

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

НОЯБРЬ, 1977

ВЫПУСК 4

ПОЛЯРИЗАЦИОННОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТУМАННОСТИ NGC 6618 И ОКРЕСТНЫХ ЗВЕЗД

В. А. ГАГЕН-ТОРИ, Н. В. ВОШИННИКОВ

Поступила 29 ноября 1976

Пересмотрена 10 сентября 1977

Приводятся результаты поляризметрических наблюдений шести областей в туманности и двадцати шести окрестных звезд. При наблюдениях туманности использовались пять фильтров, три из которых центрированы на эмиссионные линии, а два на участки спектра, свободные от линий. Большая часть звезд наблюдалась без фильтров, но для двух звезд была найдена зависимость поляризации от длины волны, не отличающаяся от таковой для межзвездной поляризации. В туманности же для всех областей степень поляризации в непрерывном спектре выше, чем в эмиссионных линиях. Это определение указывает на присутствие в излучении туманности собственной поляризации. Определение параметров межзвездной поляризации с помощью наблюдений окрестных звезд может быть сделано более или менее уверенно только для западных областей туманности. Эти параметры совпадают с параметрами, наблюдаемыми для эмиссионных линий. Показано, что появление собственной поляризации в непрерывном спектре обусловлено рассеянием на пыли излучения звезд, расположенных в районе темного залива.

1. *Введение.* Туманность NGC 6618 (M 17 или Омега) — одна из наиболее ярких и известных диффузных туманностей. Она представляет собой сложный газопылевой комплекс. Из многочисленных наблюдений надежно установлена тепловая природа ее радиоизлучения [1]. Наиболее яркая в радиодиапазоне западная часть туманности экранируется мощным пылевым облаком, вероятно, связанным с туманностью. Поглощение в нем в видимой части спектра достигает семи звездных величин [2].

Тепловая природа радиоизлучения NGC 6618 позволяет считать, что свечение туманности возбуждается ультрафиолетовым излучением горячих звезд, как это имеет место в обычных диффузных и планетарных туманностях. Согласно оценке, сделанной в работе [3], светимость всего комплекса NGC 6618 составляет $5.6 \times 10^6 L_{\odot}$, и для возбуждения свечения необходимо 5—10 звезд спектрального класса O5. Однако до сих пор воз-

буждающие звезды не найдены. Обычно предполагается, что они находятся в западной части туманности и скрыты пылевым облаком. Но Ю. И. Глушков [4] отмечает, что газ сильнее ионизован не в западной, а в восточной части туманности, и это еще больше запутывает вопрос о возбуждающих звездах.

В последние годы было найдено, что туманность NGC 6618 является одной из наиболее ярких H II областей в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн [3, 5]. Клейнман [5] отмечает детальное совпадение изофот в ИК области спектра на 10 мкм и в радиодиапазоне на 2 см и 11 см и заключает, что, по крайней мере, в западной части туманности пыль (ответственная за ИК излучение) и газ (ответственный за радиоизлучение) перемешаны. Вопрос об источниках нагрева пыли до сих пор не получил удовлетворительного решения.

Неоднократно отмечалось, что в видимой области непрерывный спектр NGC 6618 весьма силен [6—9]. Для его объяснения предлагали и синхротронное [7] и двухфотонное [8] излучение, а также рассеяние на пылевых частицах внутри туманности [9].

Выяснению некоторых спорных вопросов (в частности природы непрерывного спектра) могли бы помочь поляризационные наблюдения туманности и окрестных звезд. Такие наблюдения были начаты в Астрономической обсерватории Ленинградского университета по предложению проф. В. А. Домбровского еще в 1965 г. К тому времени уже были выполнены три работы по обнаружению и исследованию поляризации излучения туманности NGC 6618 [7, 10, 11]. Основные результаты этих работ собраны в табл. 1. Там же приведены результаты опубликованной в 1967 г. работы [12]. В последовательных столбцах таблицы даются: авторы работы; использованная ими методика наблюдений; размер площадок, выбранных для измерения поляризации; диапазон длин волн, в котором проводилось исследование; среднее по туманности значение степени поляризации; среднее значение направления преимущественных колебаний электрического вектора (при усреднении данных работ [7, 12] были взяты только наблюдения, выполненные без фильтров). Подобное усреднение имеет смысл, поскольку направление поляризации во всех работах найдено примерно постоянным, а изменения степени поляризации по туманности не очень велики. В трех случаях результаты получаются достаточно близкими ($p \approx 5\%$, $\theta_0 \approx 175^\circ$). В работах [7, 12] отмечено, что степень поляризации больше в западной части туманности.

Поскольку плоскость преимущественных колебаний сохраняется примерно одинаковой для всех участков туманности, в работах [6, 8] была выдвинута гипотеза о межзвездном происхождении наблюдаемой поляризации. Эта гипотеза не может, однако, объяснить найденного для двух областей в туманности уменьшения степени поляризации в спектральном

участке, включающем эмиссионные линии в районе H_α [7]. Автор [7] делает предварительное заключение о том, что поляризованным является лишь непрерывное излучение туманности и, обращая внимание на нерадиальный характер поляризации, выдвигает гипотезу о присутствии в туманности синхротронного излучения. В дальнейшем Н. М. Шаховской и П. В. Щеглов [12] повторили наблюдения туманности Омега с интерференционным фильтром, выделяющим область линий H_α , N_1 и N_2 , и нашли, что степень поляризации в этом участке спектра не меньше, чем в соседнем участке непрерывного спектра.

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
ТУМАННОСТИ NGC 6618

Авторы	Методика	$d, ''$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$P_{\text{ср}}, \%$	$\eta_{\text{ср}}, \%$
Домбровский [7]	Фотоавтотр.	120; 240	3000 ÷ 6000	4.5	17 ^а
Рожковский Дьякушева [10]	Фотограф.	27	4000 ÷ 6300	5.0	17 ^а
Хачикин [11]	Фотограф.	11.4 ÷ 11.4	3600 ÷ 5000	18	31
Шаховской Щеглов [12]	Фотоавтотр.	18.5; 46	3200 ÷ 6000	6.2	16 ^а

Поскольку результаты работ [7] и [12] отчасти противоречат друг другу, мы в своих наблюдениях туманности обратили особое внимание на изучение зависимости поляризации от длины волны. Кроме того было решено провести более тщательное, чем это было сделано в [7], изучение поляризации для звезд, находящихся в окрестностях туманности, с целью определения межзвездной поляризации в области NGC 6618.

2. *Наблюдения и результаты.* Все наблюдения туманности и окрестных звезд получены на телескопе АЗТ-14 ($D=480$ мм) Бюраканской станции АО АГУ с астрофотометром АФМ-6 [13] в течение пяти наблюдательных сезонов (1965—66, 1968, 1972 и 1976 гг.). Естественно, что за это время и аппаратура и методика наблюдений претерпели некоторые изменения. В частности, в 1967 г. использовавшийся ранее фотоумножитель ФЭУ-64 с сурьмяно-цезиевым катодом (область чувствительности $\Delta\lambda$ 3000 ÷ 6500 Å, $\lambda_{\text{эфф.}} = 0.46$ мкм при наблюдениях без фильтров) был заменен фотоумножителем ФЭУ-79 с мультищелочным катодом ($\Delta\lambda$ 3000 ÷ 8500 Å, $\lambda_{\text{эфф.}} = 0.51$ мкм). Это позволило нам выполнить наблюдения в красной области спектра.

Основу нашей методики наблюдений составляет сравнение потоков от объекта при быстрой перекидке анализатора на 90° [13]. При этом в 1965—68 гг. такое сравнение делалось для десяти положений исходного

угла α (0° , 20° , ..., 180°) и параметры поляризации находились из решения избыточной системы уравнений

$$\frac{n_{\alpha, 90} - n_{\alpha}}{n_{\alpha, 90} + n_{\alpha}} = p_{\alpha} \cos 2(\alpha - \alpha_0), \quad \alpha = 0^\circ, 20^\circ, \dots, 180^\circ.$$

В 1972—76 гг. мы определяли p_0 и p_{45} и использовали формулы Пиккеринга. Инструментальная поляризация (никогда не превышавшая 0.5%) определялась по наблюдениям стандартных звезд с нулевой поляризацией; для нахождения нуля-нуль отсчета углов наблюдались стандартные звезды с большой поляризацией.

Все наблюдения туманности выполнены с диафрагмой 54". При наблюдениях звезд, как правило, использовалась диафрагма диаметром 26", а для звезд, расположенных близко к туманности, диафрагмы 13" и 18". Наблюдения объекта всегда сопровождалось наблюдениями фона неба, поляризация излучения которого была, как правило, значительной в связи с большим зенитным расстоянием области и подсветкой от Араратской долины.

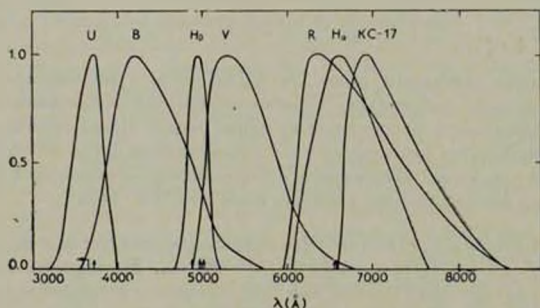


Рис. 1. Кривые реакции аппаратуры для использованных фильтров.

Относительные кривые реакции для набора фильтров, использовавшихся при наблюдениях, приведены на рис. 1. Там же указано положение попадающих в полосы пропускания основных эмиссионных линий и балмеровского континуума. Полосы B, V и R — стандартные полосы системы Джонсона, полоса U — несколько уже стандартной, но имеет примерно то же значение $\lambda_{\text{среза}}$. Она пропускает излучение балмеровского континуума и линии $\lambda 3727$ [OII], которая приходится примерно на середину полосы. Фильтр H_{β} , с которым выполнено всего два наблюдения 1965 г., захватывает

вает область эмиссионных линий H_α , N_1 и N_2 ; фильтр H_α — центрирован на линии H_α и $[N II]$ λ 6548, 6584 Å. Наконец, красный фильтр KC-17 не пропускает излучение этих эмиссионных линий. Таким образом, можно считать, что наблюдения в фильтрах V и KC-17 относятся, в основном, к непрерывному спектру, а наблюдения в фильтрах U, B и R — к эмиссионным линиям (и бальмеровскому континууму).

Результаты наблюдений приведены в табл. 2 (наблюдения туманности и звезд, выполненные с фильтрами) и табл. 3 (наблюдения звезд, выполненные без фильтра). Первый столбец табл. 2 дает либо обозначение и положение области в туманности, либо номер звезды, совпадающий с ее номером в табл. 3; второй — дату наблюдения; третий — использованный фильтр; четвертый и пятый — параметры поляризации и их среднеквадратичные ошибки; шестой — отношение потока от туманности к потоку от фона неба; седьмой — примечания. Отметим, что в тех случаях, когда имеется несколько наблюдений области с одним и тем же фильтром, отдельные наблюдения, полученные даже в разные сезоны, достаточно хорошо согласуются друг с другом.

В табл. 3 первый столбец дает номер звезды в порядке увеличения прямого восхождения (для отождествления см. рис. 4), значок (*) указывает на наличие примечания в конце таблицы; второй — номер звезды по каталогу BD; третий и четвертый — найденные нами параметры поляризации (для нескольких звезд приведены данные, взятые из литературы). Ошибки в определении степени поляризации составляют, как правило, 0,2% и достигают 0,5% лишь для самых слабых звезд, ошибки в определении угла составляют несколько градусов.

Нами выполнены также фотометрические U, B, V наблюдения для десяти звезд области. Использовалась та же аппаратура, что и при наблюдениях поляризации. Найденные нами величины V и показатели цвета $B-V$ для этих звезд приведены в шестом и седьмом столбцах табл. 3. Они набраны курсивом.

3. *Обсуждение результатов наблюдений.* а). Непосредственное рассмотрение табл. 2 позволяет сразу же сделать несколько заключений. Во-первых, наши наблюдения подтверждают высокую регулярность в направлении поляризации в туманности. Среднее по всем наблюдениям значение позиционного угла плоскости преимущественных колебаний составляет 178° со среднеквадратичным отклонением всего $\pm 2^\circ$. Результаты поляризационных наблюдений в одном из фильтров (V) представлены графически обычным способом на рис. 2 (сплошные линии). На нем нанесены контуры наиболее яркой в оптике части туманности, а также звезды в области темного залива. Кружки дают размеры и расположение измеренных площадок туманности. Регулярность направления поляризации хорошо заметна. Видно также, что степень поляризации в среднем выше в западной

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТУМАННОСТИ И
ВЫПОЛНЕННЫХ С ФИЛЬТРАМИ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗД

Область туманности или номер звезды	Дата наблюдения	Фильтр	$p \pm \sigma_p, ^\circ$	$h \pm \sigma_h, ^\circ$	$\frac{p_{\text{об}}}{p_{\text{фил}}}$	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
А $\alpha = 18^{\text{h}} 17^{\text{m}} 76$ $\delta = -16^{\circ} 10' 4$	1/ 2.9.1972	U	3.2 ± 1.2	11 ± 10	0.4	Неуверен. учет инст. поляризации
	20.21.9.1965	H ₃	2.7 ± 0.8	34 ± 8	2.8	
	30.6.1.7.1965	V	6.8 ± 0.7	172 ± 3	1.3	
	20.21.9.1968	V	6.0 ± 0.9	172 ± 4	0.6	
	26.27.7.1968	H ₃	4.3 ± 0.5	178 ± 3	12.2	
	20.21.9.1968	H ₃	3.6 ± 0.3	3 ± 2	6.9	
В $\alpha = 18^{\text{h}} 17^{\text{m}} 74$ $\delta = -16^{\circ} 13' 9$	8.9.8.1972	КС-17	5.9 ± 0.5	179 ± 2	1.6	Неуверен. учет инст. поляризации
	6.7.8.1972	U	3.1 ± 1.5	169 ± 14	0.8	
	23.24.9.1965	H ₃	4.0 ± 0.8	8 ± 6	2.6	
	30.6.1.7.1965	V	6.6 ± 0.4	10 ± 2	1.3	
	1.2.7.1965	V	8.0 ± 0.6	177 ± 2	1.3	
	31.7/1.8.1968	V	6.8 ± 0.7	14 ± 3	0.6	
	22.23.7.1968	H ₃	4.7 ± 0.5	0 ± 3	13.5	
	28/29.9.1968	H ₃	4.0 ± 0.7	178 ± 5	3.0	
С $\alpha = 18^{\text{h}} 17^{\text{m}} 94$ $\delta = -16^{\circ} 12' 0$	7.8.8.1972	КС-17	5.5 ± 0.6	3 ± 3	1.5	Лунна
	2.3.9.1972	U	3.8 ± 0.9	174 ± 7	1.8	
	29.30.6.1965	V	3.2 ± 0.3	162 ± 3	7.5	
	26/27.9.1968	V	6.0 ± 0.7	176 ± 3	0.9	
	21/22.7.1968	H ₃	3.1 ± 0.3	164 ± 3	21.5	
	30.9.1.10.1968	H ₃	2.5 ± 0.2	159 ± 2	4.0	
D $\alpha = 18^{\text{h}} 18^{\text{m}} 03$ $\delta = -16^{\circ} 12' 7$	9/10.8.1972	КС-17	4.8 ± 0.2	173 ± 1	2.1	Лунна
	14/15.8.1972	U	3.7 ± 0.4	165 ± 3	2.2	
	29/30.6.1965	V	3.0 ± 0.4	5 ± 4	3.3	
	28.29.7.1965	V	3.0 ± 0.6	4 ± 6	3.3	
	21.22.9.1968	V	4.4 ± 0.5	173 ± 3	1.0	
	27.28.7.1968	H ₃	2.6 ± 0.3	164 ± 3	10.0	
	21.22.9.1968	H ₃	4.2 ± 0.5	169 ± 3	7.4	
	30.9.1.10.1968	H ₃	2.8 ± 0.7	175 ± 7	1.9	
E $\alpha = 18^{\text{h}} 18^{\text{m}} 10$ $\delta = -16^{\circ} 13' 6$	8/9.8.1972	КС-17	3.9 ± 0.7	176 ± 5	1.4	Лунна
	3.4.8.1972	U	3.8 ± 1.1	179 ± 8	2.2	
	7.8.8.1972	V	8.4 ± 0.6	167 ± 2	0.5	
	17/18.8.1976	R	3.8 ± 0.6	179 ± 5	1.5	
	3.4.8.1972	КС-17	7.4 ± 0.5	169 ± 2	1.4	

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
F	20/21.8.1976	U	2.3 ± 1.8	15 ± 22	0.7	
$\tau = 18^h 18^m 20$	29/30.6.1965	V	4.0 ± 0.8	18 ± 6	1.1	
$\delta = -16^\circ 13' 9$	24/25.7.1965	V	3.8 ± 0.5	171 ± 4	1.3	
	21/22.7.1968	H ₁	2.5 ± 0.7	5 ± 9	5.5	
	6/7.9.1972	KC-17	2.9 ± 1.3	165 ± 12	0.5	
Звезда № 9	21/22.8.1976	U	5.2 ± 0.4	178 ± 2		
	3/4.9.1976	B	5.8 ± 0.3	172 ± 2		
	15/16.9.1968	V	5.8 ± 0.3	171 ± 1		
	15/16.9.1968	H ₁	5.2 ± 0.6	171 ± 3		
	14/15.8.1972	KC-17	5.1 ± 0.3	11 ± 2		
Звезда № 22	14/15.9.1968	V	1.5 ± 0.2	20 ± 4		
	14/15.9.1968	H ₁	1.8 ± 0.2	16 ± 3		
Звезда № 23	4/5.8.1972	U	3.8 ± 0.6	15 ± 5		
	5/6.8.1972	B	4.6 ± 0.2	14 ± 1		
	13/14.9.1968	V	4.5 ± 0.2	11 ± 2		
	13/14.9.1968	H ₁	4.0 ± 0.2	15 ± 2		
	5/6.8.1972	KC-17	4.0 ± 0.1	11 ± 1		

части туманности, хотя нами найдена одна область на северо-востоке (E) с высокой поляризацией. Она расположена на самой границе туманности в районе ионизационного фронта [19].

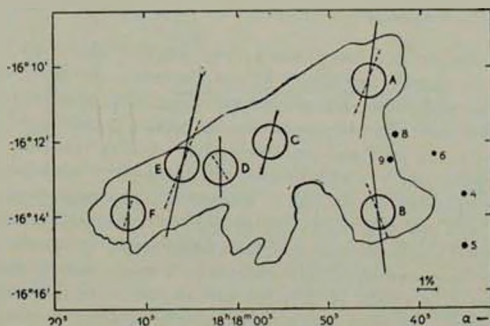


Рис. 2. Наблюдаемая (сплошные линии) и собственная (пунктирные) поляризация излучения туманности в полосе V.

Наконец, из рассмотрения табл. 2 видно, что степень поляризации заметно больше при наблюдениях с фильтрами, не пропускающими излучение эмиссионных линий. Рис. 3, на котором представлена нормированная зависимость степени поляризации от длины волны, иллюстрирует это обстоятельство. Правда, данные в фильтре H_α несколько неуверенные, а ошибки наблюдений с фильтром U относительно велики. Но наблюдения с фильтром H_α , обладающие достаточно высокой точностью, всегда дают степень поляризации, существенно меньшую, чем наблюдения с фильтрами

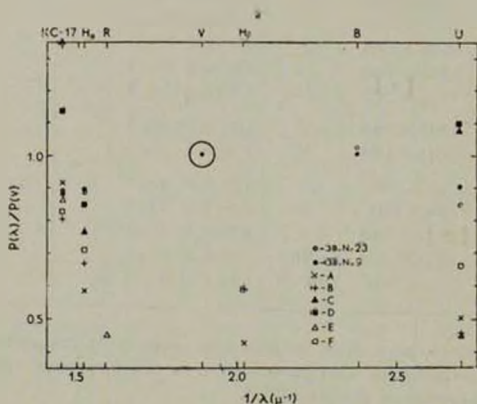


Рис. 3. Нормированные зависимости степени поляризации от длины волны.

V и $KC-17$. Это не есть инструментальный эффект, поскольку инструментальная поляризация с фильтром H_α определялась не менее тщательно, чем с другими фильтрами. Кроме того мы специально выполнили наблюдения звезд № 9 и № 23 с этим фильтром, причем несколько раз в одну и ту же ночь эти звезды (так же, как и некоторые области туманности) наблюдались и с фильтром V и с фильтром H_α . Зависимость $p(\lambda)/p(V)$ для звезд также представлена на рис. 3. Видно, что она совершенно не похожа на таковую для туманности, но вполне хорошо согласуется со средней зависимостью $p(\lambda)$ для межзвездной поляризации, так что в области туманности нет никаких аномалий в зависимости межзвездной поляризации от длины волны. Для звезды № 23 наши результаты определения $p(\lambda)$ хорошо согласуются с данными работы [20], в которой обычная для межзвездной зависимости $p(\lambda)$ получена и для звезды № 22.

Таким образом, измеренная нами поляризация излучения туманности Омега не может быть чисто межзвездной. С другой стороны, существова-

ние межзвездной поляризации в направлении туманности не вызывает сомнения и ее влияние надо учесть. Обычно исключение межзвездной поляризации делается с использованием сведений об окрестных звездах, к изучению которых мы и перейдем.

6). Данные о поляризации света звезд в окрестностях туманности Омега, собранные в табл. 3, представлены графически на рис. 4. Рассмотрение этого рисунка вселяет серьезные сомнения в возможность определения параметров межзвездной поляризации для туманности по окрестным звездам. Действительно, в области диаметром всего в полградуса встречаются звезды с большой степенью поляризации и прямо противоположными направлениями. Ясно, что необходимо тщательное изучение пространственного расположения звезд и их связи с туманностью.

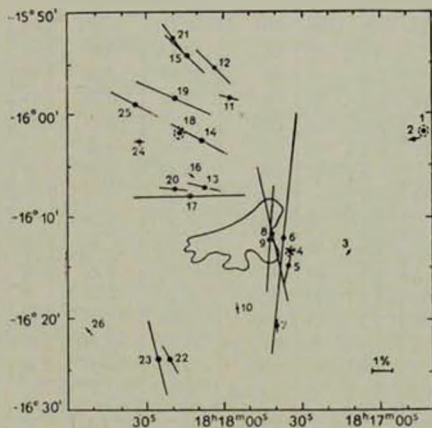


Рис. 4 Поляризация звезд в районе туманности NGC 6618.

Необходимые сведения о звездах собраны в пятом-седьмом столбцах табл. 3. Спектральные классы взяты, главным образом, из работ [16, 18] (в случае противоречия предпочтение отдавалось более поздней работе [16]). Для пяти звезд, являющихся, согласно [21] OB звездами, спектральные классы определены Q-методом по результатам U, B, V наблюдений, полученным в АО ЛГУ. Эти данные заключены в квадратные скобки. Определенные тем же способом спектральные классы других звезд, для которых у нас выполнена U, B, V фотометрия, оказались в хорошем согласии с приведенными в табл. 3.

Таблица 3

ДАННЫЕ О ЗВЕЗДАХ В ОКРЕСТНОСТЯХ NGC 6618

Номер звезды	BD	$p, \%$	θ_0	Sp	V	B-V	A_V	r, pc	$p A_V$
1*	-16 4811	<0.2	—	F5	9.34	0.55	0.49	110	<0.008
2*	-16 4812	0.8	101	B5V	9.38	0.24	1.47	600	0.012
3		0.3	145	B5	(11.56)	(0.49)	2.34	1100	0.003
4*	-16 4816	<0.1	—	K2	9.72	1.62	—	—	—
5		1.8	168	O8	(11.36)	(1.21)	5.46	1500	0.007
6		12.1	174	O5	(13.57)	(2.55)	10.12	1100	0.026
7*	-16 4817	0.6	4	B9V	10.69	0.13	0.70	790	0.019
8		7.2	13	O5	11.29	1.11	5.08	2300	0.031
9*	-16 4818	5.4	176	B1Vp	9.92	0.72	3.64	930	0.033
10*	-16 4821	0.4	6	K0	(9.73)	(1.26)	—	—	—
11	-16 4823	0.9	74	G0V	(10.21)	(0.82)	0.84	90	0.024
12		2.5	45	B2	10.95	0.45	2.48	1550	0.022
13		1.8	76	B0	10.68	0.56	3.01	2240	0.013
14*	-16 4826	3.3	62	O5	9.89	0.76	3.85	2140	0.019
15		3.0	45	[B2]	11.65	0.56	2.87	1820	0.023
16*	-16 4827	0.2	52	A0	9.91	0.22	0.84	420	0.005
17		5.6	91	[B1]	10.88	0.65	3.25	1700	0.038
18	-16 4828	<0.2	—	B8V	9.28	0.19	1.08	440	0.004
19*		4.1	66	[B2]	11.81	0.88	3.99	1150	0.023
20		1.4	85	F0	(11.50)	(0.69)	1.40	300	0.022
21		1.9	34	[B0]	11.97	0.62	3.22	3900	0.013
22*	-16 4829	2.2	17	B9Ia	8.29	1.60	5.70	890	0.008
23*	-16 4830	4.3	13	B8Ia	8.46	1.39	5.00	1350	0.019
24*	-16 4832	0.6	93	B5	(9.82)	(0.36)	1.89	600	0.007
25	-16 4834	2.8	62	[B1]	9.77	0.57	2.98	1150	0.031
26*	-16 4836	0.4	51	gK0+A	7.9	—	—	—	—

Примечания к таблице 3

1 — поляризационные данные из [7]; 2 — $p = 0.9\%$, $\theta_0 = 80^\circ$ [7]; $p = 0.9\%$, $\theta_0 = 76^\circ$ [14]; 4 — $p < 0.2\%$ [7]; 7 — $p < 0.2\%$ [7]; 9 — $V = 10^m 10$, $B - V = +0^m 80$ [16]; 10 — поляризационные данные из [7]; 14 — фотометрические данные из [17]; 16 — $V = 10^m 00$, $B - V = +0^m 23$ [16]; 18 — поляризационные данные из [7]; 19 — $p = 4.9\% \pm 0.7\%$, $\theta_0 = 62^\circ \pm 4^\circ$ (наши наблюдения с фильтром V); 22 — поляризационные данные — среднее из работ [7, 14, 15], фотометрические — из [14]; 23 — $p = 4.5\%$, $\theta_0 = 11^\circ$ (среднее из работ [7, 14, 15]), $V = 8^m 41$, $B - V = +1^m 46$ [14]; 24 — фотометрические данные из [18]; 26 — звездная величина по HD.

Основная часть данных шестого и седьмого столбцов табл. 3 (помимо наших определений, выделенных курсивом) взята из работы [16]. Если использовался другой источник, это оговорено в примечаниях. Фотографические данные заключены в круглые скобки.

В восьмом столбце приводится найденное нами полное визуальное поглощение. При этом для получения цветовых избытков мы пользовались общепринятой шкалой нормальных цветов, а для перехода к полному поглощению приняли $R = 3.5$. Хотя в среднем для межзвездной среды $R = 3.3$ [22], в районах молодых скоплений и диффузных туманностей возможны отклонения в сторону больших значений R . Мы не нашли кривой межзвездного покраснения для области NGC 6618 и поэтому воспользовались данными Джонсона [23], у которого имеются соответствующие кривые для NGC 6611 и NGC 6530, расположенных недалеко от туманности Омега. Средняя для этих скоплений кривая дает $R = 3.5$. Близкое к этому значение получено и для областей в Скорпионе и Змееносце [23]. Надо заметить, что в литературе имеются сведения об определении R в области NGC 6618. В работах [24, 25] найдено, что $R \approx 4.3$. С другой стороны, если использовать найденную в [26] связь между R и длиной волны, на которой межзвездная поляризация максимальна, и взять данные о $p(\lambda)$ для звезд №№ 9, 22 и 23, то получается $R \approx 2.7$. В среднем опять получаем $R \approx 3.5$, так что это значение нам кажется наиболее обоснованным.

Затем были определены расстояния до звезд (девятый столбец табл. 3). В тех случаях, когда класс светимости неизвестен, считалось, что звезда принадлежит главной последовательности. Относительно звезды № 6 имеются указания, что она не одиночная, поэтому мы уменьшили для нее M_V на 0^m75 , считая, что она двойная [5]. Для трех звезд, для которых имеются дополнительные фотоэлектрические определения блеска и цветов (они приведены в примечаниях), брались средние значения.

Наконец, в последнем столбце табл. 3 приведено отношение степени поляризации (в звездных величинах) к поглощению, которое характеризует поляризующую способность межзвездной среды. Поляризующая способность, как видно, гораздо меньше максимально возможной.

Рис. 5 дает зависимость поглощения от расстояния. Для звезд, находящихся в картинной плоскости рядом, использованы одни и те же значки (звезды, расположенные поодиночке, обозначены квадратиками). Видно, что до расстояния 0.9 клс поглощение нарастает линейно, достигая здесь значения $A_V \approx 2^m0$. Затем в области 0.9 — 1.5 клс поглощение резко возрастает, особенно для звезд, расположенных непосредственно около туманности. Плотность ранних звезд здесь явно повышена. По-видимому, это и есть газово-пылевой комплекс, в который входит туманность Омега. Расстояние до него можно принять равным 1.2 клс. Учитывая неточность в определении расстояний и поглощения, можно считать, что звезды, для ко-

торых найденное нами расстояние заключено в пределах 0.9—1.6 клс, являются возможными кандидатами в возбуждающие звезды. Это звезды № 3, 5, 6, 9, 12, 19, 22, 23, 25. Далее, спектр возбуждающей звезды должен быть во всяком случае не позднее, чем В1. Тогда остаются только пять звезд № 5, 6, 9, 19, 25 (мы не исключили звезду № 19, так как спектральный класс В2 определен для нее Q-методом, где вполне возможна ошибка на 1—2 подкласса). Из этих звезд только звезды № 5 и № 6 имеют

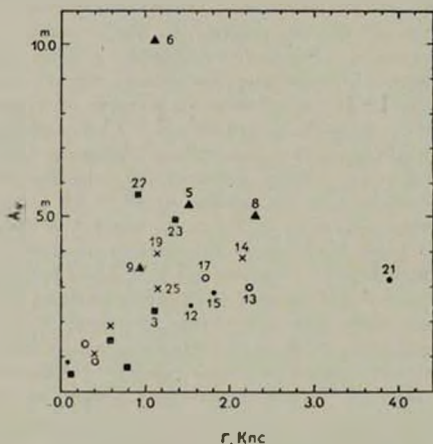


Рис. 5 Зависимость поглощения от расстояния для звезд в районе NGC 6618.

спектральный класс более ранний, чем В0. Три остальные могут служить источником возбуждения лишь для газа, находящегося в их ближайших окрестностях. Ясно, что звезды № 5 и № 6 не могут обеспечить свечение всей туманности NGC 6618 и необходимо вести поиск возбуждающих звезд среди слабых звезд не только в западной, но и в восточной части туманности.

Звезды № 5 и 6 фигурируют в числе возбуждающих и в работе [16], авторы которой находят в области туманности Омега еще несколько ранних звезд, которые, по их мнению, могут быть возбуждающими. К ним авторы [16] относят и звезды № 8 и № 14, не замечая, что они расположены почти вдвое дальше, чем туманность, расстояние до которой они принимают равным 1.3 клс.

Особого упоминания заслуживает звезда № 4, рассматривавшаяся ранее как возможная возбуждающая звезда в связи с ошибочным опреде-

лением ее спектрального класса. В работах [5, 16] показано, что ее спектральный класс K2. Она, естественно, не является возбуждающей и может иметь отношение к туманности, только если это яркий гигант. Но отсутствие у нее поляризации излучения, установленное первоначально в [7] и подтвержденное нами, а также малое покраснение [16] указывают на то, что эта звезда, скорее всего, принадлежит переднему фону.

Относительно звезд № 5 и 6 отметим еще, что их поляризационные характеристики совершенно различны. Излучение первой поляризовано весьма незначительно и отношение p/A_V для нее всего 0.009, тогда как у звезды № 6 поляризация очень высока и отношение p/A_V заметно больше (0.026). Звезда № 6, по всей вероятности, находится внутри облака (поглощение для нее $\approx 10^0$), а звезда № 5 существенно ближе к его краю ($A_V \approx 5^m$). Следовательно, поляризующая способность пыли в облаке весьма высока. Это подтверждается и высокой степенью поляризации у звезд № 9, свет которой, по-видимому, проходит через переднюю часть облака, и № 8, расположенной за облаком.

в). Поскольку и позиционные углы преимущественных колебаний и отношения p/A_V для звезд № 6, 8, 9, расположенных на разных расстояниях в направлении темного залива, близки, можно думать, что средние для них значения $p/A_V = 0.030$, $\bar{U}_0 = 1^\circ$ характеризуют межзвездную поляризацию для областей туманности, непосредственно примыкающих к темному заливу (области А и В). В этом случае знание величины A_V для туманности позволило бы получить оценку межзвездной поляризации для этих областей.

Один из распространенных способов определения поглощения для туманности — сравнение мер эмиссии, найденных по радиоданным и по наблюдениям в эмиссионных линиях водорода (этим способом в работе [2] и было найдено для района темного залива значение поглощения $A_V \approx 7^m$, о котором говорилось во введении). Легко понять, однако, что в случае, если в туманности пыль и газ перемешаны (а именно так обстоит дело, как уже отмечалось ранее, с NGC 6618), такое определение A_V нам не подходит. Действительно, из-за поглощения внутри туманности оптические наблюдения относятся эффе́ктивно к менее глубоким областям туманности, тогда как найденное вышеуказанным способом поглощение — ко всему столбу туманности. Следовательно, получается сильно завышенное значение A_V .

Поэтому для оценки A_V мы воспользовались построенным нами рис. 5, согласно которому при принятом расстоянии до туманности (1.2 клс) поглощение составляет $A_V \approx 3^m$. Тогда для областей А и В туманности параметры межзвездной поляризации будут $p_e \approx 4.0\%$, $\bar{U}_{0e} = 1^\circ$. Обращает на себя внимание хорошее согласие этой оценки с па-

параметрами поляризации, найденными для областей А и В при наблюдениях с фильтрами, где основной вклад дают эмиссионные линии и бальмеровский континуум*. Это позволяет предположить, что в областях А и В излучение в эмиссионных линиях не обладает собственной поляризацией и использовать эти наблюдения для определения собственной поляризации в непрерывном спектре. Средние значения параметров поляризации в фильтрах U и H, (с учетом весов) составляют $p = 3.6\%$, $\theta_0 = 5^\circ$ для области А и $p = 4.0\%$, $\theta_0 = 175^\circ$ для области В. Тогда для собственной поляризации в цвете V получим, соответственно, $p = 3.6\%$, $\theta_0 = 159^\circ$ и $p = 3.5\%$, $\theta_0 = 21^\circ$. Эти данные нанесены пунктиром на рис. 2. Видно, что направления поляризации развернулись таким образом, что она оказалась радиальной относительно темного залива.

Как уже указывалось во введении, из сопоставления ИК и радио излучения следует, что в западной части туманности, где расположены области А и В, газ определенно перемешан с пылью. Одним из доказательств этого является также несоответствие между найденным нами из рис. 5 поглощением $A_V = 3^{m0}$ и поглощением, определенным из сравнения мер эмиссии. По данным работы [2] нами получено этим способом $A_V = 5^{m1}$ и $A_V = 4^{m9}$ для областей А и В, соответственно. Таким образом, появление поляризованного излучения здесь вполне может объясняться рассеянием на пыли излучения звезд и направление поляризации указывает, что освещающий источник находится в области темного залива. Напомним, что здесь расположена одна из возможных возбуждающих звезд (№ 6). Кроме того в недавней публикации [27] было указано, что чуть севернее звезды № 4 имеется богатое скопление звезд с очень большим покраснением, содержащее звезды ранних спектральных классов (некоторые из них, вероятно, являются возбуждающими).

Гораздо хуже обстоит дело с учетом межзвездной поляризации для центральных и восточных областей туманности. Из рис. 4 видно, что они расположены примерно на одном и том же угловом расстоянии от групп звезд № 13, 16, 17, 20 и № 5, 6, 8, 9, имеющих прямо противоположные направления поляризации, так что никакой независимой оценки межзвездной поляризации, как это было сделано для областей А и В, получить не удастся. Если считать, что и здесь наблюдения в фильтрах U и H, дают межзвездную поляризацию, то после ее исключения получаем параметры

* Оценку вклада континуума и эмиссионных линий для фильтра H_α можно получить из сопоставления приведенных в табл. 2 отношений потока от объекта к потоку от фона неба для фильтров V, H, и KC-17. Видно, что это отношение для фильтра H, на порядок больше, чем для фильтров V и KC-17 и, следовательно, вклад эмиссионных линий в фильтре H, раз в 10 превышает вклад от континуума; при тех приближенных оценках, которые мы делаем, последним можно пренебречь.

собственной поляризации в непрерывном спектре, нанесенные пунктиром на рис. 2. (Для области Е вместо наблюдений в фильтре Н. использовались наблюдения в фильтре R. Из рис. 1 видно, что ошибка из-за такой замены будет невелика.)

Собственная поляризация в областях С и D очень мала. Возможно, что это объясняется малым количеством пыли в этой наиболее яркой в оптике части туманности. Действительно, несоответствие между принятым нами значением поглощения ($A_V = 3^m0$) и определением его по отношению мер эмиссии ($A_V = 3^m1$ для области D и $A_V = 4^m0$ для области С) здесь гораздо меньше, чем для областей А и В. Некоторые затруднения вызывает объяснение высокой степени собственной поляризации для области Е, для которой также получается $A_V = 3^m1$. Приходится предположить, что здесь поляризация связана с рассеянием света в пылевом облаке, расположенном на луче зрения за областью свечения газа. Существование разреженной пылевой оболочки вокруг всего комплекса следует из наблюдений на 100 мкм [3]. Размеры 100-микронного источника превышают размеры области, дающей оптическое и радиоизлучение. Существование локального повышения плотности пыли в этой оболочке в районе области Е, где, кстати сказать, проходит ионизационный фронт [19], может объяснить повышение здесь степени поляризации.

Не исключена возможность, однако, что излучение в линиях обладает собственной поляризацией, например, если его часть представляет собой рассеянное на пыли излучение ярких областей туманности (такой эффект обнаружен в некоторых областях туманности Ориона [28]). Ясно, что тогда исключение межзвездной поляризации для центральных и восточных областей сделано неверно. Для выяснения вопроса необходимы дальнейшие поляризационные и фотометрические наблюдения звезд в этих областях туманности.

4. *Заключение.* Основные результаты работы можно резюмировать следующим образом:

а). Найденная нами для туманности NGC 6618 зависимость степени поляризации от длины волны совершенно не похожа на соответствующую зависимость для расположенных вблизи туманности звезд (рис. 3). Поскольку эта последняя прекрасно согласуется со средней зависимостью $p(\lambda)$ для межзвездной поляризации, отсюда следует, что в излучении туманности присутствует собственная поляризация.

б). Исключение межзвездной поляризации, которая определенно существует, очень сложно из-за крайней нерегулярности направлений поляризации для окрестных звезд. Изучение пространственного расположения и поляризационных характеристик этих звезд позволяет получить более или

менее уверенную оценку межзвездной поляризации лишь для самых западных участков туманности (области А и В); параметры межзвездной поляризации совпадают здесь с теми, которые наблюдаются с фильтрами, где основной вклад дает излучение эмиссионных линий.

в). Из всех изученных нами звезд, лишь звезды № 5 и № 6, расположенные в районе темного залива, возможно, являются звездами, возбуждающими свечение туманности.

г). Собственная поляризация в непрерывном спектре для областей А и В является радиальной по отношению к темному заливу. Поскольку в этих областях газ перемешан с пылью, поляризация, вероятно, возникает при рассеянии на пыли излучения звезд, расположенных в области темного залива (звезда № 6 и скопление, найденное в [27]).

д). Исключение межзвездной поляризации для центральных и восточных областей проводится неуверенно: найденные параметры собственной поляризации указывают на отсутствие пыли в областях С и D, расположенных вблизи максимума яркости в оптике.

е). В общем полученные нами результаты не противоречат следующей грубой модели всего комплекса. Комплекс ограничен холодной пылевой оболочкой. Внутри нее находится плотное газово-пылевое образование, содержащее горячие звезды. Поглощение здесь настолько велико, что оптическое излучение почти не доходит до наблюдателя. С удалением от его центра концентрация пыли уменьшается и оптическое излучение становится наблюдаемым. Имеются области, где пыли настолько мало, что влияние ее практически незаметно. Построение более детальной модели выходит за рамки этой статьи.

Авторы благодарны Т. А. Поляковой за помощь при проведении наблюдений звезд.

Ленинградский государственный
университет

POLARIMETRIC STUDY OF THE NEBULA NGC 6618 AND
NEIGHBOURING STARS

V. A. HAGEN-THORN, N. V. VOSHCHINNIKOV

The results of the polarimetric observations are given for six areas of the nebula and for twenty six neighbouring stars. The nebula was observed with five filters, three of which were centered on emission details and two on the continuum regions. Most of the stars were observed with no filter but for two of them the wavelength dependence of polarization was found. It proves to be the same as for interstellar polarization. But for all areas of the nebula the degree of polarization in continuum is found to be higher than that in the emission lines. Thus the existence of intrinsic polarization in the nebula is evident. The determination of the parameters of interstellar polarization by the observations of neighbouring stars may be done with some confidence only for western areas of the nebula. These parameters are found to be equal to those observed in emission lines. The intrinsic polarization in continuum is shown to arise from scattering of the radiation of stars settled in the dark lane on the dust located in the nebula.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Goudis, *Ap. Space Sci.*, 37, 455, 1975.
2. H. R. Dickel, *Ap. J.*, 152, 651, 1968.
3. D. A. Harper, F. J. Low, G. H. Rieke, J. A. Thronson, *Ap. J.*, 205, 136, 1976.
4. Ю. И. Глушков, Кандидатская диссертация, АГУ, 1973.
5. D. E. Kleinmann, *Ap. Lett.*, 13, 49, 1973.
6. Р. Е. Гершберг, В. Ф. Есипов, В. И. Проник, П. В. Щеголов, *Изв. Крымской обл.*, 26, 313, 1961.
7. В. А. Домбровский, *Астрон. ж.*, 35, 687, 1958.
8. Д. А. Рожковский, Ю. И. Глушков, К. Г. Джакушева, *Изв. Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 14, 19, 1962.
9. K. S. Krishna Swamy, C. R. O'Dell, *Ap. J.*, 147, 529, 1967.
10. Д. А. Рожковский, К. Г. Джакушева, *Изв. Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 14, 14, 1962.
11. Э. Е. Хачикян, *Собщ. Бюраканской обл.*, 35, 25, 1964.
12. Н. М. Шаховской, П. В. Щеголов, *Астрон. цирку.*, № 442, 1, 1967.
13. В. А. Домбровский, В. А. Гаген-Торн, С. М. Гуткевич, Т. А. Полякова, М. А. Свечников, О. С. Шулов, *Труды АО АГУ*, 22, 83, 1965.
14. W. A. Hiltner, *Ap. J. Suppl. ser.*, 2, 389, 1956.
15. J. S. Hall, *Publ. US Naval Obs.*, 17, part 6, 1958.
16. K. Ogura, K. Ishida, *P. A. S. Japan*, 28, 35, 1976.
17. W. A. Hiltner, H. L. Johnson, *Ap. J.*, 124, 367, 1956.

18. И. И. Проник, Изв. Крымской обс., 20, 208, 1958; 21, 268, 1959.
19. K. H. Elliot, J. Meaburn, Ap. Space Sci., 35, 81, 1975.
20. G. V. Coyne, A. J., 79, 565, 1974.
21. C. B. Stephenson, R. W. Hobbs, A. J., 66, 186, 1961.
22. P. A. Aannestad, E. M. Purcell, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 11, 309, 1973.
23. H. L. Johnson, Nebulae and Interstellar Matter, ed. B. M. Middlehurst and L. H. Aller, Chicago, 1968, p. 167.
24. W. L. Gebel, Ap. J., 153, 743, 1968.
25. W. A. Sherwood, Ap. Space Sci., 34, 3, 1975.
26. K. Serkowski, D. S. Mathewson, V. L. Ford, Ap. J. 196, 261, 1975.
27. M. Beetz, H. Elsässer, C. Poulakos, R. Weinberger, Astron. Astrophys., 50, 41, 1976.
28. R. C. Hall, Planets, Stars and Nebulae studied with Photopolarimetry, ed. T. Gehrels, Arizona, Tucson, 1974, p. 881.