

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
КРАТНОЙ СИСТЕМЫ ADS 4374

В. С. СТРЕЛЬНИЦКИЙ

Поступила 4 июня 1970

Приводятся результаты фотозлектрической поляриметрии компонент ADS 4374 и 3-х избранных площадок туманности M78, связанной с этими звездами. Степень поляризации обеих компонент растет аномально круто в красную область спектра по сравнению с „нормальной“ межзвездной поляризацией. Поляризация измеренных площадок туманности радиальна по отношению к M78-B, которая должна быть поэтому основной освещающей звездой. Показано, что сильное различие в направлениях поляризации компонент вызывается поляризующим действием очень плотного пылевого волокна (глобулы), которое, по-видимому, тесно связано со звездой M78-B.

Введение. Тот факт, что свет многих звезд может претерпевать поляризующее действие не только в межзвездных пылевых облаках, но и в атмосферах звезд или физически связанных с ними образованиях, надежно установлен за последние годы для ряда долгопериодических красных сверхгигантов, затменно-двойных и спектрально-двойных. Таковую поляризацию, в отличие от межзвездной, принято называть собственной. Во всех перечисленных случаях „собственный“ характер поляризации следует из временных вариаций параметров поляризации, коррелирующих так или иначе с изменениями блеска или спектра звезд. Другая возможность обнаружить собственную поляризацию, а, следовательно, получить определенную информацию о физических свойствах внешних слоев звезды или о материи, находящейся в непосредственных ее окрестностях, состоит в поисках визуальных кратных систем, у которых параметры поляризации компонент сильно отличаются друг от друга. Эта возможность, указанная несколько лет назад В. А. Домбровским, следует из того, что корреляционная длина, характеризующая однородность межзвездного магнитного поля, согласно статистическим

исследованиям межзвездной поляризации, порядка 10^2 лс. Поэтому для компонент визуально-двойных, расстояния между которыми по порядку не превосходят 1 лс, параметры межзвездной поляризации должны быть практически одинаковы, а существенные различия являются серьезным указанием на собственный характер поляризации одной или нескольких компонент. Исследование поляризации визуальных кратных систем было начато в АО ЛГУ весной 1968 г. Естественно было исследовать прежде всего системы с обнаруженной уже разной поляризацией компонент. Такой системой является ADS 4374, связанная с туманностью М 78. В 1958 г. Холл [1] привел результаты измерения поляризации компонент этой системы и обратил внимание на почти взаимно-перпендикулярное направление их плоскостей поляризации. Согласно измерениям Холла, для комплекса Ориона, к которому принадлежит эта система, вообще характерна большая дисперсия направлений поляризации, что, безусловно, связано с обилием в этой области плотных пылевых облаков сложной структуры. Однако случай ADS 4374, если учесть относительную ничтожность расстояния между компонентами ($50''$), является, конечно, уникальным. В настоящей работе излагаются результаты исследования ADS 4374, выполненного в АО ЛГУ в 1968—1969 гг.

Описание системы. ADS 4374—визуальная тройная система. Однако во всех фотометрических работах компоненты ADS 4374 А и В измерялись как одна звезда (обозначаемая в некоторых работах М 78-В), так как расстояние между ними лишь $2''.5$. При этом фотометрическое влияние ADS 4374-В всегда игнорировалось (согласно каталогу ADS, компонента В слабее А на $2^m.5$). Ниже мы также будем рассматривать ADS 4374 фотометрически как двойную систему. Расстояние между ее компонентами (А,В) и С (другое обозначение: М78-А) составляет $50''$. Действительная близость звезд (А, В) и С в пространстве подтверждается работой Шарплесса [3]. В этой работе на основе U, В, V—фотометрии определены Q-методом спектральные типы многих звезд из комплекса Ориона, их избытки цвета и полное поглощение. При этом звезды (А, В) и С хорошо ложатся на верхнем конце диаграммы Г-Р вместе с другими звездами комплекса, а расстояние до комплекса оказывается равным 500 лс. Спектральный класс компоненты (А, В) определен Шарплессом по нескольким щелевым спектрограммам—В1V, [2], и Q-методом-В3, [3]. Спектральный класс компоненты С, определенный Q-методом-В5 [3], что совпадает с более ранним определением спектра этой звезды Хабблом [2]. Поляризация компонент, согласно Холлу, [1], такова:

звезда (А, В): $\Delta m_p = 0^m052$ ($p = 2.4\%$), $\theta_0 = 9^\circ$;

звезда С: $\Delta m_p = 0^m076$ ($p = 3.5\%$), $\theta_0 = 91^\circ$.

Обе звезды наблюдаются на фоне яркой диффузной туманности М 78 (NGC 2068). Отражательный характер М 78 установлен Слайфеном, согласно которому спектр этой туманности непрерывный с сильными линиями поглощения водорода и слабыми линиями гелия [4].

Результаты наблюдений. Все наши наблюдения выполнены на южной станции АО ЛГУ в Бюракане весной и осенью 1968 г. с помощью электрополяриметра, установленного в кассегреневском фокусе 20^я телескопа АЗТ-14 и описанного в [5]. Наблюдения включали в себя исследование цветовой зависимости поляризации звезд и определение параметров поляризации для трех избранных площадок туманности. Первые измерения поляризации звезд выполнены с диафрагмой 26". Поляризация фона учитывалась по измерениям лишь в одной точке, сравнительно далеко от звезды. Эти измерения проделаны по принятой в АО ЛГУ методике, изложенной в [5]. Таким путем мы получили параметры поляризации в цветовой полосе R для звезды (А, В) и в полосах В, V, R для звезды С. Результаты (степень поляризации в разных цветах) представлены в табл. 1. Позиционный угол плоскости колебаний для звезды С практически не зависит от цвета и равен 100°,

Таблица 1

Звезда	Цветовая полоса	Степень поляризации (%)	
		I серия (26")	II серия (13")
(А, В)	B	—	1.3±0.3
	V	—	2.1±0.5
	R	1.8	2.6±0.1
С	U	--	1.9±0.3
	B	3.9	2.9±0.3
	V	5.0	4.2±0.5
	R	4.7	4.2±0.4

для звезды (А, В) $\theta_0^{(R)} = 15^\circ$. С целью более строгого учета фона мы проделали еще одну серию измерений с диафрагмой 13". В этой серии измерение в каждом фильтре сопровождалось учетом фона в четырех точках вокруг звезды, в непосредственной близости от нее. Однако здесь была оценена только степень поляризации путем многократных измерений интенсивности излучения звезды (и фона) при θ_{\max} и θ_{\min} ,

найденными в первой серии наблюдений. Так были определены значения p_{λ} в U, B, V, R для звезды С и в B, V, R для звезды (А, В). Результаты представлены также в табл. 1 с указанием средних ошибок, определенных из внутренней сходимости. Ошибки эти довольно велики, что связано с трудностью учета яркого и неравномерного фона. Вторая серия наблюдений представляется нам более надежной, по крайней мере для определения зависимости $p(\lambda)$, поэтому ниже обсуждаются результаты лишь этих наблюдений.

Поляризация туманности определена для трех площадок диаметром $13''$ с центрами в точках 1, 2 и 3, отстоящих на $13''$, соответственно, к S от звезды С, к E от звезды (А, В) и к W от звезды С. Измерения выполнены с сине-зеленым светофильтром (СЗС-22, 4 мн), так что $\lambda_{\text{эфф}} \approx 4000 \text{ \AA}$. Результаты представлены в табл. 2, где указаны также позиционные углы направлений, перпендикулярных направлениям на звезды (А, В) и С из точек 1, 2, 3. Ошибка в определении θ_0 , по-видимому, не превосходит 5° .

Таблица 2

Площадка	$p\%$	θ_0	$\theta_0 (\perp \text{ к АВ})$	$\theta_0 (\perp \text{ к С})$
1	6.0	103°	107°	90°
2	4.0	8	0	123
3	5.0	121	123	0

Одновременно результаты поляризационных наблюдений туманности и звезд представлены на рис. 1.

Мы воспользовались также результатами 7-цветной фотометрии Мендозы [6] и определили полное поглощение A_V для звезд (А, В) и С методом экстраполяции кривых экстинкции к $1/\lambda = 0$. При этом мы приняли спектральные типы, определенные по щелевым спектрограммам (см. выше). Нормальные цвета взяты из работы Джонсона [7]. Вычисленные избытки цвета $E_{U-V} = (U-V) - (U-V)_0$ и т. д. вплоть до E_{V-K} нормировались (условно принималось $E_{B-J} = 1.000$) и наносились на график. Поскольку $E_{U-V} = A_U - A_V$ и т. д., где A — полное поглощение в данной цветовой полосе, полученные кривые являются нормированными кривыми межзвездной экстинкции. Эти кривые представлены на рис. 2, где для сравнения приведены также кривая экстинкции $\theta^2 \text{ OI}$ и средняя кривая для обычных мест Галактики по [8] и [9]. Экстраполяцией кривых экстинкции к $1/\lambda = 0$ определено полное поглощение и вычислено отношение полного поглощения к селективному, $R = A_V/E_{B-V}$, для этих звезд (табл. 3).

Обсуждение результатов. То, что основной освещающей звездой является звезда (А, В), предполагалось ранее Шарплессом [2], который исходил при этом из особенностей геометрической формы туманности. Наши измерения поляризации туманности подтверждают это предположение. Действительно, из табл. 2 видно, что поляризация в измеренных точках очень близка к „радиальной“, если предположить, что виновницей свечения туманности является звезда (А, В).

Таблица 3

Звезда	A_V	$R = A_V / E_{B-V}$
(А, В)	5.9 ^m	4.2
С	2.6	3.5
θ^2 Ori	1.2	5.6

Шарплесс в статье [2] другим методом оценил полное поглощение для звезд (А, В) и С, вычислил отношения полного поглощения к селективному и пришел к выводу, что для звезд (А, В) и С эти отношения ближе к „нормальному“, чем для других звезд в Орионе.

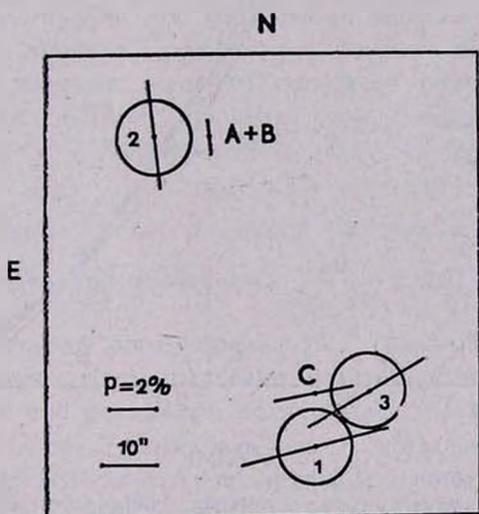


Рис. 1. Поляризация М 78 и связанных с нею звезд ADS 4374 (в синих лучах).

Наши оценки методом экстраполяции к $1/\lambda = 0$ подтверждают вывод Шарплесса: как видно из табл. 3 величина R у звезд (А, В) и С ближе к „нормальному“ значению (3, 0), чем у θ^2 Ori (см. также рис. 2).

Из табл. 3 мы видим также, что полное поглощение в V для звезды (А, В) больше, чем для звезды С на $3^m.3$. Этот факт уже наводит на мысль о том, что источник наблюдаемой резкой разницы в поляризации этих звезд, возможно, связан с каким-то сильно погло-

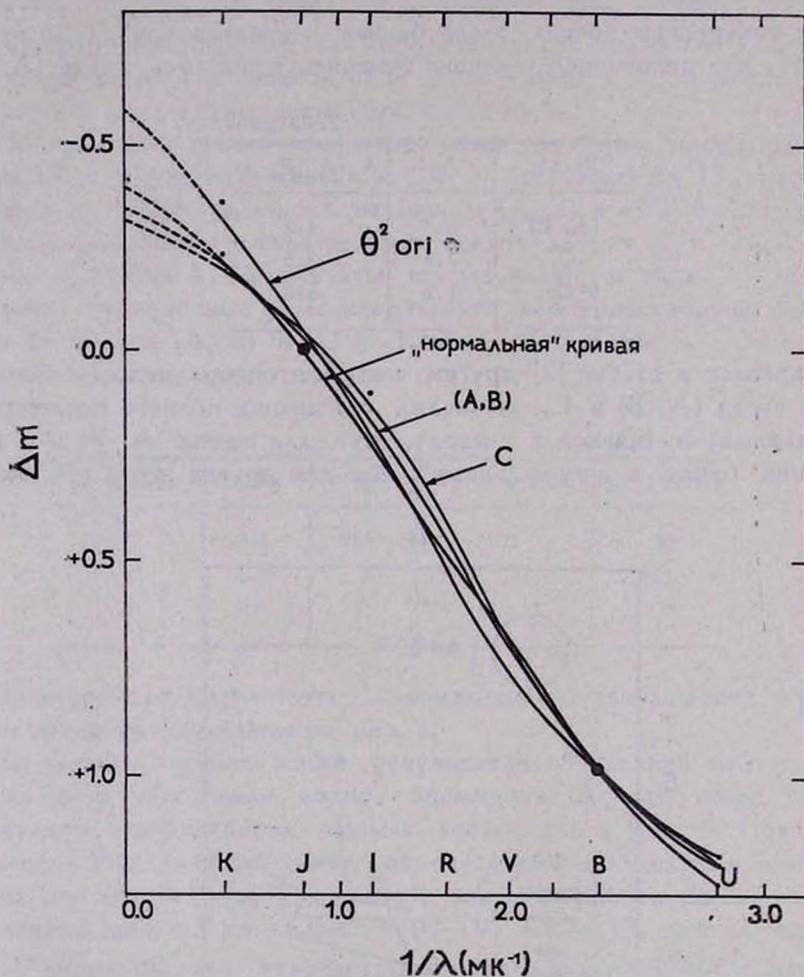


Рис. 2. Нормированные кривые экстинкции. Нормировка: $E_{B-J} = 1^m.00$.

щающим объектом, проектирующимся на звезду (А, В). Объект этот должен быть достаточно компактным: ведь угловое расстояние между звездами (А, В) и С составляет лишь $50''$, что на расстоянии 500 *pc* соответствует приблизительно 0.1 *pc*. Это наше предположение оче-

видно подтверждается прямым снимком М 78. На рис. 3 представлена фотография М 78 и звезд ADS 4374, полученная нами на 18" телескопе, где видно весьма темное удлиненное „волокно“, на одной из сторон которого „сидит“ звезда (А, В). Позиционный угол направления вытянутости „волокна“ равен 15° , что совпадает с направлением поляризации звезды (А, В). Поэтому естественно предположить, что „волокно“ ответственно как за сильное поглощение света звезды (А, В), так и за его поляризацию. Разумеется, часть наблюдаемого для (А, В) поглощения может вызваться иными, более регулярными, областями пылевого комплекса в Орионе или вообще не принадлежащими комплексу межзвездными облаками. Однако эта „регулярная“ часть поглощения не должна сильно отличаться от поглощения для расположенной близко звезды С, т. е. можно считать, что производимое „волокном“ поглощение $A_V = 3^m3$, покраснение $E_{B-V} = 0^m7$ и, следовательно, $A_B = 4^m0$. „Волокно“ на наших снимках разрешается как по длине, так и по толщине. Его видимая на снимках длина составляет около 30—35", толщина — примерно 7", а диаметр самых слабых звезд на снимке $\approx 4"$. Поэтому можно считать, что истинные угловые размеры „волокна“ примерно $10 \times 35"$. Маловероятно, чтобы столь компактное образование точно проектировалось на звезду, будучи от нее сильно удалено. Поэтому, принимая расстояние до „волокна“ равным расстоянию до комплекса Ориона, т. е. 500 пс, находим, что его линейные размеры составляют приблизительно 0.1×0.02 пс. Примем вслед за ван де Хюлстом [10], что экстинкция в фотографической области, производимая 1 г пыли в расчете на один $см^2$, составляет $4^m5 \times 10^4$. Тогда получаем, что в столбе сечением 1 $см^2$ и длиной 0.02 пс $\approx 6 \cdot 10^{18}$ см „волокно“ должно содержать приблизительно $\frac{4.0}{4.5 \cdot 10^4} \approx 10^{-4}$ г пыли, т. е. плот-

ность пыли должна быть порядка 10^{-21} г/см³. Таким образом, „волокно“ относится к числу наиболее плотных из наблюдаемых глобул.

Допустим, что различие в поляризации звезд (А, В) и С связано с „волокном“. Пусть „регулярная“ часть поглощения вносит в излучение звезды (А, В) такую же поляризацию и поглощение, как и в излучение звезды С, т. е. $p_V = 4.2\%$, при $\theta_0 = 100^\circ$ и $A_V = 2^m6$. Предположив также, что поляризующая способность пыли в „волокне“ не ниже, чем в „регулярной“ части, ответственной за поляризацию звезды С, находим, что волокно должно вносить поляризацию около 5.4%.

Если волокно поляризует свет вдоль направления своей вытянутости ($\theta_0 = 15^\circ$), то результирующая поляризация звезды (А, В)

должна быть равна примерно 1.2% при $\theta_0 \approx 15^\circ$. Это не сильно отличается от наблюдаемого значения $p_V = 2.1 \pm 0.5\%$, если учесть приближенность наших предположений. Кроме того, поляризующая способность пыли в „волокне“ может быть выше, чем в „регулярной“ части туманности и тогда расчетное значение p_V будет ближе к наблюдаемому.

Как известно, межзвездная поляризация, связанная с рассеянием света звезды на межзвездных пылинках, имеет характерную зависимость степени поляризации от длины волны (см., например, [11]). Сильные отличия λ -зависимости поляризации от типичной межзвездной могут служить индикатором „собственного“ происхождения поля-

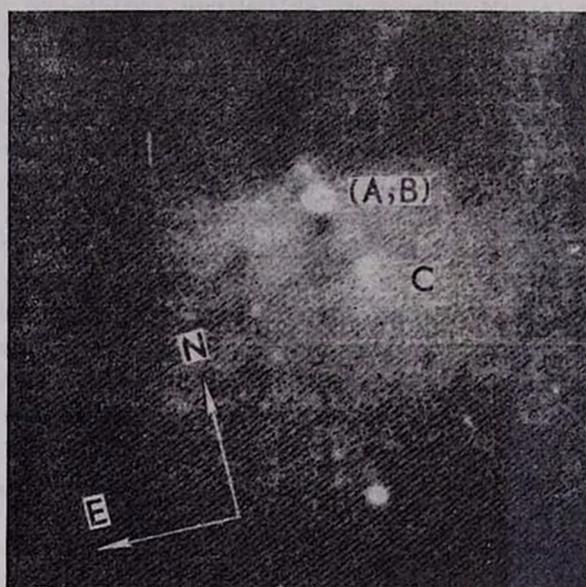


Рис. 3. Фотография туманности М 78 и звезд ADS 4374, полученная на 18" телескопе (снимок сделан через поляроид).

ризации. Имея это в виду, мы и попытались исследовать цветовую зависимость поляризации звезд (А, В) и С. Эта зависимость представлена на рис. 4, где использованы данные табл. 1, нормированные к p ($1/\lambda = 2,13$). Это дает нам возможность сравнить наши результаты с результатами Койна и Герельса [11], которые исследовали цветовую зависимость поляризации многих звезд. На рис. 4 для сравнения приведены заимствованные из [11] λ -зависимость поляризации θ^2 Ogi и типичная λ -зависимость межзвездной поляризации по 52 звездам. Рис. 4 показывает, несмотря на большие ошибки наблюдений,

существенные отличия цветовой зависимости поляризации звезд (А, В) и С от типичной межзвездной и сходство с цветовой зависимостью поляризации θ^2 Ori. В случае θ^2 Ori Койо и Герельс склонны, по-видимому, приписывать наблюдаемую аномалию „собственному“ характеру поляризации, связанному со спектральной двойственностью этой звезды, так как указывают на обнаруженные ими временные изменения степени поляризации в ультрафиолете. Примечательно, что, согласно нашим

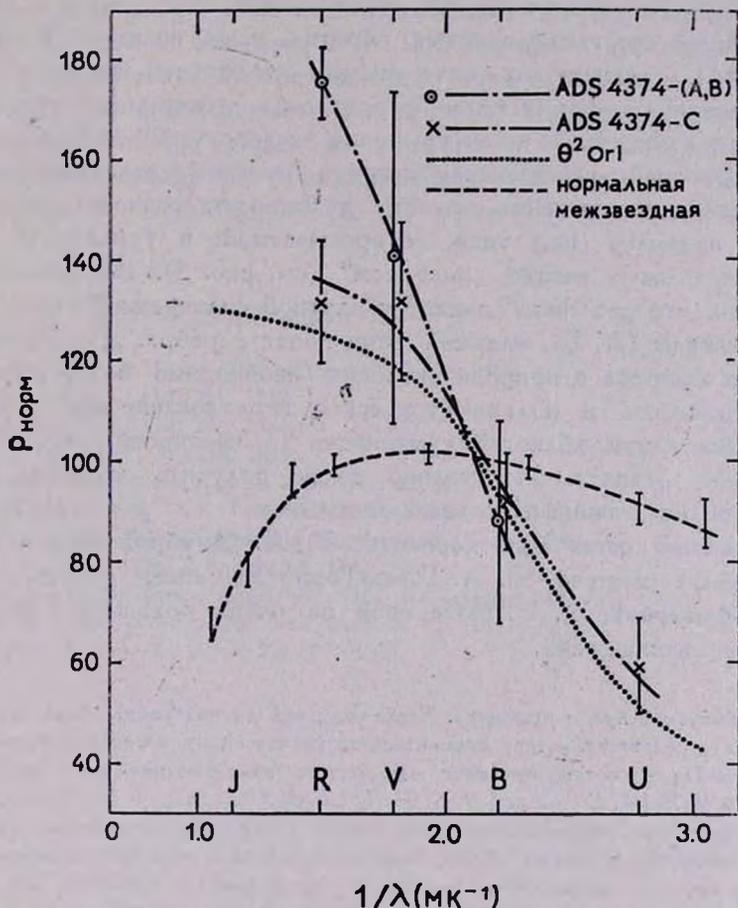


Рис. 4. λ -Зависимость степени поляризации. Нормировка: $p(1/\lambda=2, 13)=100\%$.

наблюдениям, одинаковая „аномалия“ λ -зависимости имеет место у обеих звезд ADS 4374. Мы склонны считать, что это вызывается скорее особенностями пыли в комплексе Ориона или отдельных его областях, чем „собственным“ характером поляризации обеих звезд ADS 4374. Количество наблюдательного материала и его точность

пока явно недостаточны, чтобы утверждать это с полной уверенностью.

Заметим, наконец, это приведенное выше объяснение сильного различия в направлении плоскостей поляризации звезд ADS 4374 с помощью „волокна“ не исключает, а, возможно, наоборот, подтверждает „собственный“ характер поляризации звезды (А, В). Действительно, нельзя априорно исключить возможность не только пространственной близости, но и тесной генетической связи звезды (А, В) с глобулой, на что также впервые обратил наше внимание В. А. Домбровский. Следующие три факта говорят о вероятной близости „волокна“ и звезды (А, В): 1) малая вероятность случайного проектирования столь компактного объекта точно на звезду; 2) значительная яркость „волокна“, невозможная при его большом удалении от звезды; 3) характерное понижение яркости туманности точно к югу от „волокна“, имеющее вид тени, отбрасываемой в туманность близко расположенным к звезде „волокном“ (см. рис. 3). Не исключено, в частности, что „волокно“ является плотной сплюсненной пылевой оболочкой звезды (А, В), видимой нами почти с ребра. Для более определенных выводов о природе „волокна“ необходимо более подробное фотометрическое и поляриметрическое исследование как „волокна“, так и прилежащих областей туманности (в частности, области предполагаемой „тени“). Желательно также получить хорошие снимки М 78 с более длиннофокусным телескопом.

Приношу свою благодарность В. А. Домбровскому за общее руководство работой, В. А. Гаген-Торну за ценные советы по методике наблюдений, Г. Н. Малаховой за очень большую помощь при обработке наблюдений.

Примечание при корректуре. После того, как данная работа была закончена и отправлена в редакцию, автору стало известно (за что он приносит свою благодарность В. А. Гаген-Торну) о существовании еще одного поляриметрического исследования туманности М 78 [A. Elvius and J. S. Hall, Lowell Obs. Bull., 6, No 16, 257, 1966]. В этой работе также подтверждена роль звезды (А, В) как освещающей туманность. Степень поляризации звезды (А, В), согласно измерениям этих авторов, также растет аномально круто в направлении больших λ , тогда как для звезды С они получили более близкую к „нормальной“ λ -зависимость степени поляризации.

Астрономическая обсерватория
Ленинградского государственного
университета

POLARIMETRICAL INVESTIGATION OF THE MULTIPLE
STELLAR SYSTEM ADS 4374

V. S. STRELNITSKY

The results of the photoelectrical polarimetry of ADS 4374 components and of 3 selected areas of associated nebula M 78 are given. The degree of polarization of both stars shows an abnormally steep rise towards the red as compared with the „normal“ interstellar polarization. The polarization of the measured areas of nebula is radial to M 78-B, which should be therefore the principal illuminating star. The large discrepancy of the planes of vibration of two components is shown to be produced by the polarizing effect of a very dense filament of dust (globule), which appears to be closely associated with the M 78-B.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *J. S. Hall*, Publ. US Naval Obs., 17, part VI, 275, 1958.
2. *S. Sharpless*, Ap. J., 116, 251, 1952.
3. *S. Sharpless*, Ap. J., 119, 200, 1954.
4. *V. M. Slipher*, PASP, 31, 214, 1919.
5. *B. A. Домбровский и др.*, Труды АО ЛГУ, 22, 83, 1965.
6. *E. E. V. Mendoza*, Bol. Obs. Tonanzintla Tacubaya, 4, № 29, 1967.
7. *H. L. Johnson*, Bol. Obs. Tonanzintla Tacubaya, 3, № 25, 1964.
8. *K. Nandy*, Publ. R. Obs. Edinburg, 3, 142, 1964.
9. *H. L. Johnson, J. Borgman*, Bull. Astr. Obs. Netherlands, 17, 115, 1963.
10. *van de H. C. Hulst*, Rech. Astr. Obs. Utrecht, 11, part 2, 1949.
11. *G. V. Coyne, T. Gehrels*, A. J., 72, 887, 1967.