

УДК 524.54—655

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТУМАННОСТИ
М 20 С ФИЛЬТРАМИ

Н. В. ВОЩИННИКОВ

Поступила 26 октября 1981

Принята к печати 6 ноября 1982

Приводятся результаты поляризационных наблюдений с шестью фильтрами пяти областей туманности и звезды HD 164514, расположенной за туманностью. Для трех областей, расположенных в южной части туманности, степень поляризации в непрерывном спектре выше, чем в эмиссионных линиях. Эта поляризация возникает в результате рассеяния излучения возбуждающей звезды HD 164492 пылевыми частицами (скорее всего состоящими из загрязненного льда), расположенными в М 20. В северной части туманности несферические пылинки, вероятно, ориентированы так, что их большие оси располагаются в плоскости, примерно перпендикулярной направлению на звезду HD 164492.

1. Введение. В настоящее время присутствие пылевых частиц в ряде диффузных туманностей можно считать надежно установленным. Указаниями на это служат усиление непрерывного спектра туманностей, более крутой, чем следует из теории, бальмеровский декремент, тепловая эмиссия пылинок в инфракрасной (ИК) области спектра, а также связь туманностей с обширными молекулярно-пылевыми комплексами. Установлено, что пылевые частицы могут находиться как внутри, так и вне областей H II, отношение пыли и газа в туманностях может значительно изменяться от места к месту, и в некоторых случаях, без сомнения, газ и пыль перемешаны.

Еще одним наблюдательным проявлением присутствия пыли в диффузных туманностях является наличие поляризации видимого излучения туманностей. Как известно [1], излучение некоторых диффузных туманностей в видимой части спектра поляризовано (иногда весьма значительно). И если первые поляризационные наблюдения диффузных туманностей использовались для выяснения природы и выявления источников свечения туманностей, то сейчас изучение поляризации способствует определению оптических характеристик и распределения пылевых частиц.

Туманность М 20 (NGC 6514), одна из ярчайших диффузных туманностей, состоит из двух частей: южной, которая носит название Трифид, и

северной, заметной лишь на снимках, полученных в синих лучах. Большая часть излучения южной части туманности сосредоточена в ярких эмиссионных линиях, а ее свечение, без сомнения, вызвано находящейся в центре звездой HD 164492 спектрального класса O7V. В центре северной части туманности M 20 расположена звезда HD 164514 (A5 Ia). С юго-запада к туманности Трифид примыкает плотное молекулярное облако. Эта туманность является источником теплового радиоизлучения [2] и слабым протяженным ИК источником [3]. Детальное совпадение изофот ИК и радиокарт указывает на то, что пыль (ответственная за ИК излучение) и газ (ответственный за радиоизлучение) перемешаны. Исследования, выполненные О'Деллом и др. [4], показывают, что непрерывный спектр туманности довольно силен, а найденное по нему отношение пыли к газу примерно в 5 раз больше среднего значения для межзвездной среды.

Поляризация излучения туманности M 20 изучалась В. А. Домбровским [5] и Д. А. Рожковским [6]. Согласно фотоэлектрическим наблюдениям В. А. Домбровского, проведенным без фильтра (λ , 3000—6000 Å) с диафрагмами диаметром 2' и 5', поляризация излучения мала (степень поляризации $p < 1\%$) и как будто бы радиальна (плоскость наблюдаемой поляризации перпендикулярна радиусу-вектору, соединяющему звезду и исследуемую область туманности) относительно HD 164492 в южной части туманности и относительно HD 164514 в северной. Д. А. Рожковский из фотографических наблюдений (λ , 4000—6300 Å) нашел, что степень поляризации достигает нескольких процентов и радиальна относительно HD 164492 в южной части туманности и носит межзвездный характер в северной части. Долгое время считалось, что источником свечения северной части туманности M 20 является звезда HD 164514. Однако нами было показано [7], что и в этой части туманности поляризация радиальна относительно звезды HD 164492, так что эта звезда является также и источником свечения северной части M 20. Поляризационные наблюдения, приведенные в работе [7], были получены без фильтра (λ , 3000—8500 Å, $\lambda_{\text{эф.}} = 0.51$ мкм). В данной работе обсуждаются результаты многоцветного поляризационного исследования туманности M 20.

2. *Наблюдения и результаты.* Все наблюдения были проведены на телескопе АЗТ-14 (диаметр зеркала 48 см) Бюраканской станции АО ЛГУ. Аппаратура и методика наблюдений, а также их обработка описаны в работе [8]. Наблюдения туманности выполнены с диафрагмой диаметром 54", а при наблюдениях звезды HD 164514 использована диафрагма диаметром 26". Были выбраны области туманности, по возможности, свободные от звезд. Наведение на эти области производилось от звезд HD 164492 и HD 164514 по отсчетам окулярного микрометра гйда. При

наблюдениях туманности особое внимание обращалось на тщательность гидрирования.

Наблюдения проводились с шестью фильтрами U , B' , H_3 , R , H_4 (интерференционным) и $KC-17$. Полоса R — стандартная полоса системы Джонсона, полоса U — несколько уже, но имеет примерно то же значение λ_{eff} . Она пропускает излучение бальмеровского континуума и линий λ 3726, 3729 [O II], которые приходятся примерно на середину полосы. Фильтр B' , пропускающий, в основном, непрерывный спектр между линиями H_7 и H_3 был изготовлен специально для наблюдений газовых туманностей. Фильтр H_3 захватывает область эмиссионных линий H_3 , N_1 и N_2 ; фильтр H_4 центрирован на линиях H_4 и λ 6548 и 6584 [N II]. Наконец, красный фильтр $KC-17$ не пропускает излучение этих эмиссионных линий. Таким образом, можно считать, что наблюдения в фильтрах B' и $KC-17$ относятся, в основном, к непрерывному спектру, а наблюдения в фильтрах U , H_3 , R и H_4 — к эмиссионным линиям (и бальмеровскому континууму).

Результаты наблюдений приведены в табл. 1. Первый столбец этой таблицы дает либо номер и положение области в туманности, либо номер звезды; второй — дату наблюдения; третий — использованный фильтр; четвертый и пятый — параметры поляризации и их среднеквадратичные ошибки, найденные из внутренней сходимости отдельных серий наблюдений; шестой — отношение потока от туманности к потоку от фона неба; седьмой — примечания.

3. *Обсуждение.* Результаты поляризационных наблюдений в фильтре B' представлены графически обычным способом на рис. 1. На нем нанесены контуры наиболее яркой в оптике части туманности, а также положения звезд HD 164492 (S) и HD 164514 (N). Кружки дают размеры и расположение измеренных площадок туманности. Для областей 1 и 2 приведены данные по наблюдениям без фильтра [7], а для HD 164492 — степень поляризации $p = 0.23\%$ и позиционный угол $\theta = 147^\circ$ из работы [9].

Как видим, степень поляризации возбуждающей звезды невелика. Примерно такие же параметры поляризации имеют еще 18 звезд, расположенных в области диаметром $2''$ около туманности M 20. Связь туманности со звездой HD 164492 сомнения не вызывает, поэтому поляризационные наблюдения этой звезды можно использовать для учета межзвездной поляризации. Однако внесение столь малой поправки представляется нецелесообразным, поскольку это приведет к изменениям степени поляризации на 0.1 — 0.2% и позиционного угла на 2 — 4° , что сравнимо с ошибками наблюдений (а в некоторых случаях и меньше). Поэтому данные, приведенные в табл. 1, можно рассматривать как собственную поляризацию излучения туманности M 20.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТУМАННОСТИ М 20

Область туманности или номер звезды	Дата наблюдения	Фильтр	$p \pm \sigma_p$ (%)	$\theta \pm \sigma_\theta$ (°)	$\frac{n_{об.}}{n_{фон}}$	Примечания
3	15/16.7.1974	B'	4.2 ± 0.8	70 ± 5	0.7	Луна
$\alpha_{1950} = 17^h 59^m 43$	11/12.7.1974	H β	3.4 ± 1.2	104 ± 10	0.2	
$\delta_{1950} = -22^\circ 54.6$						
4	6/ 7.7.1975	B'	4.3 ± 0.2	37 ± 2	1.5	
$\alpha = 17^h 59^m 47$	6/ 7.7.1975	H β	0.4 ± 0.3	67 ± 22	2.4	
$\delta = -23^\circ 01.6$	14/15.7.1975	R	2.1 ± 0.5	41 ± 7	1.1	
	12/13.7.1975	KC-17	4.9 ± 0.7	14 ± 4	0.3	
5	12/13.7.1974	U	4.0 ± 0.8	153 ± 5	1.2	Плохая прозрачность
$\alpha = 17^h 59^m 50$	14/15.7.1974	B'	6.6 ± 1.2	24 ± 5	1.3	
$\delta = -23^\circ 01.6$	7/ 8.7.1975	H β	1.0 ± 0.2	24 ± 5	1.4	
	4/ 5.8.1975	R	1.8 ± 1.6	64 ± 26	0.8	
	6/ 7.8.1975	R	2.0 ± 0.5	36 ± 7	1.0	
	8/ 9.7.1974	H α	1.8 ± 1.1	23 ± 17	2.7	
	2/ 3.8.1975	KC-17	3.7 ± 0.8	10 ± 6	0.4	
6	11/12.7.1975	H β	1.9 ± 0.4	166 ± 6	0.8	
$\alpha = 17^h 59^m 54$						
$\delta = -23^\circ 01.6$						
7	15/16.7.1974	U	2.2 ± 0.7	34 ± 10	1.9	
$\alpha = 17^h 59^m 33$	16/17.7.1974	B'	4.0 ± 1.6	24 ± 12	0.7	
$\delta = -22^\circ 59.6$	1/ 2.7.1974	H β	1.9 ± 0.6	69 ± 9	0.1	
	31.7/1.8.1974	H α	2.9 ± 1.1	71 ± 11	0.3	
	25/26.7.1974	KC-17	3.7 ± 1.0	67 ± 8	0.4	
HD 164514	20/21.6.1974	U	2.3 ± 0.2	37 ± 3		Плохая прозрачность
	22/23.6.1974	B'	2.8 ± 0.2	38 ± 2		
	23/24.6.1974	H β	3.1 ± 0.2	34 ± 1		
	8/ 9.7.1974	H α	3.3 ± 0.2	39 ± 2		
	18/19.6.1974	KC-17	3.5 ± 0.3	35 ± 3		
	3/ 4.8.1974	KC 17	4.1 ± 0.2	3 ± 2		

Из табл. 1 и рис. 1 видно, что направление поляризации как в южной, так и в северной частях туманности, как правило, близко к радиальному относительно звезды HD 164492. Наибольшие отклонения от радиального направления, зафиксированные для области 7, составляют 17° (в поле B').

Из рассмотрения табл. 1 и рис. 2, на котором представлена нормированная зависимость степени поляризации от длины волны для трех областей туманности, следует также, что степень поляризации заметно больше при наблюдениях с фильтрами, не пропускающими излучение эмиссион-

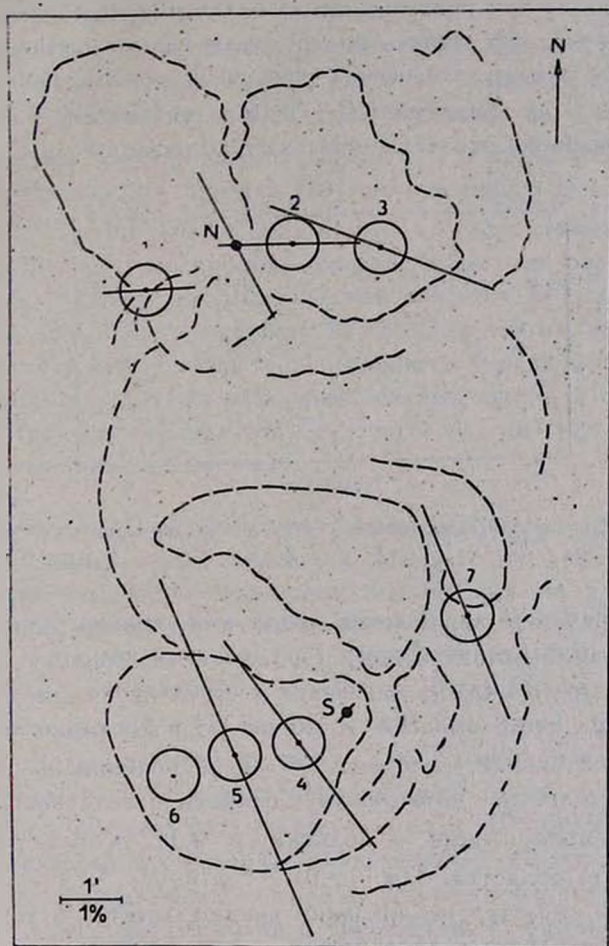


Рис. 1. Поляризация излучения туманности по наблюдениям без фильтра (области 1 и 2) и в полосе B' (области 3, 4, 5 и 7). N — звезда HD 164514, S — звезда HD 164492.

ных линий. Такое поведение степени поляризации указывает на присутствие в излучении туманности собственной поляризации, обусловленной рассеянием света звезды пылевыми частицами. Аналогичная ситуация имеет место для туманностей M 42 [10] и M 17 [8].

В работе [7] показано, что звезда HD 164514 расположена примерно на 300 пс дальше туманности М 20. Зависимость степени поляризации излучения этой звезды от длины волны, представленная на рис. 2, не противоречит предположению о ее межзвездном происхождении. Поскольку межзвездная поляризация для М 20 мала, поляризация у HD 164514 скорее всего возникает при прохождении ее излучения через северную часть туманности. Видно, что степень поляризации увеличивается с ростом λ , причем длина волны, на которой она становится максимальной, составляет $\lambda_{\text{max}} \geq 0.69$ мкм ($\lambda_{\text{эфф.}}$ фильтра КС-17). Это указывает на значительный размер пылинок, ответственных за поляризацию.

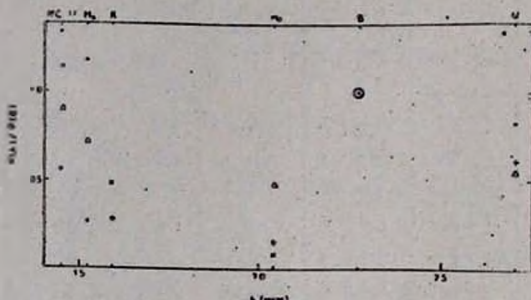


Рис. 2. Нормированные зависимости степени поляризации от длины волны.
● — звезда HD 164514, × — область 4, + — область 5, △ — область 7.

Фотоэлектрические наблюдения ярких эмиссионных линий в туманности Трифид, выполненные Допита [11], показывают, что в целом ионизованный газ распределен довольно симметрично вокруг звезды HD 164492. При этом эмиссия в линиях H_β и N_1 резко уменьшается на угловых расстояниях от звезды $\varphi > 2'$ и в линии H_γ при $\varphi > 2.5$. Данное обстоятельство, по-видимому, отчасти ответственно за увеличение степени поляризации в полосах H_β и H_α в области 7 ($\varphi = 2.6$) по сравнению с областью 5 ($\varphi = 2.0$).

Радиальный характер поляризации свидетельствует о том, что форма пылинок либо близка к сферической, либо несферические пылинки ориентированы хаотически. Такая ситуация, вероятно, имеет место в южной части туманности. Однако в северной части М 20 несферические пылинки должны быть ориентированы, поскольку излучение HD 164514 обладает заметной поляризацией. Радиальная же поляризация излучения туманности, как отмечено в работе [12], может возникнуть при рассеянии неполяризованного излучения звезды пылевыми частицами, большие оси которых находятся в плоскости, перпендикулярной направлению приходя-

щего излучения. Такая ориентация происходит под действием собственных угловых моментов фотонов [13]. По-видимому, примерно так ориентированы пылевые частицы в северной части туманности М 20, поскольку поляризация в областях 1—3 близка к радиальной относительно HD 164492, а направление поляризации у HD 164514 примерно совпадает с направлением на эту звезду.

Большую часть массы пылевых частиц скорее всего составляет загрязненный лед (смесь соединений из наиболее распространенных атомов H, C, N и O). На это указывают два обстоятельства. Во-первых, очень малое содержание кислорода ($O/H = 2.2 \cdot 10^{-4}$) и азота ($N/H = 3.0 \cdot 10^{-5}$), найденное в туманности Трифид [14], по сравнению с их содержанием на Солнце ($O/H = 6.6 \cdot 10^{-4}$ и $N/H = 9.1 \cdot 10^{-5}$ [15]). Отметим, что средняя величина распространенности кислорода и азота в диффузных туманностях, определенная по 15 галактическим областям H II [14], примерно в два раза больше, чем в туманности М 20. И, во-вторых, из ИК наблюдений [3] получено, что температура пылинок в туманности (49 К) существенно меньше температуры плавления ледяных частиц (100 К). Возможно, что в центре ледяных пылинок существует ядро из тугоплавкого вещества (графитовое или силикатное).

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

а) Зависимость степени поляризации излучения от длины волны для туманности М 20 не похожа на соответствующую зависимость для расположенной за туманностью звезды HD 164514, у которой поляризация межзвездная. Отсюда следует, что в излучении туманности присутствует собственная поляризация.

б) Результаты поляризационных наблюдений туманности М 20 с фильтрами подтверждают, что источником свечения как южной, так и северной частей туманности М 20 является звезда HD 164492.

в) Наблюдаемая поляризация возникает в результате рассеяния излучения этой звезды пылевыми частицами (скорее всего состоящими из загрязненного льда), находящимися в туманности. В северной ее части несферические пылинки, вероятно, ориентированы так, что направления их больших осей располагаются в плоскости, примерно перпендикулярной направлению на звезду HD 164492.

Автор благодарен В. А. Гаген-Торну за полезное обсуждение.

THE POLARIMETRIC OBSERVATIONS OF THE NEBULA
M 20 WITH FILTERS

N. V. VOSHCHINNIKOV

The results of the polarimetric observations with six filters are given for five areas of the nebula and the star HD 164514, located behind the nebula. For three areas of the Southern part of the nebula the degree of polarization in continuum proves to be higher than that in emission lines. This polarization arises from the scattering of the radiation of exciting star HD 164492 by dirty ice grains, located in M 20. In the Northern part of the nebula nonspherical particles are possibly oriented in the plane transversal to the direction of the starlight.

ЛИТЕРАТУРА

1. *H. M. Johnson*, *Nebulae and Interstellar Matter*, ed. B. M. Middlehurst, L. H. Aller, Chicago, 1968, p. 65.
2. *C. Goudts*, *Astrophys. Space Sci.*, 40, 281, 1976.
3. *E. L. Wright, G. G. Fazio, F. J. Low*, *Ap. J.*, 208, L76, 1976.
4. *C. R. O'Dell, W. B. Hubbard, M. Peimbert*, *Ap. J.*, 143, 743, 1966.
5. *В. А. Домбровский*, *ДАН СССР*, 105, 924, 1955.
6. *Д. А. Рожковский*, *Изв. Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 12, 21, 1961.
7. *Н. В. Вошинников*, *Письма АЖ*, 1, № 5, 15, 1975.
8. *В. А. Газен-Торн, Н. В. Вошинников*, *Астрофизика*, 13, 569, 1977.
9. *G. Klare, Th. Neckel*, *Astron. Astrophys. Suppl. ser.*, 27, 215, 1977.
10. *R. C. Hall*, *Planets, Stars and Nebulae studied with photopolarimetry*, ed. T. Gehrels, Arizona, Tucson, 1974, p. 881.
11. *M. Dopita*, *Astron. Astrophys.*, 32, 121, 1974.
12. *Н. В. Вошинников*, *Астрон. ж.*, 57, 716, 1980.
13. *M. Harwit*, *Nature*, 226, 61, 1970.
14. *S. A. Hawley*, *Ap. J.*, 224, 417, 1978.
15. *К. У. Аллен*, *Астрофизические величины*, Мир, М., 1977.