

УДК 523.4:520.85

Спектрополяриметрия планет.

II. Юпитер

А. Л. Гуральчук, В. А. Кучеров, А. В. Мороженко

Приведены предварительные результаты изучения поляризационных свойств света Юпитера в молекулярных полосах поглощения. Показано, что для центра диска, а также для всего диска Юпитера при $\alpha=11.1^\circ$ практически для всех полос поглощения в интервале длин волн 0.60—0.75 мкм наблюдается увеличение степени поляризации. Для всего диска планеты при $\alpha=5.1^\circ$, когда поляризация положительна, степень поляризации в молекулярных полосах уменьшается. Кроме того, для всего диска Юпитера обнаружено изменение положения плоскости поляризации, достигающее 45° , с длиной волны или в полосах поглощения. Высказано предположение, что причиной этого является вертикальная и горизонтальная неоднородность диска Юпитера.

THE SPECTROPOLARIMETRY OF PLANETS. II. JUPITER, by Gural'chuk A. L., Kucherov V. A., Morozhenko A. V.—The preliminary results of studying the polarization properties of Jupiter's light in molecular absorption bands are given. An increase of polarization degree is observed for the centre of Jupiter's disk as well as for the whole disk when $\alpha=11.1^\circ$ for almost all absorption bands in the spectral range 0.60—0.75 μm . In the case of positive polarization, when $\alpha=5.2^\circ$, the polarization degree in molecular bands decreases for the whole disk. Furthermore, the wavelength variations (or variations in absorption bands) of polarization angle (up to 45°) are detected for the whole disk. It is suggested that the above changes may be attributed to vertical and horizontal inhomogeneity of Jupiter's disk.

Введение. Первые работы по спектрополяриметрии полос поглощения всего диска Юпитера проведены в 1978 [8] и 1980 гг. [7]. В течение четырех ночей между 22 и 27 января 1978 г. (фазовый угол $\alpha \approx 7^\circ$) Волстенкрофт и Смит [8] на 1-м рефлекторе Аризонского университета измеряли спектральное распределение поляризации в интервале длин волн 0.68—0.82 мкм с разрешением 2.2 и 3.5 нм. Для всех четырех ночей получено, что в полосе поглощения метана λ 0.727 мкм степень линейной поляризации примерно на 0.14 % больше, чем в непрерывном спектре. Круговая поляризация не превышала 0.02 %. По мнению авторов [8], существует слабая зависимость степени круговой поляризации от длины волны вдоль профиля полосы.

22/23 и 24/25 апреля 1980 г. ($\alpha=9.8^\circ$) Смит и Волстенкрофт [7] повторили спектрополяриметрическое исследование всего диска Юпитера на 60-см рефлекторе Гавайского университета. Измерялись области спектра 0.595—0.652 и 0.715—0.745 мкм со спектральным разрешением 4.0 нм. Они получили, что в центре полосы поглощения λ 0.727 мкм степень линейной поляризации на 0.22 % больше, чем в непрерывном спектре. Заметны также слабые вариации в положении плоскости поляризации. Для полосы поглощения метана λ 0.619 мкм измерялась только круговая поляризация, но никаких ее вариаций не обнаружено. В пределах полосы поглощения аммиака λ 0.645 мкм также не замечено никаких изменений в линейной и круговой поляризации.

Итак, эти первые пробные измерения показали, что спектрополяриметрия планет в полосах поглощения может дать дополнительную информацию о физических свойствах атмосфер планет. В данной статье приведены наши измерения зависимости поляризации от длины волны.

Наблюдения. Проводились в июле и сентябре 1984 г. в 7.5-м фокусе Кассегрена 60-см рефлектора ИКИ АН СССР, установленного на Симеизской наблюдательной станции Астрономического совета АН СССР. Для измерений использовался специально сконструированный спектрополяриметр [1—4], позволяющий одновременно измерять все четыре параметра Стокса (I, Q, U, V) светового потока. Измерялись весь диск и его центральная область, вырезаемая диафрагмой размером около $14''$ в спектральном интервале $0.42\text{--}0.75$ мкм. Помимо Юпитера в каждую ночь измерялись звезда α Луг, а в июле — еще Луна и Марс. Наблюдения α Луг, свет которой считается практически неполяризованным, позволяли исследовать инструментальную поляризацию системы телескопа — спектрополяриметр, а наблюдения Луны и Марса использовались для привязки положения плоскости поляризации. Измерения проводились с накоплением $9 \cdot 10^6$ импульсов в канале интенсивности (I). Учитывая специфику работы данного прибора, в котором в качестве модулятора используется 127° ахроматическая фазосдвигающая пластинка [4], такое накопление обеспечивало среднюю квадратичную погрешность единичного измерения 0.053% по каналам Q, U и V .

Характеристики наблюдений

Объект	Номер	Период	$\lambda, \text{мкм}$	N	$\Delta\lambda, \text{нм}$	$\Delta\lambda_1, \text{нм}$	D	α	d
α Луг	1	13.07—26.07	0.415—0.753	12	10	10	27.5*		
	2	23.09—01.10	0.413—0.746	9	10	10	27.5		
Юпитер, весь диск	1	16.07—20.07	0.422—0.713	5	10	5	82.5	4.0°	$43.3''$
			0.713—0.753	6	2.5	5	82.5	4.0	43.3
	2	23.07—26.07	0.422—0.713	8	10	5	82.5	5.1	42.9
			0.713—0.753	8	2.5	5	82.5	5.1	42.9
3	23.09—01.10	0.413—0.576	4	10	5	82.5	11.1	36.0	
		0.576—0.746	6	2.5	5	82.5	11.1	36.0	
Юпитер, центр	1	23.07—26.07	0.422—0.742	7	15	10	13.7	5.0	42.9
			0.461—0.576	1	20	10	13.7	11.1	36.0
	2	27.09—30.09	0.576—0.746	2	5	5	13.7	11.1	36.0

Примечание. N — число усредненных сканов; $\Delta\lambda$ — шаг сканирования; $\Delta\lambda_1$ — спектральное разрешение; D — диаметр фокальной диафрагмы; α — фазовый угол; d — видимый (поляризованный) диаметр диска Юпитера.

При измерении центра диска Юпитера световой поток был в несколько раз меньше, чем для всего диска. Поэтому, чтобы не снижать точность измерений, приходилось ухудшать спектральное разрешение, а чтобы сократить время наблюдений — увеличивать шаг сканирования. Длина волны начала сканирования выбиралась с таким расчетом, чтобы при прохождении полосы поглощения метана λ 0.727 мкм выходная щель по возможности точнее вырезала ее центральную область. Характеристики наблюдений звезды и Юпитера приведены в таблице.

Инструментальная поляризация. Анализ всех сканов звезды α Луг показал, что в течение двух периодов наблюдений не зарегистрировано какого-либо систематического различия в измеренных значениях параметров q_n, u_n и v_n . Последнее позволило усреднить все измерения этих периодов. Зависимость усредненных значений параметров q_n и u_n от длины волны приведена на рис. 1. Средняя квадратичная ошибка единичного измерения оказалась равной 0.084% , т. е. примерно в 1.6 раза больше ожидаемой погрешности (0.053%). В усредненных сканах точность измерений составляет $0.02\text{--}0.04\%$.

В июле значение параметра q_n не превышало 0.1% , а параметра u_n — 0.05% (рис. 1). В сентябре параметры q_n и u_n увеличились при-

мерно в два раза, а параметр q_n изменил знак. Это довольно большое изменение степени инструментальной поляризации, по нашему мнению, характеризует не реальное изменение инструментальной поляризации телескопа, а отражает изменения приборной поляризации спектрополяриметра. По-видимому, это связано со следующим.

В июле юстировка спектрополяриметра проводилась непосредственно на телескопе. В сентябре была проведена переюстировка в лабораторных условиях. Не исключено, что при этом могли возникнуть незначительные различия в положениях оптических осей телескопа и спектрополяриметра или непараллельность этих осей. В дальнейшем этот вопрос предполагается тщательно изучить.

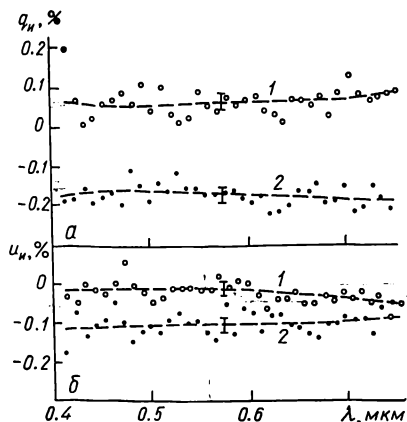


Рис. 1. Усредненные спектральные значения параметров q_n (а) и u_n (б) системы телескоп — спектрополяриметр по наблюдениям в июле (1) и сентябре (2) 1984 г. Вертикальные линии — ошибки наблюдений, штриховые — сглаженные значения q_n и u_n

Измерения звезды α Луг показывают очень большую инструментальную круговую поляризацию, степень которой примерно в два раза больше линейной. Так как причины ее возникновения пока не понятны, то имеющиеся измерения параметра v_n не вызывают доверия и приводить их не будем.

Линейная поляризация всего диска Юпитера. В июльский период наблюдения фазовый угол Юпитера изменялся от 3.5° до 5.3° . Поэтому при обработке наблюдений этого периода данные наблюдений были разбиты на две группы, базирующиеся вокруг $\alpha=4.0^\circ$ и 5.1° соответственно (16/17—20/21 июля и 23/24—26/27 июля). Наблюдения сентябрьского периода, когда фазовый угол оставался практически постоянным, составляют третью группу. Все измерения внутри каждой из трех групп усреднены, что позволило уменьшить среднюю квадратичную ошибку до $0.02 \div 0.04 \%$. Значения параметров q и u для всего диска Юпитера приведены на рис. 2.

На рисунке видно, что величина линейной поляризации определяется в основном параметром q . При $\alpha=11.1^\circ$ практически во всех полосах поглощения параметр q больше, чем в непрерывном спектре. При $\alpha=5.1^\circ$ и 4.0° знак параметра q изменился на противоположный, а в молекулярных полосах поглощения его величина уменьшилась по сравнению с непрерывным спектром. Представляет интерес поведение параметра q в области полосы поглощения метана λ 0.727 мкм. По мере уменьшения фазового угла длина волны, при которой происходит наибольшее изменение параметра q , смещается в длинноволновую область спектра и не совпадает с центром полосы поглощения метана λ 0.727 мкм.

После учета инструментальной поляризации вычислены степень поляризации и положение ее плоскости (рис. 3). Как уже отмечалось, в июле наблюдались Луна и Марс, служившие стандартом для привязки плоскости поляризации. В сентябре такие измерения не проводились. Поэтому для центра диска, исходя из имеющихся более ранних наблюдений [5, 6], мы априори приписали поляризации знак «минус», а положение плоскости поляризации света всего диска Юпитера определяли по измерениям для центра диска.

На рис. 3, а видно, что при $\alpha=4.0^\circ$ плоскость поляризации в коротковолновой области спектра ($\lambda < 0.62$ мкм) составляет с плоскостью

рассеяния угол 90° , т. е. поляризация положительна. Для $\lambda > 0.62$ мкм плоскость поляризации практически скачком повернулась примерно на $10 \div 20^\circ$. Из-за довольно больших ошибок в определении положения плоскости поляризации нельзя говорить о каких-либо вариациях положения плоскости поляризации в молекулярных полосах поглощения. Наблюдающийся разброс находится в пределах ошибок измерений. При $\alpha = 5.1^\circ$ поляризация положительна в области спектра $\lambda \leq 0.72$ мкм. В окрестностях длины волны 0.732 мкм наблюдается резкий поворот

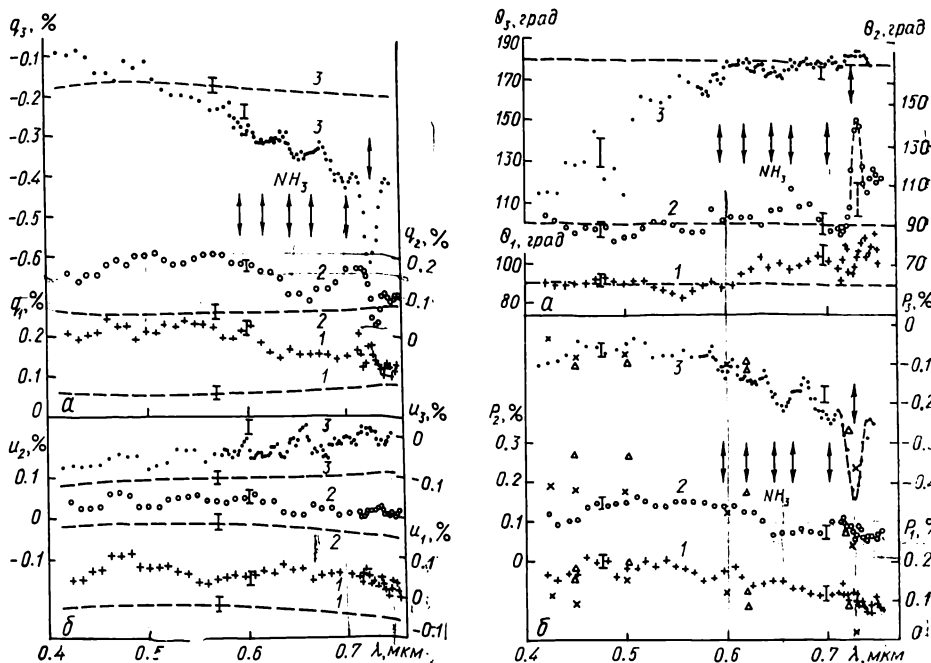


Рис. 2. Усредненные спектральные значения несправленных за инструментальную поляризацию параметров q (а) и u (б) излучения всего диска Юпитера. Цифры над кривыми и индексы указателей шкал обозначают период наблюдений в соответствии с нумерацией в таблице. Вертикальные стрелки — центры метановых полос поглощения (без подписи) и аммиака λ 0.645 мкм, штриховые линии — сглаженные значения параметров инструментальной поляризации

Рис. 3. Положение плоскости (а) и значение степени поляризации света (б) всего диска Юпитера в зависимости от длины волны. Вертикальная штриховая линия — ошибка для $\lambda \approx 0.732$ мкм при $\alpha = 5.1^\circ$, треугольники — наблюдения 1971 г. [5], крестики — наблюдения 1973 г. [6]

плоскости поляризации, достигающий примерно 50° . Для $\lambda > 0.74$ мкм так же, как и при $\alpha = 4.0^\circ$, плоскость поляризации составляет с плоскостью рассеяния угол около 110° . При $\alpha = 11.1^\circ$ спектральный ход плоскости поляризации имеет уже иной характер. Начиная с длины волны 0.42 мкм плоскость поляризации поворачивается с увеличением длины волны и на $\lambda \approx 0.6$ мкм совпадает с плоскостью рассеяния, т. е. поляризация становится отрицательной. Такое положение плоскости поляризации сохраняется на всем длинноволновом участке спектра. В области полосы поглощения аммиака λ 0.645 мкм угол поляризации уменьшается до 175° , а в полосе поглощения метана λ 0.725 мкм — увеличивается до 185° . Описанное поведение плоскости поляризации света всего диска Юпитера получено впервые, поэтому нуждается в подтверждении.

Рассмотрим спектральный ход степени поляризации. Наблюдения при $\alpha = 4.0^\circ$ в пределах ошибок не показывают изменений степени поляризации в молекулярных полосах поглощения. При $\alpha = 5.1^\circ$ в области полос поглощения аммиака λ 0.645 мкм и метана λ 0.666 мкм наблю-

дается обширное понижение степени поляризации, достигающее 0.06 %. Уменьшение поляризации наблюдается также в полосе поглощения метана λ 0.727 мкм. В окрестностях длины волны 0.732 мкм, для которой отмечается значительный поворот плоскости поляризации, степень поляризации имеет примерно то же значение, что и в непрерывном спектре. При $\alpha=11.1^\circ$ практически во всех полосах поглощения степень поляризации увеличивается, причем в отличие от малых фазовых углов здесь в длинноволновой области спектра поляризация отрицательна.

На рис. 3, б для сравнения приведены результаты измерений степени поляризации света всего диска Юпитера, полученные в отдельных

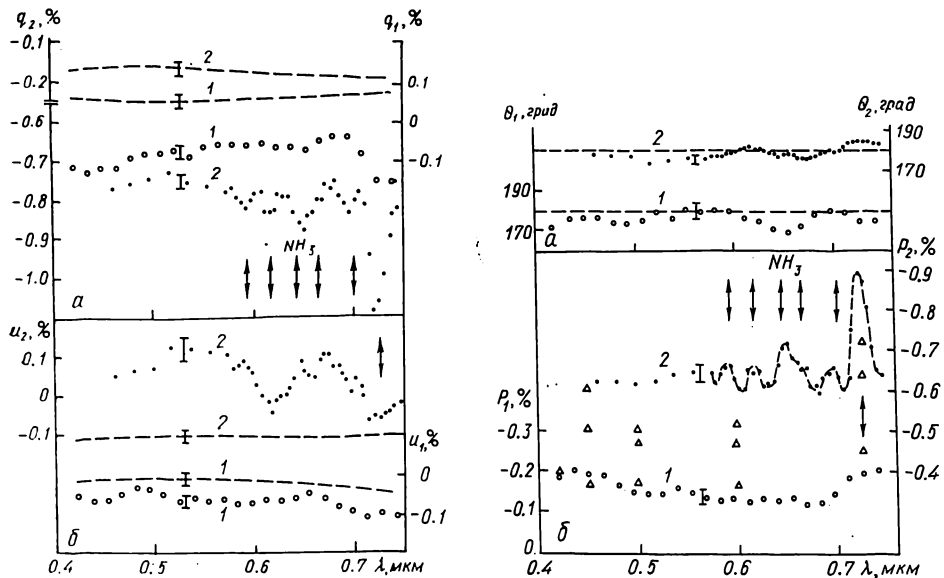


Рис. 4. То же, что на рис. 2, для центра диска Юпитера

Рис. 5. То же, что на рис. 3, для центра диска Юпитера. Треугольники — наблюдения 1973 г. [6]

участках спектра, вырезанных интерференционными светофильтрами ($\Delta\lambda/\lambda \approx 2\%$), в 1971 и 1973 гг. [5, 6]. На рисунке видно хорошее согласие степени поляризации и ее хода по спектру.

Линейная поляризация центра диска Юпитера. Как и для наблюдений всего диска, для его центра проводилось усреднение всех измерений соответственно в июле и сентябре. Усредненные значения параметров q и u приведены на рис. 4, а на рис. 5 — значения степени поляризации и положения плоскости поляризации. В июле и сентябре (рис. 5) для центра диска положение плоскости поляризации с длиной волны не изменялось (в пределах ошибок). В июле при $\alpha=5.0^\circ$ зарегистрировано заметное увеличение степени поляризации только для полосы поглощения метана λ 0.727 мкм.

При $\alpha=11.1^\circ$, когда измерения велись с более высоким спектральным разрешением и меньшим шагом сканирования (см. таблицу), отчетливо проявляется увеличение степени поляризации практически во всех полосах поглощения. В полосе поглощения метана λ 0.725 мкм это увеличение достигает 0.3 %.

Сравнение с результатами измерений 1973 г. [6] показывает хорошее согласие при $\alpha=5.0^\circ$. В 1984 г. при $\alpha=11.1^\circ$ значение степени поляризации во всем спектральном интервале было примерно на 0.1 % больше.

Итак, предварительные результаты изучения поведения степени и плоскости поляризации в молекулярных полосах поглощения в спектре Юпитера показали следующее:

1. Для всего диска Юпитера: при $\alpha=11.1^\circ$, когда поляризация практически во всем спектральном интервале отрицательна, в сильной полосе поглощения метана λ 0.727 мкм и в более слабых полосах степень поляризации увеличивается; при $\alpha=5.1^\circ$, когда поляризация света всего диска Юпитера положительна, наоборот, в полосах поглощения поляризация уменьшается; при всех исследованных значениях фазового угла происходит поворот плоскости поляризации как с длиной волны, так и в молекулярных полосах поглощения.

По нашему мнению, причиной этого является оптическая (вертикальная и горизонтальная) неоднородность облачного слоя.

2. Для центра диска: при $\alpha=11.1^\circ$ отчетливо проявляется увеличение степени поляризации в молекулярных полосах поглощения; изменения положения плоскости поляризации с длиной волны не наблюдаются.

1. Бугаенко Л. А., Бугаенко О. И., Гуральчук А. Л. и др. Астрономический спектрополяриметр. III. Информационно-измерительная и регистрирующая система / Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел.— Киев: Наук. думка, 1985.— С. 169—178.
2. Бугаенко О. И., Гуральчук А. Л. Астрономический спектрополяриметр. I. Основные принципы работы // Там же.— С. 160—164.
3. Бугаенко Л. А., Мельников М. А., Рагозина Л. Е., Самойлов В. С. Астрономический спектрополяриметр. II. Оптико-механический блок // Там же.— С. 164—169.
4. Гуральчук А. Л., Кучеров В. А., Мороженко А. В. Спектрополяриметрия планет. I. Специфика наблюдений и методика их обработки // Кинематика и физика небес. тел.— 1986.—3, № 2.— С. 41—47.
5. Мороженко А. В. Поляриметрические исследования планет. III. Юпитер // Астрон. журн.— 1973.—50, вып. 1.— С. 163—166.
6. Мороженко А. В. Результаты поляризационных исследований Юпитера // Астрометрия и астрофизика.— 1976.— Вып. 30. С. 78—86.
7. Smith R. J., Wolstencroft R. D. High precision spectropolarimetry of stars and planets. II. Spectropolarimetry of Jupiter and Saturn // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.— 1983.— 205, N 1.— P. 39—55.
8. Wolstencroft R. D., Smith R. J. Spectropolarimetry of methane and ammonia bands between 6800 and 8200 Å // Icarus.— 1979.—38, N 2.— P. 155—165.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию 04.09.85,
после доработки 08.01.86

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 521.93

О ВЫДЕЛЕНИИ ПОЛУГОДОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПО ДАННЫМ ШИРОТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ / Дубик Б. С.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 1173-В86)

В работе приведены цифровые фильтры для выделения полугодовой составляющей по данным широтных наблюдений. Фильтры исключают основные составляющие и линейные изменения средней широты на интервале продолжительностью 1.3 года.