

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
АСТРОФИЗИКА

ТОМ 4

АВГУСТ, 1968

ВЫПУСК 3

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЯДЕР ГАЛАКТИК

В. А. ДОМБРОВСКИЙ, В. А. ГАГЕН-ТОРН

Поступила 7 января 1968

В таблицах 1, 2 и 4 приведены результаты фотозлектрических измерений поляризации излучения ядерных областей 15 галактик. Для 6 сейфертовских галактик NGC 1068, 1275, 3227, 4051, 4151 и 7469 излучение ядер оказалось заметно поляризованным. Найденная поляризация объяснена наложением на обычное звездное излучение синхротронного излучения от источников малого размера, не проявляющих себя в обычно используемом радиодиапазоне. Поляризация излучения ядерных областей галактик NGC 598, 7331 и 7814, по-видимому, связана с рассеянием света на пылевой материи.

Ядра галактик в последние годы привлекают к себе все более и более пристальное внимание исследователей. Большое влияние на стимулирование интереса к ним оказали идеи В. А. Амбарцумяна об особой активности ядер, активности, играющей, по-видимому, важную роль в становлении и эволюции галактик. Но, несмотря на большой интерес, проявляемый наблюдателями к ядрам галактик в настоящее время, их природа до сих пор во многом еще неясна. Несомненным является большое разнообразие ядер галактик: от небольших ядрышек „кernов“ в галактиках местной системы до ядер сейфертовских галактик, составляющих по светимости заметную долю светимости всей галактики. В состав ядер, как показывают спектральные наблюдения, входят звезды и, в той или иной степени, диффузное вещество. Радионаблюдения дают определенные доказательства присутствия в излучении некоторых ядер синхротронного излучения. Вероятно, в ряде случаев оно простирается и на оптический диапазон. Наконец, В. А. Амбарцумян, исходя из невозможности связать некоторые формы активности ядер ни со звездами, ни с диффузной материей, допускает существование в них массивных тел незвездной природы. Однако мы еще совершенно не готовы ответить на вопрос: когда и как эти тела способ-

ны себя проявлять? Таким образом, дальнейшее всестороннее исследование ядер галактик представляется весьма актуальным. В том числе достаточно интересные результаты, вероятно, можно получить и из их поляриметрического исследования.

Поляриметрические наблюдения ядерных областей галактик на Бюраканской астрофизической станции Ленинградского университета были начаты в 1964 г. в ходе выполнения обширной программы поляриметрического исследования внегалактических объектов. Здесь сообщаются результаты фотозлектрических измерений поляризации излучения самых различных ядер в 15 галактиках разных типов и ориентаций. Все наблюдения были проведены с электрополяриметром Астрономической обсерватории Ленинградского университета, установленном на 20" рефлекторе (Описание аппаратуры содержится в работе [1]). В качестве анализатора в поляриметре использовался либо поляроид, либо поляризационная призма Франка — Риттера. Приемником излучения первоначально служил фотоумножитель с сурьмяно-цезиевым катодом (при этом $\lambda_{\text{эф}}$ аппаратуры для излучения с цветовой температурой 6000° равнялась $\approx 0.49 \mu$). В 1967 году он был заменен фотоумножителем с мультищелочным катодом (в этом случае $\lambda_{\text{эф}}$ для того же излучения составляла $\approx 0.53 \mu$). Большинство наблюдений было выполнено без фильтра, но некоторая их часть сделана с фильтрами, осуществляющими фотометрическую систему U, B, V, R , и с фильтрами ЖС—18 и СЗС—22, выделяющими соответственно длинноволновую и коротковолновую области спектра. Обычно использовалась диафрагма поля диаметром 26" и лишь в отдельных случаях применялись диафрагмы диаметром 13" или 52".

Методика наблюдений была обычной, принятой в Астрономической обсерватории Ленинградского университета. Наблюдения состояли из многократного сравнения показаний регистрирующего прибора при исходном положении анализатора и положении, отличающемся от исходного на 90°. При этом в течение одного цикла наблюдений исходное положение анализатора менялось ступеньками через 20° внутри интервала позиционных углов 180°. Каждое наблюдение ядерной области галактики сопровождалось столь же тщательным измерением фона неба в непосредственных окрестностях галактики. Отсчеты на небо вычитались из соответствующих отсчетов на галактику. Для исключения инструментальных эффектов регулярно наблюдались звезды с малой поляризацией из списка К. Серковского [2]. Найденная из этих наблюдений инструментальная кривая исключалась из всех наблюдаемых поляризационных кривых галактик. Параметры поляризации p и θ_0 выводились из этих последних кривых графическим путем. Точность вывода параметров поляризации определялась многими причинами и,

естественно, зависела от яркости измеряемых объектов. В тех случаях, когда поток излучения, выделяемый диафрагмой поляриметра, соответствовал звезде 12^m или был больше, p определялось с нормальной точностью порядка $\pm 0.2\%$. Но и для самых слабых из измеренных нами объектов ошибка в p не превосходила $\pm 0.5\%$.

В программу наблюдений были включены прежде всего ядерные области галактик местной системы, содержащие звездообразные ядра размером не более нескольких секунд дуги, иногда называемые „кернами“. Из ряда предшествующих наблюдений можно было сделать вывод об отсутствии в их излучении заметной поляризации. Однако недавно А. Эльвиус и Дж. Холл [3] неожиданно нашли, что излучение ядра галактики NGC 224 и ядер соседних с ней галактик местной системы поляризовано примерно на 0.8% . А. Эльвиус и Дж. Холл сочли поляризацию, найденную у этих галактик, межзвездной, возникающей при прохождении их излучения через нашу Галактику, однако вряд ли предложенное объяснение можно считать состоятельным. Одним из авторов статьи [4] лет десять тому назад была измерена поляризация ряда далеких звезд, лежащих примерно в направлении рассматриваемых галактик, и найдено, что она пренебрежимо мала ($p < 0.2\%$). В свете этого было сочтено полезным повторить наблюдения А. Эльвиус и Дж. Холла. Сводка проведенных наблюдений дана в табл. 1. В последовательных столбцах этой таблицы приведены: обозначения галактики, диаметр измеренной околоядерной области, примененный фильтр, выведенные параметры поляризации p и θ_0 , отношение потока излучения от измеряемой области галактики к потоку от неба; в примечаниях указан год, когда выполнены наблюдения.

Из таблицы видно, что поляризация излучения ядерных областей галактик NGC 205, 221, 224 мала — едва выходит за пределы ошибок наблюдений и может быть объяснена как межзвездная, возникающая в нашей Галактике. Подтверждение того, что найденная поляризация не связана с самими изучаемыми галактиками, можно усмотреть также в том, что она оказалась независимой от размера примененных диафрагм. Так как в измеренном потоке излучения от галактик NGC 221 и 224, особенно при использовании малой диафрагмы, излучение от „кernов“ составляет заметную долю измеряемого излучения, можно утверждать, что излучение самих „кernов“ если и поляризовано, то, во всяком случае, весьма незначительно.

Исключением является ядерная область галактики NGC 598. Для нее найдена поляризация около 1% . Это заметно превышает межзвездную поляризацию, встречающуюся на тех галактических широтах, где

расположена NGC 598. К сожалению, уверенные наблюдения поляризации удалось сделать лишь с диафрагмой одного размера и поэтому, основываясь на них, нельзя категорически утверждать, что найденная поляризация относится именно к излучению „керна“. Но если все же ее относить к „керну“, то, учитывая, что поток излучения „керна“ составляет во всяком случае не более $1/3$ потока, пропускаемого 26" диафрагмой, можно предполагать, что поляризация излучения „керна“ достигает $3 - 4\%$.

Таблица 1

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ГАЛАКТИК
МЕСТНОЙ СИСТЕМЫ

Галактика	Диафрагма	Фильтр	p	θ_0	$\frac{n_{гал.}}{n_{небн}}$	Примечания
NGC 205	52"	б/ф	0.3%	92°	18	1964 г.
	26	б/ф	< 0.2	—	...	1965
NGC 221 (M 32)	52	б/ф	0.3	82	> 30	1964
	52	б/ф	0.3	102	> 30	1964
	52	б/ф	0.4	102	17.3	1964 Луна
	13	б/ф	0.2	68	> 30	1966
NGC 224 (M 31)	26	V	0.2	138	> 40	1965
	26	B	0.2	128	> 40	1965
	13	б/ф	0.2	113	> 40	1965
	13	б/ф	0.2	95	> 40	1966
	13	б/ф	0.4	110	> 40	1966
NGC 598 (M 33)	52	б/ф	1.5:	105:	2.1	1965 нестабильная прозрачность
	26	б/ф	1.0	104	5.8	1967
	26	син. ф.	0.8	118	6.0	1967
	26	жел. ф.	0.9:	136:	4.8	1967 неуверенный учет фона

Обсуждая возможное происхождение найденной поляризации, мы обратили внимание на уже отмеченное рядом наблюдателей несоответствие спектрального типа и цвета для „керна“ в NGC 598. По М. Уокеру [5] „кern“ NGC 598 обладает цветовым избытком $E_{B-V} = 0^m 39 - 0^m 51$ и на двуцветной диаграмме попадает в область сильно покрасневших звезд В8. Это может свидетельствовать о наличии большого количества пыли в окрестностях „керна“. И действительно, на прямых снимках галактики NGC 598 в ее ядерной области наблюдается большое количество темных пылевых включений. В этом свете представ-

ляется естественным попытаться связать происхождение поляризации в излучении „керна“ NGC 598 с указанной пылевой материей, предположив действие того же механизма, который вызывает межзвездную поляризацию в нашей Галактике. Однако направление электрического вектора оказывается примерно перпендикулярным большой оси галактики и направлению ближайших к „керну“ темных волокон, а не параллельным им, как можно было ожидать по аналогии с нашей Галактикой. Таким образом, найденная поляризация скорее должна быть связана с излучением, рассеянным на пылевой материи, чем с прошедшим через нее.

В программу наблюдений были также включены ядра сейфертовских галактик. Известно, что некоторые из сейфертовских галактик одновременно являются радиогалактиками с нетепловым излучением, идущим из их ядерных областей. С другой стороны ядра сейфертовских галактик по ряду свойств напоминают квазары. Все это позволяет предположить присутствие в оптическом излучении ядер сейфертовских галактик синхротронного излучения, которое при известных условиях может быть сильно поляризованным.

После того, как мы уже начали выполнение программы поляризационных наблюдений ядер галактик, нам стало известно, что М. Уокер [6] обнаружил сильную поляризацию в излучении ядра сейфертовской галактики NGC 1068. Однако уже первые наши наблюдения не подтвердили большой поляризации, наблюденной М. Уокером. Вместе с тем, наши наблюдения некоторых других сейфертовских галактик снова оказались в противоречии с утверждением М. Уокера [7], а позже Э. А. Дибая и Н. М. Шаховского [8] об отсутствии в их излучении заметной поляризации. Все это и определило наше стремление охватить возможно более точными поляризационными наблюдениями ядра всех сейфертовских галактик. К настоящему времени из 8 сейфертовских галактик, входящих в окончательный список, нами изучено 7 галактик. Результаты наших наблюдений этих галактик приведены в табл. 2. Содержание столбцов в этой таблице такое же, как и в табл. 1.

Из табл. 2 видно, что выделенное нами с помощью различных диафрагм излучение ядерных областей 7 сейфертовских галактик в большинстве случаев оказалось в той или иной степени поляризованным.

NGC 1068. Излучение ядерной области несомненно поляризовано. Большая галактическая широта NGC 1068 не позволяет заподозрить сколько-нибудь существенный вклад межзвездной поляризации. Увеличение поляризации с уменьшением размера используемой в поляриметре диафрагмы может рассматриваться как доказательство связи поля-

Таблица 2

ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ОБЛАСТЕЙ
СЕЙФЕРТОВСКИХ ГАЛАКТИК

Галактика	Диафрагма	Фильтр	ρ	θ_0	$\frac{\mu_{\text{галактика}}}{\mu_{\text{неба}}}$		Примечания	
					$\mu_{\text{галактика}}$	$\mu_{\text{неба}}$		
NGC 1068 (M 77)	26"	б/ф	0.7 ⁰ / ₀	105 ²	24	1966		
	26	V	0.5	85	23	1966		
	26	B	0.8	85	26	1966		
	13	б/ф	1.3	98	65	1967		
NGC 1275	26	б/ф	2.5	143	2.8	1967		
	26	син. ф.	2.3	140	3.7	1967		
	26	жел. ф.	2.6:	130:	3.3	1667	неуверенный учет фона	
NGC 3227	13	б/ф	2.5	145	11	1967		
	26	б/ф	1.1:	160:	3.0	1967	низко над горизонтом	
	26	б/ф	1.3:	130:	2.2	1967	"	
NGC 3516	26	б/ф	1.0:	153:	2.0	1967	"	
	26	б/ф	<0.2	94	5.0	1967		
	26	б/ф	<0.2	4	3.6	1967		
NGC 4051	26	б/ф	0.4	50	3.6	1967		
	26	б/ф	0.5	45	3.3	1967		
NGC 4151	52	U	1.3:	100:	3.2	1966	низко над горизонтом	
	26	б/ф	1.6	100	20	1966		
	26	б/ф	1.6	96	18	1966		
	26	б/ф	1.2	93	19	1967		
	26	б/ф	1.3	94	21	1967		
	26	B	1.7	93	24	1966		
	26	B	1.6	93	18	1966		
	26	V	1.5	93	15	1966		
	26	V	1.5	89	13	1966		
	26	R	0.8	89	8.3	1967		
	26	R	0.8	99	13	1967		
	NGC 7469	26	б/ф	0.5	162	3.5	1967	
		26	жел. ф.	0.3:	170:	3.2	1967	нестабильная прозрачность
		26	жел. ф.	0.8	161	2.6	1967	
		26	син. ф.	0.7:	5:	4.4	1967	нестабильная прозрачность
26		син. ф.	0.8	177	2.6	1967		
13		б/ф	0.8	5	7.8	1967		

ризации с излучением именно ядерных формаций этой галактики. Собственно ядро в галактике NGC 1068 имеет размер не более $5''$. Кроме того, Б. А. Воронцов-Вельяминов [9] различает в ней „линзу“ диаметром около $12''$. При этом излучение собственно ядра составляет величину порядка $1/2 - 1/3$ от общего излучения ядерной области, считая ее размер по границе линзы. Размер нашей малой диафрагмы почти точно соответствовал размеру „линзы“, и тогда, связывая наблюдаемую поляризацию только с излучением ядра, найденное ее значение следует соответственно увеличить, т. е. поляризация ядра должна быть принята равной примерно 3% . Из табл. 2 видно, что поляризация возрастает с уменьшением длины волны. Найденная нами поляризация хорошо согласуется с поляризацией, выведенной Э. А. Дибеем и Н. М. Шаховским [8] и, вместе с тем, степень поляризации оказывается заметно меньшей, чем сообщенная М. Уокером [6, 7], хотя его измерения сделаны лишь с немного меньшей, чем у нас, диафрагмой.

NGC 1275. Излучение ядерной области этой галактики найдено поляризованным примерно на 2.5% . Наиболее яркие центральные части галактики при наблюдениях полностью перекрывались $13''$ диафрагмой. Поэтому переход от диафрагмы размером $26''$ к диафрагме размером $13''$ почти не приводил к изменению потока собираемого излучения и его поляризация, естественно, также оставалась неизменной. В выделяемом с помощью указанных диафрагм потоке излучения излучение собственно ядра составляет, по-видимому, около $1/3$.

Близость NGC 1275 к галактической плоскости требует рассмотреть возможное влияние межзвездной поляризации. На рис. 1 представлена карта распределения межзвездной поляризации для области NGC 1275, составленная на основании сводного каталога Дж. Холла [10] с привлечением для звезд, далеких от галактического экватора, данных А. Беера [11]. Из рисунка видно, что в направлении NGC 1275 можно ожидать межзвездную поляризацию порядка 1% при позиционном угле около 140° . Для подтверждения этого заключения была измерена поляризация двух слабых галактик, расположенных в непосредственной близости к NGC 1275, на угловом расстоянии от нее всего лишь несколько минут. Эти измерения приведены в табл. 3. Одновременно они представлены графически вместе с данными о звездах на рис. 1.

Приведенные данные для галактик полностью подтверждают существование заметной межзвездной поляризации в направлении NGC 1275 и позволяют принять для нее значение $p = 1.1\%$ при $\theta_0 = 143^\circ$. Конечно, почти точное совпадение позиционного угла электрического

вектора, найденное для излучения галактики NGC 1275 и выведенное для межзвездной поляризации в ее направлении, представляется удивительным. Однако нам кажется, что полученная для NGC 1275 довольно значительная величина поляризации, явно превышающая ожидаемую межзвездную, не позволяет всю найденную поляризацию считать имеющей только межзвездное происхождение. Поэтому из наблюдаемой для NGC 1275 поляризации была вычтена поляризация в 1.1% и, соответственно, было принято, что собственная поляризация излучения ядерной области NGC 1275 составляет 1.3% при $\theta_0 = 143^\circ$ без существенной ее зависимости от длины волны.

Таблица 3

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГАЛАКТИК, СОСЕДНИХ С NGC 1275

Галактика	Диафрагма	Фильтр	p	θ_0	$\frac{n_{га.1}}{n_{неба}}$
1277	26	б/ф	1.3%	135°	0.9
1278	26	б/ф	1.0	151	1.5

Поляризация, найденная для NGC 1275 до введения в нее коррекции за межзвездную поляризацию (которая, кстати говоря, другими исследователями не вводилась), по величине хорошо согласуется с найденной Э. А. Дибеем и Н. М. Шаховским, но полученный нами позиционный угол отличается от угла, определенного ими, примерно на 40° .

NGC 3227. Излучение ядерной области этой галактики найдено поляризованным примерно на 1%. К сожалению, результаты не очень уверенны из-за низкого положения галактики над горизонтом в период наблюдений. В потоке излучения ядерной области галактики, выделявшемся нашей 26" диафрагмой, излучение ядра составляет основную его часть.

NGC 3516. При нашей точности наблюдений ($\approx 0.2\%$) поляризацию излучения ядерной области нам обнаружить не удалось. По каталогу Б. А. Воронцова-Вельяминова [9] в центральной части этой галактики находится „балдж“ диаметром 14". В потоке излучения, выделявшемся 26" диафрагмой, его излучение является основным.

NGC 4051. Для этой галактики найденная поляризация лишь незначительно превосходит ошибки наблюдений. Но, тем не менее, удовлетворительное согласие двух независимых оценок позволяет думать, что найденная поляризация реальна. Излучение ядра в потоке излучения галактики, выделявшемся 26" диафрагмой, составляет около половины

NGC 4151. Излучение ядерной области этой галактики по нашим наблюдениям оказывается несомненно поляризованным. Это утверждение находится в очевидном противоречии с заключениями М. Уокера [7] и Э. А. Дибая и Н. М. Шаховского [8], которые не нашли у нее заметной поляризации. Однако хорошая сходимость наших отдельных

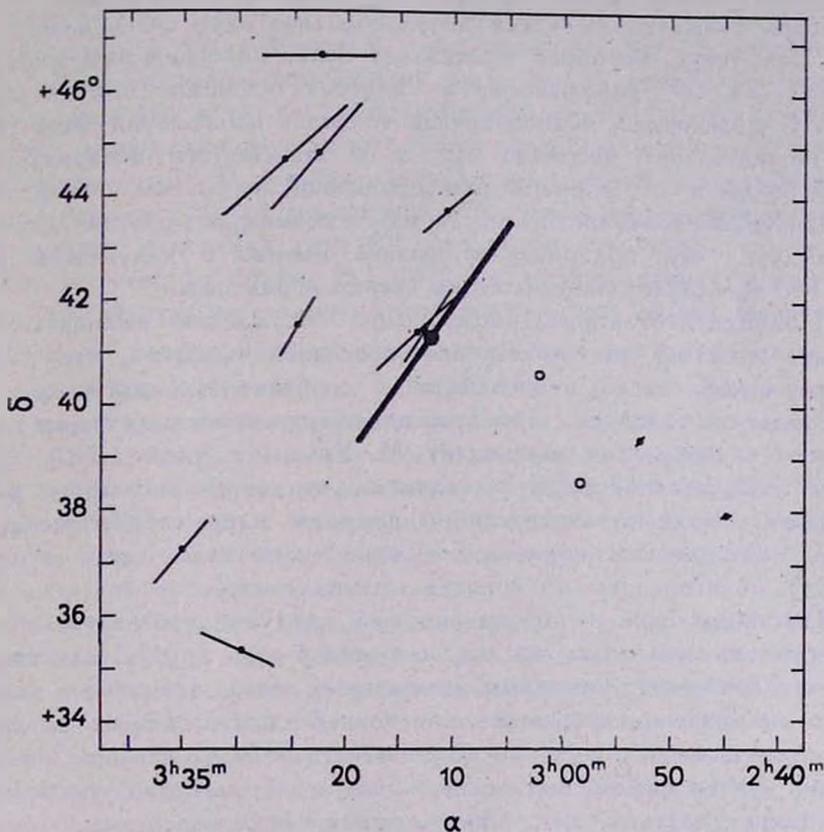


Рис. 1.

определений поляризации, выполненных к тому же в течение двух различных наблюдательных сезонов, дает нам право настаивать на справедливости нашего заключения. Б. А. Воронцов-Вельяминов [9] определяет размер ядра в *NGC 4151* в $18''$. Ядру в этом понимании принадлежит большая часть излучения всей галактики и его излучение практически полностью определяет поток излучения, выделявшийся нами у галактики *NGC 4151* с $26''$ диафрагмой. Сильная концентрация яркости к центру галактики дает основание говорить еще о звездобразном ядре, размер которого Л. Вольтер [2] оценивает не бо-

лее 2.4. Излучение этого ядра составляет примерно половину излучения, выделявшегося нашей 26" диафрагмой.

NGC 7469. Излучение ядерной области этой галактики нами также найдено поляризованным, хотя ни М. Уокер, ни Э. А. Дибай и Н. М. Шаховской [8] не нашли у нее заметной поляризации. В этой галактике также наблюдается звездообразное ядро очень малого размера, излучение которого составляет более половины излучения, выделявшегося 26" диафрагмой, и является основным при диафрагме в 13". К сожалению, недостаточная точность наблюдений этой галактики не позволяет уверенно судить о зависимости поляризации от длины волны и от размера использованной диафрагмы. Из-за этого последнего обстоятельства мы не имеем возможности безапелляционно утверждать, что поляризация связана именно с излучением ядра, хотя это предположение является весьма вероятным.

Подводя итог проведенному выше обсуждению наблюдательных данных, кажется, мы имеем все основания признать, что поляризация является часто встречающейся особенностью излучения ядер сейфертовских галактик. При этом поляризация наблюдается не только у радиогалактик, как утверждает М. Уокер, а также Э. А. Дибай и Н. М. Шаховский, но и у галактик, не дающих заметного радиозлучения. Сходство между собой природы ядер сейфертовских галактик естественно порождает желание попытаться найти и общую причину, объясняющую поляризацию их излучения.

Из наблюдений с несомненностью следует, что излучение ядер сейфертовских галактик, так же, как и ядер всех других галактик, является в основном суммарным излучением звезд, на которое наложен более или менее интенсивный эмиссионный спектр. Ни то, ни другое излучение само по себе не должно быть поляризованным. Но поляризация в него может быть внесена пылевой материей, расположенной в окрестностях ядра, либо механизмом, аналогичным вызывающему межзвездную поляризацию в нашей Галактике, либо благодаря значительному вкладу излучения, рассеянного на асимметрично расположенных пылевых облаках. Однако на прямых фотографиях сейфертовских галактик не видно полос темной материи, экранирующей их ядра. Распределение энергии в непрерывном спектре ядер в общем соответствует их спектральным классам [13] и даже иногда наблюдается избыток коротковолнового излучения [7]. Правда, бальмеровский декремент ядерной эмиссии в ряде случаев оказывается более крутым, чем у галактических туманностей [13—15], но еще нельзя утверждать, что это несоответствие должно быть обязательно связано с наличием в районе ядер пыли [15].

Присутствие в ядрах сейфертовских галактик сильно ионизованного газа вынуждает нас рассмотреть также возможность возникновения поляризации из-за рассеяния ядерного излучения на свободных электронах. Используя значения электронной плотности и эффективных размеров подсистем газа в ядрах сейфертовских галактик, например из работы [13], мы можем легко оценить возможное количество рассеянного света. В случае, если плотная подсистема газа с $n_e \approx 10^6 - 10^7 \text{ см}^{-3}$ и с $V_{\text{eff}} \approx 10^{51} \text{ см}^3$ занимала бы геометрический объем, непосредственно окружающий очень малый центральный источник излучения (то есть газ находился бы внутри сферы радиусом $\approx 0.1 \text{ пс}$), количество рассеянного света могло бы достичь нескольких десятков процентов. В действительности же размеры ядер сейфертовских галактик составляют, по крайней мере, несколько десятков парсек, и нет никаких оснований считать, что облака плотного газа не разбросаны по всему их объему [12, 16]. Тогда приведенная оценка возможного количества рассеянного света должна быть весьма значительно уменьшена. С разреженной же подсистемой газа при $n_e \approx 10^3 \text{ см}^{-3}$ и V_{eff} , равным даже 10^{59} см^3 , как у NGC 1068, должно быть связано еще меньшее количество рассеянного света. Кроме того, весь этот рассеянный свет в целом может быть заметно поляризован лишь при весьма асимметричном распределении электронов относительно звезд. Все это приводит нас к заключению, что рассеяние света на электронах не может быть источником поляризации, наблюдаемой в излучении ядер сейфертовских галактик.

Остается обсудить еще одну возможность возникновения поляризации в излучении ядер сейфертовских галактик — наложение на их обычное неполяризованное излучение сильно поляризованного излучения особой природы. Представляется естественной попытка допустить, что этим излучением является синхротронное излучение, присутствие которого в радиодиапазоне можно считать наблюдательным фактом. Однако связь поляризации, наблюдаемой в оптическом диапазоне, с синхротронным излучением, относящимся к радиодиапазону, еще далеко не очевидна.

Галактика NGC 1275 является сильным источником радиоизлучения 3С 84 со сложным спектром. Согласно В. Денту [17], он состоит, по крайней мере, из трех компонент, причем компоненты, обозначенные им как „В“ и „С“, имеют очень малые размеры и локализованы в ядре. Поток излучения от ядра NGC 1275 в оптическом диапазоне может быть принят равным $3-4 \times 10^{-28} \text{ вт/м}^2 \text{ц}$. Продолжая радиоизлучение от компонент В и С на оптический диапазон, получаем, даже допуская, что где-то в далекой инфракрасной области имеется

излом в спектре, что оно способно обеспечить заметную долю синхротронного излучения в наблюдаемом оптическом излучении.

На рис. 2 представлено изменение параметров поляризации p и θ_0 для ЗС 84 в зависимости от квадрата длины волны на основании всех известных нам измерений. Пунктирной линией показано ожидаемое изменение θ_0 с λ^2 из-за фарадеевского вращения в нашей Галактике. Оно вычислено для коэффициента вращения — 130 рад/м^2 , снятого с карты из работы Ф. Гарднера и Р. Дейвиса [18]. Невозможность представить изменение поляризации одной прямой может рассматриваться как дополнительное свидетельство сложного, многокомпонентного строения источника ЗС 84.

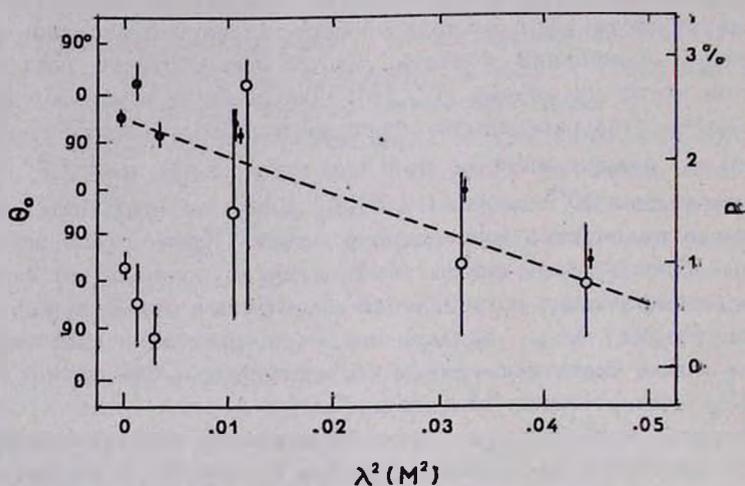


Рис. 2.

Галактика NGC 1068 также является источником радиоизлучения ЗС 71, который локализован в ядре галактики. На рис. 3 построен спектр ЗС 71 по данным „Общего каталога дискретных радиоисточников“ [19]. На этом же рисунке нанесены потоки излучения ядра в оптическом и инфракрасном диапазонах по измерениям А. Пахольчика и В. Вишневого [20]. Из рисунка видно, что известное сейчас радиоизлучение ЗС 71, будучи проэкстраполировано на оптический диапазон, не способно (особенно учитывая вероятный излом спектра) обеспечить заметный вклад синхротронного излучения в наблюдаемое оптическое излучение и, следовательно, оно не может объяснить наблюдаемую поляризацию. Но если все же принять, что наблюдаемая поляризация должна быть связана с синхротронным излучением, то следует допустить существование в источнике ЗС 71

компонента коротковолнового излучения, не проявляющего себя в области длинных и средних радиоволн, подобного компоненту „С“ в источнике 3С 84. К такому же выводу о существовании компонента высокочастотного излучения в источнике 3С 71 мы приходим и из анализа данных об оптическом и инфракрасном излучении ядра галактики NGC 1068. А. Пахольчик и В. Вишневский разделили это излучение на обычное для ядер галактик и „квazarное“. Последнее на рис. 3 изображено открытыми кружками. Несмотря на некоторую произвольность выполненного разделения, наличие в ядре галактики NGC 1068 излучения „квazarного“ типа не вызывает сомнений. Синхротронная природа этого излучения в инфракрасной области кажется достаточно очевидной. Однако это излучение явно не продолжает синхротронное излучение источника 3С 71 в области длинных и средних радиоволн и его объяснение снова вынуждает нас признать существование в источнике 3С 71 компонента высокочастотного излучения, которое пока еще не удалось наблюдать.

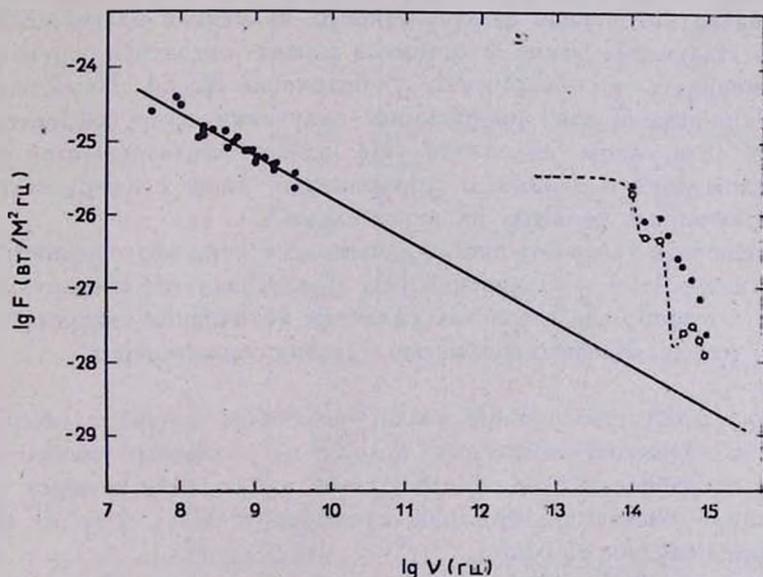


Рис. 3.

Если считать, что такое объяснение поляризации является общим для ядер всех сейфертовских галактик, то становится понятным, что у некоторых галактик, как например у NGC 4151, наблюдается заметная поляризация в оптическом диапазоне и не зарегистрировано сколько-нибудь значительного радиоизлучения в области $\nu < 10^{10}$ гц. Предложенное объяснение может быть подтверж-

дено или отвергнуто после получения для галактик NGC 4151, NGC 7469 и других сейфертовских галактик наблюдательных данных, относящихся к самым высоким частотам радиодиапазона и к инфракрасной области.

Если поляризацию связывать с синхротронным излучением, то зависимость наблюдаемой поляризации от длины волны естественно объясняется различным соотношением звездного и синхротронного излучения в разных участках спектра. Уменьшение поляризации, найденное для галактики NGC 4151 в цвет R по сравнению с измерениями в других цветах, непринужденно может быть объяснено значительным вкладом в ее излучение, выделяемое полосой R , эмиссии H_α , которая, естественно, должна быть не поляризована. Таким образом, из этих наблюдений мы можем заключить, что поляризованным является лишь излучение с непрерывным спектром. Но именно это и должно быть, если за поляризацию ответственно синхротронное излучение.

Предложенное объяснение поляризации связано с признанием существования источников синхротронного излучения малых линейных размеров. Излучение таких источников может оказаться переменным. Эта переменность и обнаружена у источника 3С 84. Тогда следует ожидать и переменности поляризации излучения ядер сейфертовских галактик в оптическом диапазоне. Не в этом ли заключается объяснение расхождений в данных о поляризации ядер сейфертовских галактик, полученных разными наблюдателями?

В заключение считаем необходимым отметить, что еще несколько лет тому назад И. С. Шкловский [21] предсказал возможность существования в ядрах сейфертовских галактик источников синхротронного излучения малых линейных размеров— „невидимых квазаров“.

В программу наблюдений были включены ядерные области и ряда других галактик, выбранных исходя из различных соображений. В настоящей работе в табл. 4 приводятся наблюдения четырех галактик из этого списка. Содержание столбцов в табл. 4 то же самое, что и в предыдущих таблицах.

Галактика NGC 4258 была включена в программу наблюдений из-за своего сходства с сейфертовскими галактиками (она содержится в первоначальном списке этих галактик, опубликованном Сейфертом [13]). Поток излучения, выделявшийся нашей 26" диафрагмой, почти целиком относится к „линзе“, и излучение центрального резкого ядра составляет в нем не более $1/3$. Найденная поляризация очень мала— едва выходит за пределы ошибок наблюдений.

NGC 5194 была включена в программу наблюдений из-за того, что старые наблюдения одного из авторов этой работы показали присутствие ощутимой поляризации в излучении ядерной области. Как видно из табл. 4, никакой поляризации в излучении ядерной области галактики NGC 5194 не обнаружено. Излучение ядра доминирует в потоке излучения, выделявшемся 13" диафрагмой.

Таблица 4
ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ГАЛАКТИК
NGC 4258, 5194, 7331 и 7814

Галактика	Диафрагма	Фильтр	p	θ_0	$\frac{n_{\text{гал}}}{n_{\text{неб}}}$	Примечание
NGC 4258	26	6/ф	0.3%:	40°:	15	1966
	26	6/ф	0.3	160	15	1966
	26	6/ф	0.3	155	13	1966
NGC 5194	52	6/ф	0.0	—	8.5	1966
	52	6/ф	0.2	120	6.1	1966
	52	V	0.3	10	7.8	1966
	26	6/ф	0.6	26	16	1966
	26	6/ф	0.0	—	17	1967
	26	6/ф	0.0	—	18	1967
	13	6/ф	0.2	105	22	1967
NGC 7331	26	6/ф	1.1	70	18	1966
	26	6/ф	1.1	65	18.3	1967
	26	V	0.9	60	18.5	1966
	26	V	0.9:	87:	11.3	1967 неустойчивая прозрачность
	26	V	0.9	50	15.2	1967
	26	B	0.7	45	11	1967
	26	B	0.8	55	10	1967
NGC 7814	52	6/ф	1.9	120	2.5	1966
	26	6/ф	2.6	127	4	1967

NGC 7331. Наши измерения с 26" диафрагмой по существу относятся к излучению „балджа“. Внутри „балджа“ заметно диффузное ядро, излучение которого составляет примерно 1/10 излучения „балджа“. Галактика богата темной пылевой материей. Направление найденной поляризации довольно близко к малой оси галактики, что может служить указанием на связь поляризации в основном с излучением, рассеянным на пыли. Вместе с тем, оно примерно совпадает с направлением поляризации, найденной раньше А. Эльвиус [22] для ряда

участков яркой стороны ядерной области этой галактики и объясненной ею рассеянием света на вытянутых частицах.

NGC 7814. Эта галактика наблюдается с ребра. Ядро пересекается хорошо заметной полосой темной материи. Наблюденная поляризация имеет электрический вектор, примерно параллельный этой полосе, и может быть объяснена как возникающая при прохождении света через слой пылевой материи, состоящей из вытянутых и единообразно ориентированных частиц.

Ленинградский государственный
университет

A POLARIMETRIC STUDY OF GALACTIC NUCLEI

V. A. DOMBROVSKY, V. A. HAGEN-THORN

Tables 1, 2 and 4 give the results of photoelectric polarization measurements of nuclear region radiation of 15 galaxies. For 6 Seyfert galaxies NGC 1068, 1275, 3227, 4051, 4151 and 7469 nuclear radiation proved to be appreciably polarized. The polarization found is explained by synchrotronic radiation overlapping the usual stellar radiation. The synchrotronic radiation comes from the small size sources, which are inactive in the radiorange usually used. The polarization of nuclear region radiation of galaxies NGC 598, 7331, 7814 is likely to be associated with light scattering over dust matter.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Домбровский, В. А. Гаген-Торн и др., Труды Астрон. обс. Ленинградского ун-та, 22, 83, 1965.
2. K. Serkowski, Lowell Obs. Bull., 4, 318, 1960.
3. A. Elvius, J. S. Hall, Lowell Obs. Bull., 6, 123, 1964.
4. В. А. Домбровский, Диссертация, Л., 1960.
5. M. F. Walker, A. J., 69, 744, 1964.
6. M. F. Walker, A. J., 69, 684, 1964.
7. M. F. Walker, Симпозиум МАС № 29, Бюракан, 1968.
8. Э. А. Дубай, Н. М. Шахсвской, Астрон. дирк., № 375, 1966.
9. Б. А. Воронцов-Вельямисов, Астрон. ж., 42, 1168, 1965.
10. J. S. Hall, Publ. U. S. Naval Obs., 17, p. 6, 275, 1958.
11. A. Beer, Veroff. Gottingen, N 126, 1959.
12. L. Woltjer, Ap. J., 138, 38, 1959.
13. C. K. Seyfert, Ap. J., 97, 28, 1943.
14. Э. А. Дубай, В. И. Прсник, Астрон. ж., 44, 952, 1967.
15. D. E. Osterbrock, R. A. R. Parker, Ap. J., 141, 892, 1965.

16. *E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, K. H. Prendergast*, *Ap. J.*, 137, 1022, 1963.
17. *W. Dent*, *Ap. J.*, 144, 843, 1966.
18. *F. F. Gardner, R. D. Davies*, *Australian J. of Physics*, 19, 129, 1966.
19. *W. Howard, S. Maran*, *Ap. J., Supplement*, X, 1, 1965.
20. *A. C. Pacholczyk, W. Z. Wisniewski*, *Ap. J.*, 147, 394, 1967.
21. *И. С. Шкловский*, *Астрон. ж.*, 42, 893, 1965.
22. *A. Elvius*, *Stockholms Obs. Ann.*, 19, No. 1, 1956.