds to  $F \sim \nu^{\alpha}$  power law spectrum.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.З.Долгинов, Ю.Н.Гнедин, Н.А.Силантьев, Распространение и поляризация излучения в космической среде, Наука, М., 1979, с.150; 364.
2. J.-L.Ieroу, Advances in Astron. Astrophys., 4, 127-167, 2000.
3. Н.М.Шаховской, Астрон. ж., 40, 1055, 1963.
4. K.Serkowski, Astrophys. J., 144, 857, 1966.
5. Т.Д.Полякова, Астрофизика, 16, 491, 1980.
6. Г.В.Абрамян, Сообщ. Бюраканской обс., 52, 24, 1980.
7. Р.Х.Оганесян, М.А.Ерицян, Астрофизика, 43, 353, 2000.

8. *E.Brandi, L.G.Garcia, V.Pirola et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **145**, 197, 2000.
9. *М.А.Ерицян*, *Астрофизика*, **44**, N4, 2001.
10. *Н.М.Шаховской*, *Астрон. ж.*, **41**, 1042, 1964.
11. *G.V.Coyne, T.Gehrels*, *Astron. J.*, **72**, 887, 1967.
12. *K.Serkowski*, *Astrophys. J.*, **160**, 1083, 1970.
13. *I.Appenzeller, W.A.Hiltner*, *Astrophys. J.*, **149**, 353, 1967.
14. *S.Rucinski*, *Acta Astron.*, **16**, 127, 1966; **17**, 207, 1967.
15. *В.С.Шевченко*, "Ac/Be звезды Хербига", Ташкент, изд. ФАН, Узб. ССР, 1989, с.178; 187.
16. *R.D.Oudmajer, W.E.C.J. van der Veen, L.B.F.M.Waters et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **96**, 625, 1992.
17. *Н.М.Шаховской*, *Изв. Крымской АО*, **39**, 11, 1969.
18. *Р.Х.Оганесян, Р.А.Епремян, А.А.Карапетян*, *Астрофизика*, **38**, 341, 1995.
19. *Р.Х.Оганесян, Р.А.Епремян*, *Астрофизика*, **41**, 409, 1998.
20. *Р.Х.Оганесян, Е.Р.Оганесян*, *Астрофизика*, **44**, 559, 2001.
21. *D.A.Allen*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **161**, 145, 1973.
22. *Н. Н. Aumann*, *Pub. Astron. Soc.*, **97**, 885, 1985.
23. *J.Cote*, *Astron. Astrophys.*, **181**, 77, 1987.
24. *К.-P.Cheng, F.C.Bruhweiler, Y.Komdo, C.A.Grady*, *Astrophys. J. Lett.*, **396**, L83, 1992.
25. *L.B.F.M.Waters, J.Cote, T.R.Geballe*, *Astron. Astrophys.*, **203**, 348, 1988.
26. *D. van Buren, R.McGray*, *Astrophys. J. Lett.*, **329**, L93, 1988.
27. *W.E.C.J. van der Veen, L.B.F.M.Waters, N.R.Trams, H.E.Matthews*, *Astron. Astrophys.*, **285**, 551, 1994.
28. *Г.М.Товмасян, Р.Х.Оганесян, Р.А.Епремян, Д.Югенен, А.С.Викторенко, А.А.Серебров*, *Астрон. ж.*, **68**, 942, 1991.
29. *R.J.Sylvester, C.J.Skinner, M.J.Barlow, V.Mannings*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **279**, 915, 1996.
30. *K.Malfait, E.Bogaert, C.Waelknes*, *Astron. Astrophys.*, **331**, 211, 1998.
31. *L.B.F.M.Waters*, *Astron. Astrophys.*, **162**, 121, 1986.