

УДК: 524.5

МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ В МОЛЕКУЛЯРНОМ
ОБЛАКЕ В ЗМЕЕ

А.Н.РОСТОПЧИНА, Д.Н.ШАХОВСКОЙ

Поступила 17 февраля 2000

Принята к печати 18 марта 2000

Представлены поляризационные наблюдения звезд в направлении на молекулярное облако в Змее. Найдена зависимость степени линейной поляризации звезд от общего поглощения A_v в направлении на них, различная для звезд в облаке и в его окрестностях. На основании этого сделан вывод об уменьшении поляризационной эффективности частиц в облаке.

1. *Введение.* Пятьдесят лет назад по наблюдениям Хилтнера [1], Холла [2] и Домбровского [3] было открыто существование межзвездной поляризации излучения, возникающей при поглощении света выстроенными магнитным полем межзвездными пылинками [4]. К настоящему времени для объяснения механизма ориентации пылинок предложено множество гипотез [5], однако первоначальная модель [4] остается наиболее общепринятой. Согласно этой модели, частицы пыли выстраиваются под действием магнитного поля малыми осями вдоль поля. Таким образом, поляриметрия межзвездной среды является важным инструментом в изучении магнитного поля, и поляризационные карты рассматриваются обычно как карты межзвездного магнитного поля в проекции на небесную сферу.

Как правило, наблюдается довольно четкая корреляция между величиной межзвездной поляризации и поглощением A_v . Однако, как показали инфракрасные (ИК) и оптические исследования межзвездной поляризации в плотных молекулярных облаках [6-9], эта корреляция для звезд, видимых сквозь поглощающее вещество этих облаков с $A_v \geq 1^m.2$, нарушается. Степень линейной поляризации, при тех же средних значениях и дисперсии позиционного угла, что и у звезд поля, либо перестает расти с увеличением поглощения [6-8], либо растет, но гораздо медленнее [9]. Это дало основания предположить, что в темных пылевых туманностях частицы имеют более инзкую по сравнению с межзвездной средой поляризационную эффективность. Уменьшение поляризационной эффективности частиц возможно за счет образования на них ледяной мантии, изменения формы и степени вытянутости по сравнению с частицами в межзвездной среде, а

также из-за более низкой, чем в межзвездной среде, степени выстроенности частиц.

Представленные в данной статье наблюдения относятся к молекулярному облаку в Змее, к которому принадлежит Ae-звезда Хербига VV Ser. Это хорошо известная область, в которой идет уже вторая волна звездообразования. На рис.1 представлена карта этой области по данным IRAS в полосе $100\mu\text{m}$, на которой хорошо видна туманность с ярким ИК-

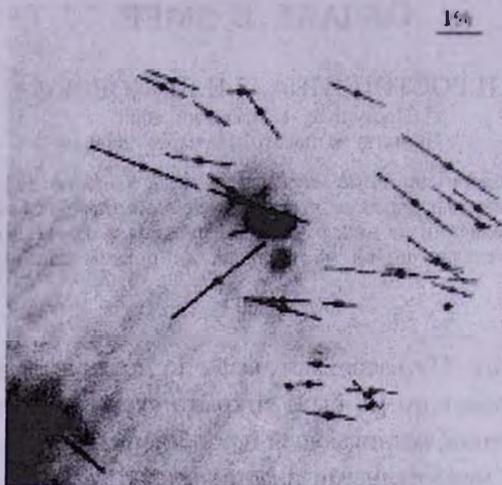


Рис.1. IRAS $100\mu\text{m}$ изображение молекулярного облака в Змее. Размер поля $3^\circ \times 3^\circ$. Отмечены исследованные нами звезды и показана их поляризация

ядром. В центральной части туманности на площади в 19 arcmin^2 разрешается более 100 ИК- источников, являющихся очень молодыми звездами (возраст порядка 10^5 лет [10,11]). Линейная поляризация оптического излучения туманности составляет от 20 (в северной части) до 30% (в южной части), с позиционным углом около $69^\circ \pm 9^\circ$ [12]. Поляризационные наблюдения в данной области были выполнены также для двух звезд и трех отражательных туманностей [13] и показали, что степень поляризации составляет от 0.3 до 2.8%, с позиционными углами от 50 (у трех объектов) до 100° , за исключением звезды HD 170545, позиционный угол которой около 20° .

2. *Наблюдения и анализ.* Страйжисом и др. [14] по данным фотометрии в вильнюсской системе были получены данные о расстоянии и поглощении для 105 звезд в направлении на молекулярное облако в Змее. Из них нами были выбраны 40 звезд ярче $13^m.5$ так, чтобы они перекрывали весь диапазон A_v и все звезды с $A_v > 1^m$. Номера звезд, данные о поглощении и о расстояниях до этих звезд по [14] приведены в колонках 1-3 табл.1. Средняя ошибка при оценке поглощения оценивается в [14] в $0^m.1$, тогда как ошибка в определении расстояния составляет около 25%. Расстояние

Таблица 1

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗВЕЗД В НАПРАВЛЕНИИ
НА МОЛЕКУЛЯРНОЕ ОБЛАКО

Объект	A_v [m]	D [пк]	$P \pm \sigma P$ [%]	$P.A. \pm \sigma P.A.$ [°]
1	0.00	192	0.42 0.10	79.5 6.7
2	0.79	410	1.60 0.14	53.6 2.6
4	0.71	400	1.69 0.13	52.4 2.3
6	1.08	450	1.32 0.20	70.7 6.8
8	1.42	760	2.64 0.20	56.5 2.1
9	0.25	72	0.29 0.04	88.7 6.5
10	0.50	250	1.20 0.26	72.3 6.1
12	0.83	250	1.67 0.16	52.4 2.7
13'	2.00	220	2.21 0.25	46.3 3.2
14'	2.90	196	3.52 0.17	85.3 1.3
15	0.13	210	0.73 0.23	78.6 8.8
26	0.46	290	1.05 0.40	89.2 9.7
27	0.17	179	0.60 0.21	93.9 9.9
29	0.75	320	1.13 0.17	45.5 5.5
35	1.00	580	1.35 0.16	68.1 3.5
37	0.00	98	0.23 0.07	101.2 9.2
41	1.06	190	1.75 0.31	77.7 4.4
42	0.00	31	0.34 0.10	84.3 8.7
45	0.38	230	0.63 0.04	84.8 2.1
50	0.42	144	0.18 0.07	62.8 11.1
52	0.92	680	1.82 0.33	74.5 5.1
53'	2.55	290	1.53 0.31	87.4 6.8
58	0.13	122	0.50 0.15	98.1 8.4
60	0.75	460	1.75 0.33	72.2 5.4
61'	2.30	196	1.15 0.13	99.3 2.2
63	0.09	122	0.14 0.06	90.9 12.4
64'	2.29	280	1.53 0.15	36.7 2.9
70'	1.23	250	1.66 0.31	67.6 4.5
73'	2.73	138	0.90 0.09	91.4 7.2
74'	2.45	215	1.32 0.08	70.4 1.7
78'	1.01	290	2.07 0.27	63.6 3.7
79'	2.11	305	1.19 0.07	57.1 1.7
82'	2.64	260	2.87 0.52	136.7 5.1
85'	1.23	210	0.82 0.09	54.8 3.1
88	1.63	640	1.86 0.37	80.8 8.3
92	1.14	720	1.42 0.10	69.7 2.5
96	0.92	260	1.25 0.14	66.1 3.4
103'	1.85	200	2.01 0.37	68.7 3.9
117'	2.46	280	2.81 0.07	49.4 0.7
VV Ser'	2.94	296	1.21 0.18	72.59 4.44

для VV Ser было взято из [16] и совпадает с приблизительной оценкой расстояния до переменной, сделанной в [14]. Поглощение для VV Ser взято из работы [17].

На рис.2 представлена зависимость общего поглощения от расстояния для выбранных нами звезд. Хорошо виден рост поглощения с увеличением расстояния для звезд поля (заполненные кружки). Часть звезд на расстояниях 200-260 пк имеет большее поглощение, чем звезды поля. Это - сильно поглощенные звезды облака (открытые кружки). В табл.1 принадлежность звезд к этой группе обозначена звездочкой в колонке 1.

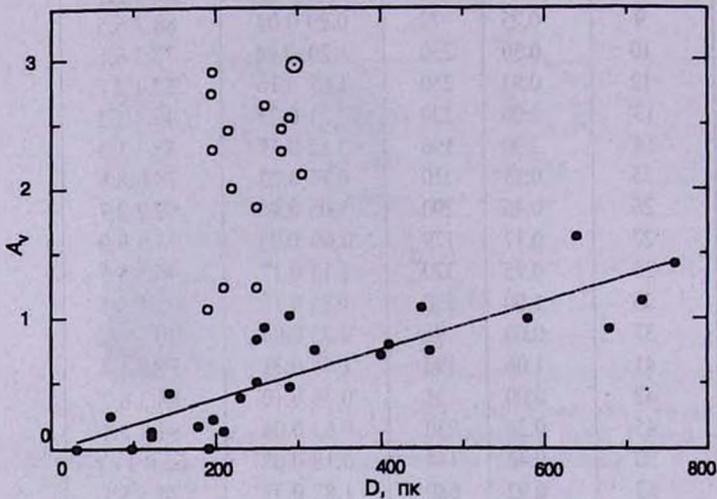


Рис.2. Зависимость поглощения от расстояния для исследованных звезд из молекулярного облака в Змее по данным [13]. Незаполненными кружками выделены сильно поглощенные звезды облака, \odot - VV Ser.

Синхронные *UBVRI* поляризационные наблюдения были выполнены на двухканальном фотометре-поляриметре [15], установленном на телескопе АЗТ-11 ($D=1.25$ м) Крымской астрофизической обсерватории. Поправки за инструментальную поляризацию и определение нуль-пункта системы получались ежемесячно путем наблюдения стандартных звезд. В зависимости от блеска и условий наблюдений выполнялось от 8 до 32 измерений параметров Стокса для каждой из исследуемых звезд. Результаты наблюдений выбранных звезд представлены в колонках 4-5 табл.1.

Для VV Ser, которая является звездой типа UX Ori и имеет собственную поляризацию, приведена поляризация, наблюдавшаяся в ярчайшем состоянии переменной. Как показал многолетний поляриметрический мониторинг этой звезды [18], ее собственная поляризация имеет позиционный угол, близкий к позиционному углу межзвездной

поляризации, и в ярком состоянии не превосходит межзвездную по величине. Таким образом, наблюдаемая в ярком состоянии поляризация VV Ser может рассматриваться как оценка верхнего предела межзвездной поляризации.

Из рис.1 и табл.1 видно, что нет существенных отличий в распределении позиционных углов поляризации звезд поля и звезд, принадлежащих облаку. Для звезд облака среднее значение позиционного угла 72° , дисперсия 25° , для звезд поля - соответственно 75° и 15° . Несколько большее значение дисперсии для звезд облака обусловлено аномальным позиционным углом звезды 82. Исключив ее из рассмотрения, мы получили для звезд облака среднее значение 68° и дисперсию 18° . Таким образом, структура магнитного поля в облаке и окружающей среде, по-видимому, одинакова. Кроме того, такое совпадение позиционных углов позволяет при дальнейшем анализе ограничиться рассмотрением только степени поляризации, а не двух параметров Стокса.

На рис.3 представлена зависимость степени линейной поляризации в полосе V от общего поглощения. Как и на рис.2, заполненными кружками представлены звезды поля, тогда как открытыми символами отмечены звезды, испытавшие поглощение в туманности. Треугольниками отмечены звезды, ассоциированные с отражательными туманностями. Сходные зависимости получаются и в остальных полосах.

Хорошо видно, что зависимость степени поляризации от поглощения разбивается на две ветви. Для всех звезд поля степень поляризации растет с увеличением поглощения. Для 5 из 15 звезд облака, в том числе для

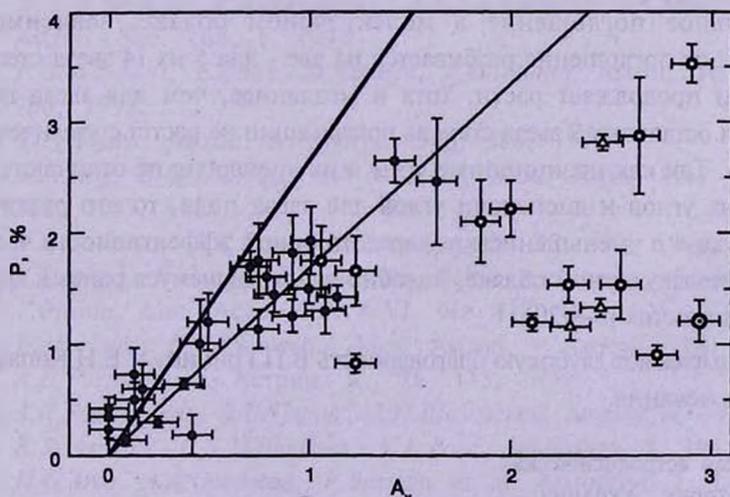


Рис.3. Зависимость степени линейной поляризации исследованных звезд в полосе V от поглощения A_v . Заполненными кружками представлены звезды поля, открытыми символами отмечены звезды, испытавшие поглощение в туманности, треугольниками отмечены звезды, ассоциированные с отражательными туманностями.

одного из трех ядер отражательных туманностей, степень поляризации продолжает расти с увеличением поглощения, тогда как для остальных 9 звезд облака (в том числе для 2 ядер отражательных туманностей) степень поляризации не растет с увеличением поглощения. Из этих 9 звезд 4 имеют поглощение, близкое к 1, то есть не испытывают сильного поглощения в облаке.

Серковский и др. [19] по наблюдениям большого числа звезд показали существование верхнего предела для зависимости межзвездной поляризации от избытка цвета $P_{\max} / E_{B-V} = 9\%/m$. Как отмечалось в [14,16], значение R в направлении на исследуемую область равно 3.4. С учетом этого получаем: $P_{\max} / A_v = 2.65\%/m$. Это соотношение показано на рис.3 жирной линией и соответствует оптимальному выстраиванию частиц на луче зрения.

Для звезд поля в направлении на молекулярное облако в Змее отношение $P/A_v = 1.7\%/m$ (тонкая линия на рис.3). Для тех звезд облака, для которых степень поляризации продолжает расти с увеличением поглощения $P/A_v = 1.1\%/m$. Таким образом, эффект пониженной поляризационной эффективности пыли наблюдается для всех звезд, погруженных в облако. Однако он не столь ярко выражен, как в облаке в Тельце по данным [20], что может быть связано как с реально более неоднородной структурой облака в Змее, так и с различием в методике выделения звезд, погруженных в облако, принятой в данной работе и в [20].

3. Заключение. Исследование поляризации звезд в направлении на молекулярное облако в Змее показало существование линейной зависимости степени поляризации от поглощения для звезд поля. Для звезд, испытавших дополнительное поглощение в молекулярном облаке, зависимость поляризации от поглощения разбивается на две - для 5 из 14 звезд степень поляризации продолжает расти, хотя и медленнее, чем для звезд поля, тогда как для остальных 9 звезд степень поляризации не растет с увеличением поглощения. Так как позиционные углы и их дисперсия не отличаются от позиционных углов и дисперсии углов для звезд поля, то это различие, видимо, связано с уменьшением поляризационной эффективности частиц в холодном молекулярном облаке, подобно наблюдавшемуся ранее в других темных туманностях [6-9,20].

Авторы выражают глубокую благодарность В.П.Гринину и Е.Н.Копачкой за ценные замечания.

Крымская астрофизическая
обсерватория, Украина

INTERSTELLAR POLARIZATION FOR THE SERPENS
CAUDA MOLECULAR CLOUD

A.N.ROSTOPCHINA, D.N.SHAKHOVSKOY

Polarimetric observations of the stars in the region of Serpens Cauda molecular cloud are presented. Bimodal dependence of interstellar polarization on A_V was found. A conclusion is made about reduced polarizing power of the grains in the cloud.

ЛИТЕРАТУРА

1. *W.A.Hiltner*, *Astrophys. J.*, **109**, 471, 1949.
2. *J.S.Hall*, *Science*, **109**, 166, 1949.
3. *В.А.Домбровский*, Докл. АН Арм. ССР, **10**, 199, 1949.
4. *L.Davis*, *J.L.Greenstein*, *Astrophys. J.*, **114**, 206, 1951.
5. *A.Lazarian*, *A.A.Goodman P.C.Myers*, *Astrophys. J.*, **273**, 470, 1997.
6. *A.Goodman*, *T.J.Jones*, *E.A.Lada*, *Ph.C.Myers*, *Astrophys. J.*, **399**, 108, 1992.
7. *M.Creese*, *T.J.Jones*, *H.A.Kobulnicky*, *Astron. J.*, **110**, 268, 1995.
8. *A.Goodman*, *T.J.Jones*, *E.A.Lada*, *Ph.C.Myers*, *Astrophys. J.*, **448**, 178, 1995.
9. *D.C.B.Whittet*, *P.A.Gerakines*, *A.L.Carkner et al.* *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* **268**, 1, 1994.
10. *P.Giovannetti*, *E.Caux*, *D.Nadeau*, *J.-L.Monin*, *Astron. Astrophys.*, **330**, 990, 1998.
11. *T.Preibisch*, *Astron. Astrophys.*, **345**, 583, 1999.
12. *D.J.King*, *S.M.Searrott*, *K.N.R.Taylor*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **202**, 1087, 1983.
13. *А.А.Павлова*, *Ф.К.Рснаев*, *Астрофизика*, **25**, 461, 1986.
14. *V.Straižys*, *K.Černis*, *S.Bartašiūtė*, *Baltic Astronomy*, **5**, 125, 1996.
15. *V.Piirola*, *Ann. Acad. Sci. A.VI. No 418*, 61, 1975.
16. *E.dE Lara*, *K.C.Chavarria*, *Mex. Astron. y Astrofis.*, **18**, 180, 1989.
17. *А.Н.Ростопчина*, *Астрон. ж.*, **76**, 113, 1999.
18. *А.Н.Ростопчина*, *В.П.Гринин*, *Д.Н.Шаховской*, *Астрон ж.* 2000 (в печати).
19. *K.Serkowski*, *D.S.Mathewson*, *V.L.Ford*, *Astrophys. J.* **196**, 261, 1975.
20. *H.G.Arce*, *A.A.Goodman*, *P.Bastien*, et al. *Astrophys. J. Lett.*, **499**, 93, 1998.