

უკანალია იგივე სიდიდეები ჩვენი წინანდელი სამუშაოს [1] მონაცემების მიხედვით.

IV და V ცხრილების ურთიერთშედარება უჩვენებს, რომ ჩვენ მიერ განსაზღვრული აბსოლუტური სიდიდეები უფრო მეტად შედარებადი და ერთგვაროვანია ტრიგონომეტრიულ აბსოლუტურ სიდიდეებთან და ვიქტორიის ობსერვატორიის კატალოგის სპექტრულ აბსოლუტურ სიდიდეებთან [5], ვიდრე CKG და შლეზინგერის [4] კატალოგების მონაცემებთან.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია ჩვენი მონაცემების დამოკიდებულება CKG და ვიქტორიის ობსერვატორიის მონაცემებთან. ეს ნახაზი ნათლად წარმოგვიდგენს აშკარა თანხმობას ჩვენი და ვიქტორიის მონაცემებს შორის. ეს ძალიან მნიშვნელოვანი ფაქტია, რადგანაც აბსოლუტურ სიდიდეთა განსაზღვრის ვიქტორიაში გამოყენებული მეთოდი იძლევა უფრო ზუსტ შედეგებს, ვიდრე უმრავლესობა იმ მეთოდებისა, რომელთა შედეგები შევიდნენ როგორც CKG, ისე შლეზინგერის კატალოგებში.

ნახაზზე 2 წარმოდგენილია დამოკიდებულება სპექტრი—ბრწყინვალეობა ჩვენი და CKG-კატალოგის მონაცემების მიხედვით (ცხრილი II). უკანასკნელთა ურთიერთშედარება მიუთითებს როგორც სისტემატური ხასიათის განსხვავებაზე ამ მონაცემებს შორის, ისე იმაზე, რომ ჩვენი მონაცემები უკეთესად ახასიათებს ვარსკვლავთ ინდივიდუალურ აბსოლუტურ სიდიდეებს, ვიდრე CKG-კატალოგის მონაცემები.

ამგვარად, სხვა წყაროების მონაცემებთან შედარების შედეგები მიუთითებს იმაზე, რომ ჩვენ მიერ გამოყენებული მეთოდი გვაძლევს აბსოლუტურ სიდიდეებს, რომლებიც სრულიად შედარებადია ამჟამად არსებული ყველაზე ზუსტი, მაგრამ ამავე დროს ყველაზე შრომატევადი მეთოდით [5] მიღებულ აბსოლუტურ სიდიდეებთან და ამასთანავე იძლევა მასობრივ განსაზღვრების წარმოების საშუალებას, რასაც, როგორც ცნობილია, განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს.

მაისი, 1954 წ.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ И ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ БЛИЗКИХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ТУМАННОСТЕЙ

М. А. ВАШАКИДЗЕ

Исследование поляризации излучения внегалактических туманностей является актуальной задачей. Поляризацию излучения наблюдаемого объекта можно рассматривать как явление, связанное либо с самим этим объектом, либо с материальной средой, находящейся в пространстве между наблюдателем и объектом. Имеется много доводов в пользу того, что поляризация излучения отдельных звезд в Галактике обусловлена обширными полями диффузной материи межзвездного пространства. В пользу этого говорит и тот факт, что галактические диффузные туманности также обнаруживают поляризацию излучения (см. работу [1]), а диффузные газовые и пылевые туманности, как известно, занимают обширные пространства в межзвездной среде и являются тождественными с поглощающими пылевыми облаками [2] нашей Галактики.

В последнее время радиоизлучение также приписывают межзвездной среде и релятивистским электронам в обширных магнитных полях [3]. Все это наводит на мысль, что поляризация излучения каким-то образом связана или находится в корреляции с радиоизлучением. Это, по крайней мере, относится к диффузным туманностям нашей Галактики и к внегалактическим туманностям. Можно сказать, что за некоторыми исключениями, те объекты мирового пространства должны давать радиоизлучение, которые обнаруживают поляризацию излучения. Как на яркий пример в пользу этого предположения, можно указать на Крабовидную диффузную туманность, которая показывает как интенсивное радиоизлучение, так и большую поляризацию (см. ниже).

Проф. И. С. Шкловский [3] показал, что даже по радиоизлучению можно указать такие места в нашей Галактике, где можно обнаружить диффузные газовые туманности наблюдаемым в линии $H\alpha$.

Таким образом, как-будто должны существовать обширные магнитные и электрические поля, где должно происходить как радиоизлучение, так и поляризация излучения благодаря определенной ориентации частичек в этих полях. В последние годы была изучена также поляризация излучения звезд [4], число которых в данный момент превосходит тысячу. Ввиду этого представляется интересным определить — каково общее* излучение отдельных внегалактических туманностей, если допустить, что излучение звезд в этих туманностях поляризовано частично также, как в нашей Галактике.

Исследованием поляризации звездного излучения занимались Хилтнер [4], Хол [11], В. А. Домбровский [14] и другие. Отметим, что поляризацией излучения затменных двойных звезд еще в 1947 году занималась в Абастуманской астрофизической обсерватории

* «Общее» излучение должно здесь пониматься как излучение внегалактической туманности, объединяющее излучения многих миллиардов звезд.

Н. Л. Магалашвили, но, к сожалению, ее наблюдения на электрофотометре с помощью поляридов до сих пор не опубликованы.

Причину поляризации излучения звезд до настоящего времени объясняют двойкой. Большинство исследователей считают, что поляризация излучения звезд происходит в межзвездной среде. Другие приписывают ее происхождение самой природе звезд. Повидимому, небольшое число звезд на самом деле само поляризует собственное излучение, как на это указывает академик В. А. Амбарцумян, а также С. Чандрасекар [5]. Однако, это относится больше всего к звездам ранних спектральных классов О-В.

С другой стороны, обнаружение поляризации света звездами поздних классов, а также существования зависимости степени поляризации излучения от покраснения звезд и проявление определенной корреляции между направлением плоскости поляризации и галактической плоскостью, говорят в пользу того, что причина поляризации излучения для подавляющего большинства звезд находится в межзвездной среде.

Мы определили значения степени поляризации для внегалактических туманностей, номера которых помещены в таблице I. В таблице помещается также одна диффузная туманность NGC 1952, известная под названием Крабовидной туманности. Она включена в этот список и, вообще,—в данную работу, ввиду ее исключительного интереса с точки зрения как радиоизлучения [3], так и поляризации.

Таблица I

NGC	NGC	α	δ	Тип	m_{ϕ}	I метод	II метод	n	Примечания
1	205	$0^{\circ}37^m.6$	$+41^{\circ}25'$	Ep	$10^m.8$	1	2	3	Определения II методом при двух положениях анализатора.
2	221	$0^{\circ}40.0$	$+40^{\circ}36'$	E	9.5	1	2	3	
3	224	$0^{\circ}40.0$	$+44^{\circ}00'$	Sb	5.	1	1	2	
4	598	$1^{\circ}31.1$	$+30^{\circ}24'$	Sc	7.8	—	2	2	
									Одно определение из них—при двух положениях анализатора.
5	2976	$9^{\circ}43.2$	$+68^{\circ}08'$	Sc	11.2	—	1	1	Определение II методом—при двух положениях анализатора.
6	3031	$9^{\circ}51.5$	$+69^{\circ}18'$	Sb	8.9	1	1	2	
7	3034	$9^{\circ}51.9$	$+69^{\circ}56'$	I	9.4	1	1	2	
8	3077	$9^{\circ}59.4$	$+68^{\circ}58'$	I	11.4	1	1	2	
9	4203	$12^{\circ}12.5$	$+33^{\circ}29'$	SBa	12.0	1	—	1	
10	4449	$12^{\circ}25.8$	$+44^{\circ}22'$	I	10.3	1	1	2	
11	1952	$3^{\circ}34.0$	$+21^{\circ}55'$	—	9.0	—	2	2	

В таблице I даются: экваториальные координаты туманностей, спектральный тип, звездные величины, взятые из каталога Шепли и Эймса [6]. В 7-ом и 8-ом столбцах имеются указания на применяемую методику определения поляризации: I—метод трех положений анализатора ($\Delta\varphi=60^{\circ}$), и II—метод четырех или двух положений анализатора (см. ниже). В 9-ом столбце показано количество определений степени поляризации исследуемых туманностей.

Ниже мы приводим значения степени поляризации для каждой туманности из списка таблицы I. Однако, плоскости поляризации определены не для всех туманностей. Это вызвано тем, что во втором методе, как будет показано ниже, для определения направления плоскости поля-

ризации необходимо иметь измерения при четырех положениях анализатора, а для определения степени поляризации достаточно бывает измерений в двух положениях.

Ввиду этого мы иногда, вследствие тех или иных причин, при фотографировании удовлетворялись двумя положениями анализатора (случаи применения двух положений анализатора указаны в столбце примечаний таблицы I).

Методика определения поляризации излучения туманностей. Как описано в нашей прежней работе [1], определение степени поляризации мы проводили на анаберрационной камере типа Шмидта Абастуманской астрофизической обсерватории, так что здесь мы не станем описывать инструмент. В той же работе описан способ определения степени и плоскости поляризации методом академика В. Г. Фесенкова [7], заключающимся в фотографировании исследуемого объекта в трех положениях анализатора (I метод).

В данной работе для большинства туманностей списка таблицы I применялся метод четырех положений анализатора. Эту методику мы опишем здесь частично, поскольку и она изложена нами в работе [8], касающейся полного солнечного затмения 1952 года.

На камере Шмидта в настоящее время анализатор устроен таким образом, что поляризованный свет помещается перед кассетой и вращается по позиционному углу шагом $\Delta\varphi=45^{\circ}$. Фотографирование объекта в четырех положениях анализатора увеличивает точность определения степени поляризации, сравнительно с фотографированием в трех положениях анализатора (I метод).

Четыре положения анализатора схематически показаны на рисунке 1.

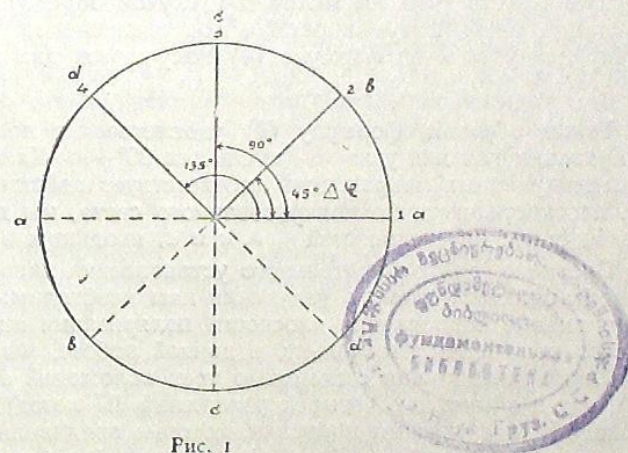


Рис. 1

Интенсивности, соответствующие положениям анализатора 1, 2, 3 и 4 обозначены на рисунке через a , b , c и d .

Как известно, степень поляризации определяется следующей формулой:

$$P = \frac{I_r - I_t}{I_r + I_t}, \quad (1)$$

где I_r и I_t радиальное и тангенциальное составляющие частично поляризованного света.

Далее, если воспользоваться формулой Малюса для четырех положений анализатора, будем иметь:

$$\begin{aligned} a &= k [I_r \cos^2 \alpha + I_t \sin^2 \alpha] \\ b &= k [I_r \cos^2 (\alpha + 45^\circ) + I_t \sin^2 (\alpha + 45^\circ)] \\ c &= k [I_r \sin^2 \alpha + I_t \cos^2 \alpha] \\ d &= k [I_r \cos^2 (\alpha + 135^\circ) + I_t \sin^2 (\alpha + 135^\circ)] = \\ &= k [I_r \sin^2 (\alpha + 45^\circ) + I_t \cos^2 (\alpha + 45^\circ)]. \end{aligned} \quad (2)$$

Если из формул (2) определить $(I_r + I_t)$ и $(I_r - I_t)$, и внести их в формулу (1), мы получим для степени поляризации окончательно:

$$\begin{aligned} P &= \frac{\sqrt{(b-d)^2 + (2a-b-d)}}{b+d} = \frac{\sqrt{(a-c)^2 + (b-d)^2}}{a+c} = \\ &= \frac{\sqrt{(a-c)^2 + (b-d)^2}}{b+d}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $a+c=b+d$, $a-d=b-c$ и $a-b=d-c$.

Для положения плоскости поляризации получается удобная формула:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{d-b}{a-c} \quad (4)$$

Угол α отсчитывается, как в первом методе, от плоскости поляризации первого положения анализатора.

В случае когда не известно приближенное положение плоскости поляризации света (что мы имеем для случая определения плоскости поляризации звезд и туманностей), определение ее затруднено, поскольку для угла α по формуле (4) получаются два значения, так как:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \operatorname{tg} (2\alpha + 180^\circ) = \operatorname{tg} 2(\alpha + 90^\circ). \quad (5)$$

Таким образом, формулу (4) удовлетворяет положение плоскости поляризации как для угла α , так и для $90^\circ + \alpha$. Какое из этих взаимоперпендикулярных направлений соответствует действительному положению плоскости частично поляризованного света, мы должны установить по величинам интенсивностей a , b , c и d , входящих в формулу (4).

Очевидно, для окончательного установления направления плоскости поляризации исследуемого излучения нам необходимо, как указывалось выше, знание направления плоскости поляризации анализатора для его первого положения. Поскольку, в данной работе, мы определяли плоскость поляризации как с помощью трех положений анализатора (I метод), так и с помощью четырех положений (II метод), то ниже мы даем таблицу II, где указаны поправки, которые придавались полученным по формулам (4.18) работы [1] и (4)—настоящей работы углам α , с учетом знака.

В первой половине таблицы II даются поправки $\Delta\alpha$ для случая первого метода, во второй половине—для второго метода.

Мы произвели определение плоскости поляризации первого положения анализатора по отношению к суточной параллели или вдоль координаты прямого восхождения α . Установлено, что плоскость поляризации анализатора вдоль координаты α составляет 30° , поэтому в таблице II нами даются поправки $\Delta\alpha = 30^\circ$ для случая, когда $\alpha = 0$. Окончательное значение плюс α соответствует углу от параллели в сторону полюса, а при отрицательном знаке—в противоположном направлении.

Таблица II

Интенсивности	Знак a	$\Delta\alpha$	Интенсивности	$a-c$	$d-b$	знак a	$\Delta\alpha$
$a > b > c$	-	$+ 30^\circ$	$c > b$	-	-	+	$+ 120^\circ$
$a > c > b$	+	$+ 30$	$b > c$	-	-	+	$+ 30$
$b > a > c$	-+	$+ 120$	$a > b$	+	-	-	$+ 30$
$b > c > a$	+	$+ 30$	$b > a$	+	-	-	$+ 120$
$c > a > b$	-+	$+ 120$	$c > d$	-	+	-	$+ 120$
$c > b > a$	-	$+ 30$	$d > c$	-	+	-	$+ 30$
			$a > d$	+	+	+	$+ 30$
			$d > a$	+	+	+	$+ 120$

Относительно положения плоскости поляризации излучения туманностей мы будем еще говорить ниже при обсуждении вопроса об их степени поляризации. Однако заранее заметим, что выведенные положения плоскости поляризации дают заметный разброс и оставляют желать лучшего.

На камере Шмидта снимки при четырех положениях анализатора производились следующим образом. На одной пленке получались два изображения исследуемого объекта, соответствующие первому ($\varphi = 0^\circ$) и третьему ($\varphi = 90^\circ$) положениям анализатора, при $\Delta\varphi$, равном 90° . Снимки производились последовательно на фотопленке «Изохром HD 1800 НИКФИ».

На второй фотопленке таким же образом снимались следующие два изображения исследуемого объекта: № 2 и № 4, соответствующие позиционным углам анализатора $\varphi = 45^\circ$ и $\varphi = 135^\circ$.

Фотографирование этим способом имеет ряд преимуществ, заключающихся в следующем. Хотя на каждой фотопленке получаем два изображения, как было указано выше, но за то—с одним и тем же фоном, что является определенным преимуществом. Во-вторых, каждая отдельная фотопленка дает возможность определять степень поляризации по формулам:

$$P_{1-3} = \frac{a-c}{a+c} \sec 2\alpha, \quad P_{2-4} = \frac{b-d}{b+d} \sec 2\alpha. \quad (6)$$

Несмотря на то, что в формулы (6) входит неизвестный угол α , дающий положение плоскости поляризованного света, мы можем воспользоваться этими формулами в другом виде.

Ввиду того, что здесь мы имеем на одной пленке два изображения исследуемого объекта во взаимоперпендикулярных лучах, мы можем упростить этот случай получению двух изображений данного объекта призмой Волластона. Единственная разница заключается лишь в том, что призмой Волластона изображения получаются одновременно, а в случае камеры Шмидта—последовательно. Это, на первый взгляд, кажется существенным недостатком, но если надежно учесть атмосферную экстинкцию и другие фотографические эффекты, то с этим можно примириться (см. ниже). Ввиду сказанного, мы можем воспользоваться теми же формулами, какими пользуются при получении снимков с помощью призмы Волластона.

Как известно, можно написать [10]:

$$\Delta m = 2.5 \lg \frac{I_t}{I_r}, \quad P = \frac{I_r - I_t}{I_r + I_t}, \quad (7)$$

где Δm разность яркостей двух изображений измеряемой точки в звездных величинах, I_r и I_t имеют вышеуказанные значения.

Из формул (7) получается приближенное соотношение между Δm и P :

$$\Delta m = 2.2P \text{ или } P = \frac{\Delta m}{2.2}. \quad (8)$$

Если для нашего случая воспользоваться формулой (8) и написать ее для изображений №№ 1, 3 и №№ 2, 4, то для разности в звездных величинах для этих изображений Δm_{1-3} и Δm_{2-4} будем иметь:

$$P_{1-3} = \frac{\Delta m_{1-3}}{2.2}, \quad P_{2-4} = \frac{\Delta m_{2-4}}{2.2}. \quad (9)$$

Формулами (9) мы и пользовались, когда имели по той или иной причине одну пленку с двумя изображениями исследуемого объекта.

Как показали вычисления, разница в определении степени поляризации по формулам (3) и (9) незначительна. Однако, по общим соображениям, она все-таки должна быть довольно заметной, ввиду того, что формула (3) учитывает направление плоскости поляризации, тогда как формула (9) этого не учитывает. Поэтому, степень поляризации, полученная по формуле (9), зависит от того, как ориентирована плоскость поляризации исследуемого излучения по отношению к двум положениям анализатора. Если одно положение плоскости поляризации анализатора совпадает с плоскостью поляризации изучаемого света, тогда степень поляризации такая же по формуле (9), как по формуле (3). В остальных случаях получится уменьшенное значение степени поляризации (см. ниже).

Поправка за последовательность снимков. Ввиду того, что наши снимки производились последовательно, очевидно, что исследуемые объекты фотографировались на разных зенитных расстояниях и поэтому, необходимо учесть поправки за зенитные расстояния. Последовательные снимки подвержены еще ошибкам неоднородной гидировки при фотографировании отдельных изображений исследуемого объекта. Это может произойти по причине несовершенного слежения и от неоднородного хода часового механизма в разных положениях инструмента. К этим видам ошибок может присоединиться также неоднородность чувствительности эмульсии на двух фотопленках, неоднородность проявления и т. п.

Ввиду сказанного, исправление измерений последовательных снимков объекта только лишь за зенитное расстояние было бы недостаточно и мы решили вводить поправки так, как это описано в нашей прежней работе [1]. На каждой пленке выбирались конкретные звезды, которые измерялись во время измерений исследуемой туманности, считая, что излучение звезд неполяризовано, а если поляризовано, то—незначительно и эффект остается в пределах ошибок нашего определения. Как выяснилось, туманности показывают на самом деле большую поляризацию, чем звезды.

По измеренным звездам вводились поправки в виде $\Delta \lg I$ для остальных двух изображений (I метод), т. е. приводились к одному из трех изображений или вводились для остальных трех изображений (II метод). Мы считаем, что поправки такого вида учитывают все вышеперечисленные ошибки.

Степень и плоскость поляризации излучения отдельных внегалактических туманностей. Туманность NGC 205 находится вблизи большой туманности Андромеды NGC 224. Тип ее E_p и ввиду особенности типа представляет интерес ее изучение с точки зрения поляризации. Однако, для выяснения вопроса—какой

тип туманностей показывает большую поляризацию, желательно исследовать все типы туманностей от E до I .

Степень и направление плоскости поляризации излучения для туманности NGC 205 даны в таблице III.

Таблица III
NGC 205 E_p

3.IX 1953 г.			10.IX.1953 г.			20.VIII 1952 г.		
d'	P_2	α_2	d'	P_2	α_2	d'	P_1	α_1
1.7	14%	—	1.7	23%	—14	2.8	2%	+63
1.1	9	—	1.1	12	+25	1.4	17	+62
0.6	14	+16	0.6	15	+77	0.6	13	+63
0.0	12	—39	0.0	5	—53	0.0	14	+32
0.6	13	—20	0.6	5	—81	0.6	—	—
1.1	5	—23	1.1	4	—89	1.4	13	+51
1.7	4	—60	1.7	6	—25	2.8	17	+64

Среднее 10% (7)

10% (7)

12% (6)

NGC 221 (тип E) d' 0.0 4%

В таблице обозначения степени поляризации P и положения плоскости поляризации α сопровождаются значками 1 и 2, соответственно первому и второму методу. Судя по таблице III, можно сказать, что степени поляризации, определенные разными методами и по разным негативам, полученным в различные ночи, хорошо совпадают между собой. Однако, определения по первому методу сделаны по другим точкам d' и промерены на микрофотометре при другом диаметре, чем во втором методе. Промеры для всех туманностей, как и для данной, производились вдоль большой оси, а во втором методе—вдоль координаты α , ввиду удобства такого измерения негативов с двумя изображениями.

В таблице d' означает расстояние в минутах дуги, причем начало координат совмещено с центральной частью измеряемой туманности. Верхние расстояния от нуля увеличиваются в сторону— α , а нижние расстояния в сторону $+\alpha$. В случае измерения первым методом, если направление главной оси туманности совпадает с координатой δ , верхние расстояния d' соответствуют $-\delta$, а нижние $+\delta$. По данным таблицы III, туманность NGC 205 показывает довольно значительную поляризацию. Повидимому, значительная поляризация объясняется какими то особенностями ее типа— E_p .

В конце таблицы III представлена также поляризация туманности NGC 221 типа E . У этой туманности измерялась лишь одна точка—ядро туманности; можно сказать, что она не обнаруживает поляризацию, поскольку, величина поляризации равна 4%, т. е. находится в пределах ошибок измерений фотографического метода. Полученная величина осреднена по трем ночам наблюдения 20.VII.1952, 3.IX.1953 и 10.IX.1953.

Туманность NGC 224 типа S_b и является самой большой туманностью в созвездии Андромеды.

Таблица IV

d'	NGC 224 (Sb) 20.VII 1953 г.					NGC 224 (Sb) 14.IX. 1953 г.		d _i	NGC 3031 (Sb) 19 IX. 1953 г.	
	P ₁	α ₁	d'	P ₁	α ₁	d'	P ₁₋₃		P ₂	α ₂
35.8	10%	+61°	4.1	18%	+55°	16.5	10.0%	1.7	6%	-31°
27.5	11	75	5.5	4	20	14.3	7.0	1.1	15	+9
24.8	13	52	6.9	4	43	2.7	9.0	0.6	23	-2
23.4	16	44	8.3	12	79	11.0	9.0	0.0	2	-31
23.0	14	60	9.6	15	55	9.4	7.0	0.6	14	-17
20.6	9	61	11.0	18	35	7.7	4.5	1.1	10	-46
19.3	11	60	12.4	12	48	6.6	6.0	1.7	8	-52
17.9	11	90	13.8	9	64	5.5	3.0			
16.5	10	63	15.1	16	40	4.4	3.0	Среднее 11% (7)		
15.1	12	44	16.5	15	33	3.3	1.0	NGC 4203 (Sba) 19.V. 1953 г.		
13.8	14	46	17.9	11	60	2.2	1.0	d'	P ₁	α ₁
12.4	6	88	19.3	13	70	1.1	1.0			
11.0	7	66	20.6	10	64	0.0	1.0			
9.6	7	46	22.0	8	71	1.1	2.0			
8.3	0	—	23.4	4	65	2.2	3.0	0.0	5%	+20°
6.9	10	4	24.8	12	43	3.3	1.0			
5.5	6	68	27.5	10	82	4.4	4.5			
4.1	14	47	30.3	8	97	5.5	3.0			
2.8	15	56	33.0	21	62	6.6	1.0			
1.4	13	30	35.8	9	34	7.7	0.0			
0.0	15	82	41.3	20	60	8.8	8.0			
1.4	10	16	46.8	6	54	9.9	9.0			
2.8	15	40	52.3	18	70	11.0	1.0			
						13.2	2.0			
						14.9	7.0			
						16.5	0.0			
Среднее 11% (46)						Ср. 4% (26)				

Она расположена близко к нашей Галактике. Значения степени поляризации излучения у этой туманности даны для разных точек вдоль большой оси. Результаты измерения для нее приведены в таблице IV. Как видно из этой таблицы, туманность Андромеды обнаруживает значительную поляризацию.

Первый метод измерения показывает, что среднее значение степени поляризации равно 11%. Некоторые локальные точки показывают большие значения поляризации, причем максимальное значение достигает 20%-ов. Средняя величина поляризации этой туманности хорошо совпадает с результатом, полученным для нее Эманом [9].

По измерениям вторым методом с одной пленкой степень поляризации туманности Андромеды получается в среднем равной 4%, что указывает на то, что поляризация ее очень мала или совсем отсутствует, поскольку, эта величина находится в пределах вероятной ошибки определения. Но как указывалось выше, при наличии одной пленки с двумя изображениями №№ 1, 3, такой эффект может получиться. Однако, разница в этом случае заметная и мы этой величиной в дальнейшем пользоваться не будем. Степени поляризации, определенные по двум положениям анализатора—вторым методом, мы обозначаем через P₁₋₃.

Относительно положения плоскости поляризации можно сказать, что по измерениям первым методом угол α, получается довольно однородным и в среднем дает отклонение, равное α=55°. Такая однородность отклонения вызывает некоторое сомнение и может быть обусловлена какой-либо систематической ошибкой. Однако, скорее всего это

явление можно объяснить единым фоном среды, вызывающей как поляризацию излучения, так и указанный наклон плоскости поляризации. Если принять, что большая ось туманности Андромеды приблизительно параллельна оси α, то плоскость поляризации ориентирована в среднем под 55° по отношению к главной оси туманности.

В случае туманности Андромеды для поляризации излучения можно привести такое же объяснение, какое приводится для поляризации звезд нашей Галактики и дается Ван-де-Хулстом [10], Спицером и Тукей [15] и другими.

В таблице IV мы поместили также измерения туманностей NGC 3031 Sb и NGC 4203 Sba. Туманности этих типов помещены в таблице IV с целью сравнения с поляризацией близких типов.

Туманность NGC 3031 Sb довольно яркая; ее оси равны a=16' и b=10' и поэтому можно измерить поляризацию в достаточном количестве ее точек. Эта туманность показала среднюю поляризацию равной 11%. Следовательно, эта величина почти совпадает со средней степенью поляризации излучения туманности Андромеды.

Туманность NGC 4203 типа Sba. Степень поляризации получена по первому методу и равна 5%. Эта величина также находится в пределах ошибки определения и ею можно пренебречь.

Туманность NGC 598 типа Sc. У нее спирали очень развиты и по форме она, в общем, представляет собой типичную спиральную систему. Ввиду этого, можно было ожидать, что ее излучение на много больше поляризовано, чем излучение туманности Андромеды, но, как показывает таблица V, среднее значение ее степени поляризации всего на 2% больше, чем Андромеды.

Плоскость поляризации у этой туманности ориентирована больше всего вдоль координаты α. Если сравнить эти отклонения плоскости поляризации с плоскостями отклонения туманности Андромеды, то окажется что они отличаются друг от друга. Отсюда можно сделать заключение,

Таблица V

d'	NGC 598 Sc, 3.IX.1953					d'	NGC 598 Sc, 10.IX.1953			d'	NGC 2976 Sc, 19.V.1953	
	P ₂	α ₂	d'	P ₂	α ₂		P ₁₋₃	d'	P ₁₋₃		d'	P ₂
6.1	9%	—	0.1	9%	+10°	6.1	8%	0.1	4%	1.7	14%	+79°
5.9	14	59°	0.6	6	-54	5.5	5	0.6	2	1.1	20	+55
5.0	16	—	1.1	10	+23	5.0	4	1.1	5	0.6	20	0
3.9	20	-8	1.7	16	+10	3.9	2	1.7	5	0.0	5	+135
3.3	25	+5	2.2	4	+30	3.3	2	2.2	5	0.6	7	+115
2.8	18	+35	2.8	19	+44	2.8	1	2.8	14	1.1	7	+144
2.2	17	+11	3.3	11	+64	2.2	6	3.3	13	1.7	18	+86
1.7	11	+17	3.9	8	-36	1.7	1	3.9	11	2.2	11	+135
1.1	7	+13	4.4	16	+20	1.1	2	4.4	15			
0.6	8	+7	5.0	17	-40	0.6	1	5.0	11	Среднее 13%		
0.0	9	+10	5.5	14	+100	0.0	4	5.5	7			
Среднее 13%						Среднее 6%						

что степень и положение плоскости поляризации внегалактических туманностей мало связаны с поляризующей средой межзвездного пространства нашей Галактики.

Определения P_{1-3}^2 от 10.IX. 1953 г. (в той же таблице) также показывают уменьшенное значение степени поляризации, как в случае туманности Андромеды и подтверждают наше утверждение, сделанное выше.

Туманность NGC 598 нельзя отнести к туманностям, характеризующимся большими значениями степени поляризации, однако некоторые ее узлы, как видно из таблицы V, обнаруживают значительную поляризацию, которая в двух случаях достигает 20% и 25%.

В таблице V помещены также данные о поляризации излучения туманности NGC 2976 Sc. Степень поляризации для этой туманности определена вторым методом. Среднее значение поляризации в точности совпало со значением для NGC 598.

Отсюда можно заключить, что в спиральных внегалактических туманностях поляризация излучения достигает примерно 15%.

Туманности NGC 3034, 3077 и 4449 иррегулярного типа и изучение их излучения представляет определенный интерес.

Как указывает Вайцекер [12], иррегулярные туманности являются самыми молодыми из галактик. Следовательно, иррегулярные туманности должны находиться в самой бурной стадии развития, поэтому, в них скорее можно определить наличие большого количества темной материи и вследствие этого значительной поляризации их излучения. И на самом деле, эти туманности, в общем, обнаруживают значительную поляризацию и на фотографиях некоторых подобных туманностей заметна на-глаз разница в почернении для разных положений анализатора.

Таблица VI

d'	NGC 3034(I) 16.VII.1952		d_1	NGC 3034 (I) 19.IX.1953		d_1	NGC 3077 (I) 19.IX.1953		d'	NGC 4449(I) 1.VII.1953		d'	NGC 4449 (I) 11.IX.53	
	P_1	α_1		P_2	α_2		P_3	α_3		P_1	α_1		d'	P_{1-3}^2
5.5	6%	+ 84°	—	—	—	—	—	—	1.7	17%	+ 87°	—	—	—
4.1	7	+ 36	1.7	10%	+ 8°	1.1	24%	+ 6°	1.1	4	+ 39	1.1	22%	—
2.7	4	+ 8°	1.1	15	+ 129	1.6	16	— 2	0.6	7	— 17	0.6	38	—
1.4	15	+ 120	0.6	9	+ 114	0.0	8	— 17	0.0	30	+ 43	0.0	8	—
0.0	10	+ 158	0.0	7	+ 96°	0.6	13	— 18	0.5	33	— 16	0.6	17	—
1.4	10	+ 82	0.0	4	— 37	Среднее 15%		—	1.9	22	+ 33	1.1	30	—
2.8	6	+ 42	1.1	4	— 23	0.0 15% — 15°		—	—	—	—	—	—	—
4.1	9	+ 30	1.7	9	— 11	Среднее 15%		—	—	—	—	—	—	—
Среднее 9%			Среднее 7%			Среднее 19%			Среднее 23%					

Из этой таблицы видно, что лишь одна туманность NGC 3034 обнаруживает незначительную поляризацию, поскольку, среднее значение поляризации—по двум разным методам определения—порядка 8%.

Туманность NGC 3077 показывает среднее значение поляризации в 15% по обоим методам, а туманность NGC 4449—больше: 20%. Указанные величины P_1 , несомненно, ощутимы.

Вобщем, относительно внегалактических туманностей надо отметить, что их классификация по типам имеет довольно большие ошибки, особенно для слабых внегалактических туманностей и тем более для тех, которые видны «сбоку». К такой категории туманностей надо отнести NGC 3034. Повидному, она классифицирована неправильно и она типа Sa или Sb. Этим и объяснима незначительная поляризация ее излучения.

Ввиду того, что внегалактическая туманность NGC 4449 показывает довольно большую поляризацию, интересно проверить—дает ли она радиоизлучение, поскольку, как было указано выше, некоторая корреляция намечается между радиоизлучением и поляризацией света. Эта туманность не значится в списке радиогалактик И. С. Шкловского [3]. Это делает еще более интересной проверку ее радиоизлучения. Максимальное значение степени поляризации ее для некоторых точек достигает 30%. Определенный интерес представляет собой изучение туманностей типа I, с целью определения свойств поляризации, с помощью более длиннофокусных инструментов и решить некоторые спорные вопросы поляризации их и нашей Галактики.

Чтобы найти связь между средним значением степени поляризации и типом внегалактических туманностей, мы составили таблицу VII, где, кроме вышеприведенных туманностей, помещены еще три туманности

Таблица VII

№№	NGC	Тип	P
1	221	E	04%
2	224	Sb	11
3	598	Sc	13
4	2976	Sc	13
5	3031	Sb	10
6	3077	I	15
7	4203	SBa	05
8	4449	I	21
9	4558*	Sb	08
10	5194*	Sc	12
11	5457*	Sc	09

из нашей работы [1]. Эти туманности в таблице VII обозначены звездочками. Как видно из таблицы VII, в списке отсутствуют туманности NGC 205 и 3034. Они были изъяты из списка ввиду, того, что туманность NGC 205 типа E_p , т. е. проявляет какие то особенности и поэтому может не соответствовать настоящему типу E; вторая же туманность NGC 3034 классифицирована Шепли и Эймса [6] как иррегулярная I, но по нашим определениям эта туманность скорее типа S_b чем I.

Данные таблицы VII мы представили в виде кривой (рис. 2).

На оси абсцисс мы поместили основные типы туманностей, начиная от E до I, а на оси ординат—среднее значение степени поляризации в процентах. Для расстояния между основными типами взяты одинаковые интервалы в соответствии с их показателем цвета, подобно тому, как это делается для диаграммы Рэсселя.

Как видно, намечается некоторая зависимость между степенью поляризации и типом внегалактических туманностей.

Общий просмотр приведенных таблиц оставляет впечатление, что излучение центров внегалактических туманностей менее поляризовано, чем излучение нецентральных частей, однако этот признак вполне явным образом не проявляется. Для подтверждения указанного явления необхо-

можно построить кривые для каждой туманности в отдельности (расстояние от центра в линейных мерах—степень поляризации). Для этой цели необходимы обширные измерения каждой туманности на снимках, полученных с помощью длиннофокусных инструментов, и знание точного расстояния до исследуемой туманности.

В заключение приведем таблицу VIII для Крабовидной туманности, являющейся диффузно-газовой туманностью нашей Галактики.

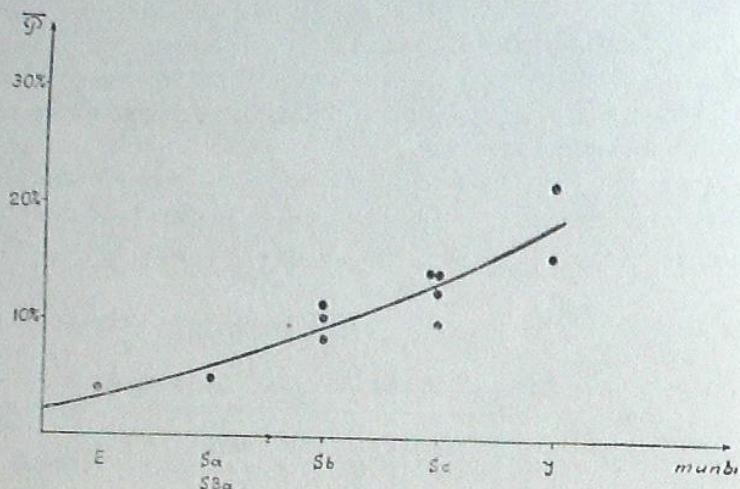


Рис. 2

Ввиду того, что от этой туманности, как указано выше, имеется большое радиоизлучение, представлялось весьма интересным изучение поляризации ее излучения.

Таблица VIII
NGC 1952 (Крабовидная туманность)

d'	11.IX.1953 г.		14.IX.1953 г.	
	P_1	a_1	P_1	a_1
2.2	17%	+28°	11%	+26°
1.7	26	-1	17	-10
1.1	20	+6	27	+4
0.6	12	-21	16	-37
0.0	24	+21	14	+18
0.6	35	+15	26	+24
1.1	48	+24	33	+32
1.7	28	+36	22	+42
2.2	9	+20	6	+13

Среднее . . . 24% Среднее 19%

Как показывает таблица VIII, излучение Крабовидной туманности довольно сильно поляризовано. Мы обработали две серии негативов. Первая из них снятая 11.IX. 1953 года, не вполне удачна, поскольку туманность получилась на краю фотометрического поля и, кроме того, два

изображения туманности недостаточно раздвинуты друг от друга и, возможно, имеются некоторые фотометрические ошибки, вызывающие увеличение степени поляризации по сравнению с поляризацией, полученной по негативам 14.IX.1953 года. Последние безусловно вполне доброкачественны. Измерение Крабовидной туманности мы произвели вдоль координаты δ , ввиду того, что измерения вдоль α затруднились чисто техническими причинами в смысле совмещения измеряемых точек (чтобы измерять одни и те же точки на двух-четырёх изображениях объекта).

Максимальная поляризация в Крабовидной туманности для одной точки достигает 50%. Излучение Крабовидной туманности, повидимому, настолько сильно поляризовано, что даже по нашим снимкам, в условиях незначительного масштаба на камере Шмидта (1 см=55'), на-глаз заметно, что туманность значительно меняет свою форму при разных положениях анализатора. Согласно сказанному, корреляция между радиоизлучением и поляризацией налично. Повидимому, поляризация обусловлена магнитными и электрическими полями туманности. Необходимо продолжить исследование ее поляризации, но—с помощью более длиннофокусного инструмента.

З а к л ю ч е н и я. При изложении вводной части настоящей работы, а также в связи с каждой приводимой таблицей нами делались некоторые заключения в отношении отдельных объектов. Теперь же мы их резюмируем.

- Как видно из рис. 2, ранние типы туманностей обнаруживают большую степень поляризации, чем поздние, что согласуется с предложением Вайцзекера [12] о том, что эволюционную последовательность внегалактических туманностей по типам Хаббла [13] надо представить в обратной последовательности.
- Внегалактические туманности, которые характеризуются значительной степенью поляризации, в большинстве случаев являются «радио-галактиками».
- Центральные части внегалактических туманностей показывают меньшую степень поляризации излучения, чем удаленные от центра части, но это не проявляется явным образом и вполне определенно утверждать этого нельзя.
- Ориентация плоскости поляризации, в большинстве случаев, для данной туманности показывает предпочтительное направление, но для разных туманностей различна и не связана с плоскостью симметрии нашей Галактики.
- Плоскости поляризации, повидимому, связаны с плоскостями симметрии самих исследуемых галактик каким-то общим законом, но окончательное суждение требует более детального изучения туманностей при помощи мощных инструментов, охватывая изучением многие галактики.
- Поляризация излучения внегалактических туманностей, по всей вероятности, не связана с межгалактической средой. На это указывают разные направления плоскости поляризации для разных галактик. С целью подробного исследования этого вопроса следует изучать поляризацию излучения многих далеких внегалактических туманностей.

Сентябрь, 1953.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вашакидзе М. А. Бюлл. Абастум. астрофиз. obs. № 13, 103, 1953.
2. Амбарцумян В. А., Горделадзе Ш. Г. Бюлл. Абастум. астрофиз. obs. № 2, 37, 1938.
3. Шкловский И. С. Астрон. Ж. 30, 15, 1953.
4. Hiltner W. A. Aph. J. 114, 241, 1954.
5. Chandrasekhar S. Aph. J. 103, 351, 1946.
6. Shapley H., Ames A. NA 88, No. 2, 1932.
7. Фесенков В. Г. Астрон. Ж. 12, 309, 1935.
8. Вашакидзе М. А. Бюлл. Абастум. астрофиз. obs. № 17, 1, 1954.
9. Ohman J. Stockh. obser. Ann. 14, No. 4, 1942.
10. Ван де Хуаст Г. Межзвездная поляризация света и магнитно-гидродинамические волны. Сборник «Проблемы космической аэродинамики», стр. 58, 1953.
11. Hall L. S. Science, 109, 166, 1949.
12. Weizsäcker C. F. Aph. J. 114, 165, 1951.
13. Hubble E. The realm of the nebulae, 1936.
14. Домбровский В. А. Вестн. Ленингр. ун-в. Астрономия, № 2, 1953; ДАН Арм. ССР, 12, 4, 1950.
15. Spitzer L. Jr., Takay W. J. Aph. J. 114, 187, 1951.

К СТАТИСТИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕМНЫХ ТУМАННОСТЕЙ¹

Д. Ш. ХАВТАСИ

Настоящая работа посвящена статистическому исследованию темных туманностей и изучению некоторых закономерностей, характеризующих последние. В основу исследования положен составленный нами предварительный каталог темных туманностей.

Материалом для составления каталога темных туманностей нам служили атлас Росса и Кальверт, атлас Барнарда и другие литературные источники, охватывающие галактическую полосу с галактическими широтами $b = \pm 30^\circ$ и долготами от $l = 0^\circ$ до $l = 220^\circ$ и от $l = 310^\circ$ до $l = 360^\circ$.

Работа состоит из четырех глав.

Первая глава содержит краткий обзор исследований по проблеме изучения темных туманностей. Изложены методы исследования темных туманностей, собраны современные данные о физических, геометрических и статистических характеристиках темных облаков, а наряду с этим сформулированы некоторые вопросы, требующие дальнейшего исследования.

Во второй главе изложена методика составления каталога темных туманностей, выполнено обсуждение материала, изложены способы фиксирования темных туманностей, измерения их характеристик и точность произведенных измерений. В конце главы приведен список 797 темных туманностей (предварительный каталог).

В третьей главе обсуждаются вопросы, касающиеся структурных и морфологических особенностей темных туманностей.

Выделены некоторые виды темных туманностей, интересные с точки зрения структурных особенностей, произведена их группировка по морфологическим признакам. Обращено внимание на некоторые области неба, в которых обнаруживаются определенные закономерности в расположении и ориентации темных туманностей или заподозрена связь темных туманностей с некоторыми близлежащими звездами.

В четвертой главе содержатся дискуссия и статистическое исследование темных туманностей. Изучены закономерности в видимом распределении темных туманностей на небе. Построены функции распределения темных туманностей по видимым и истинным поверхностным площадям, по массам, и пр. Изучена видимая и пространственная ориентация вытянутостей темных туманностей.

В конце работы приведены основные результаты исследования.

Тема настоящей работы была предложена мне проф. Е. К. Харадзе. При обсуждении результатов данной работы я пользовался вниманием и ценными советами проф. П. П. Паренато. Проф. Б. А. Воронцов-Вельяминов и Е. Л. Рускол сделали ценные критические замечания. Всем им приношу свою искреннюю благодарность. Я также благодарен А. Ф. Торонджадзе за участие в обсуждении ряда вопросов, связанных с настоящим исследованием.

¹ Настоящая статья представляет собой основу кандидатской диссертации автора.