

УДК 523.4-655

**Результати спектрополяриметричних спостережень
планет та галілеєвих супутників Юпітера
в протистояння 1986, 1988 та 1989 рр.**

О. В. Мороженко

Головна астрономічна обсерваторія НАН України
03680, МСП, Київ-127, Голосіїв

Приведені результати спектрополяриметричних вимірювань світла Марса (1986 р.), Юпітера (1986—1989 рр.), Урана (1986 р.) та галілеєвих супутників Юпітера (1986 р.). Показано, що: 1) після 20 серпня 1986 р. на Марсі мала місце малопотужна пилова буря; 2) середня кількість метану над хмаровим шаром центральної частини диска Юпітера (розміром 13.5") становила 25 м-амагат у 1986 р., 35.3 у 1988 р. та 28.2 у 1989 р., а верхня межа хмарового шару EZ знаходиться вище від верхньої межі хмарового шару SEB та NEB на $0.7H_g$ (H_g — шкала висот газової складової); 3) навіть при фазовому куті 3° ступінь поляризації Урана не перевищує $+0.2\%$; 4) при фазовому куті 0.5° ступінь поляризації становив $0.25 \pm 0.02\%$ для Ганімеда та Європи і $0.35 \pm 0.02\%$ для Каллісто та Іо. Площини поляризації та розсіяння склали кут $126—138^\circ$. Не було помічено змін поляризуючих властивостей Іо при його русі по орбіті (протягом 3 год).

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРОПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПЛАНЕТ И ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА В ПРОТИВОСТОЯНИЯ 1986, 1988 и 1989 ГГ., Мороженко А. В. — Приведены результаты спектрополяриметрических измерений света Марса (1986 г.), Юпитера (1986—1989 гг.), Урана (1986 г.) и галилеевых спутников Юпитера (1986 г.). Показано, что: 1) после 20 августа 1986 г. на Марсе имела место маломощная пылевая буря; 2) среднее количество метана над облачным слоем центральной части диска Юпитера (размером 13.5") составляло 25 м-амагат в 1986 г., 35.3 в 1988 г. и 28.2 в 1989 г., а верхняя граница облачного слоя EZ расположена выше верхней границы облачного слоя SEB и NEB на $0.7H_g$ (H_g — шкала высот газовой составляющей атмосферы); 3) даже при фазовом угле 3° степень поляризации Урана не превышала $+0.2\%$; 4) при фазовом угле 0.5° степень поляризации была равна $0.25 \pm 0.02\%$ для Ганимеда и Европы и $0.35 \pm 0.02\%$ для Каллисто и Ио. Плоскости поляризации и рассеяния составляли угол $126—138^\circ$. Не было обнаружено изменения поляризующих свойств Ио при его движении по орбите (на протяжении 3 ч).

SOME RESULTS OF SPECTROPOLARIMETRIC OBSERVATIONS OF PLANETS AND THE GALILEAN SATELLITES OF JUPITER AT THE 1986, 1988, AND 1989 OPPOSITIONS, by Morozhenko O. V. — We present some results of our spectropolarimetric observations of Mars (1986), Jupiter (1986—1989), Uranus (1986), and Jupiters Galilean satellites (1986). 1. A global (or local) long-power dust storm occured on Mars after 20 August 1986. 2. The mean amount of methane above the cloud layer in the central part of the Jovian disk (13.5" in size) was 25 m-amagat in 1986, 35.3 m-amagat in 1988, and 28.2 m-amagat in 1989; the upper boundary of the EZ cloud layer was located about $0.7H_g$ higher than the upper boundary of the SEB and NEB cloud layers (H_g is the hight scale of the gas component in the atmosphere). 3. The amount of polarization of Uranus was no more than +0.2 percent even at a phase angle of 3° . 4. The amount of polarization of Ganymede and Europa was about 0.25 ± 0.02 percent, and the amount of polarization of Callisto and Io was about 0.35 ± 0.02 percent at a phase angle of 0.5° ; the planes of polarization and scattering made an angle of $126\text{—}138^\circ$. No variations in the polarization of Io were found in the course of its orbital motion (over 3 hours).

В протистояння 1984 р. були започатковані спектрополяриметричні спостереження планет [5] за допомогою спектрополяриметра [1—3]. Методика спостережень та обробки матеріалу описана в роботі [4]. У 1986 р. такі прилади були встановлені на 60-см рефлекторах Болівійсько-Радянської обсерваторії поблизу м. Таріха (Болівія) та на горі Майданак (Узбекистан). Спектрополяриметр передбачав спостереження в двоканальному режимі, коли приблизно 10 % відбитого нахиленим дзеркалом потоку направлялись у фотометричний канал (канал порівняння, що використовується для автоматичного врахування зміни прозорості земної атмосфери в часі, повітряної маси об'єкта спостережень та похибок гідуювання), а 90 % — у монохроматор (вимірювальний канал). В режимі спектрофотометричних спостережень експозиція визначалась часом, за який в каналі порівняння накопичувалась наперед задана кількість імпульсів N . При поляриметричних спостереженнях (в режимах спектрополяриметра та фільтрового поляриметра) експозиція також задавалась часом, за який накопичувалась наперед задана кількість імпульсів N в каналі «інтенсивність». Через це значення параметрів Стокса q та u визначались як $q = q'/N$ та $u = u'/N$ (тут q' та u' — кількості накопичених імпульсів у відповідних каналах). Величина N вибиралась з умови отримання заданої величини статистичної похибки ($\sigma = \sqrt{N}$), але вона не могла перевищувати $9 \cdot 10^7$. При спектрополяриметричних спостереженнях поряд з реєстрацією кількості накопичених імпульсів в каналах Q та U фіксувався також час експозиції t . Це давало можливість при необхідності перераховувати кількість імпульсів q' та u' на одиницю часу. Оскільки з великого обсягу результатів повністю опубліковані лише дані для Венери [13], Нептуна [14] та деякі дані для Юпітера [6, 7, 12], то приведемо в основному неопубліковані результати.

В 1986 р. основним завданням було визначення поведінки ступеня поляризації центра диска Юпітера в межах смуги поглинання метану λ 727 нм, а також вивчення спектрополяриметричних властивостей Марса та Урана. Практично в кожен ніч вимірювались параметри інструментальної поляризації у фотометричній системі $UBVR$, а протягом кількох ночей — у спектрополяриметричному режимі [11]. Виявилось, що в спектральному інтервалі λ 330—750 нм інструментальна поляризація була меншою 0.05 %. При спостереженнях використовувалась 127° ахроматична фазозсувна пластина, а тому зареєстровані кількості імпульсів q' та u' необхідно було збільшувати приблизно у два рази [4].

Таблиця 1. Спектральні значення ступеня поляризації світла Марса в протистояння 1986 р.

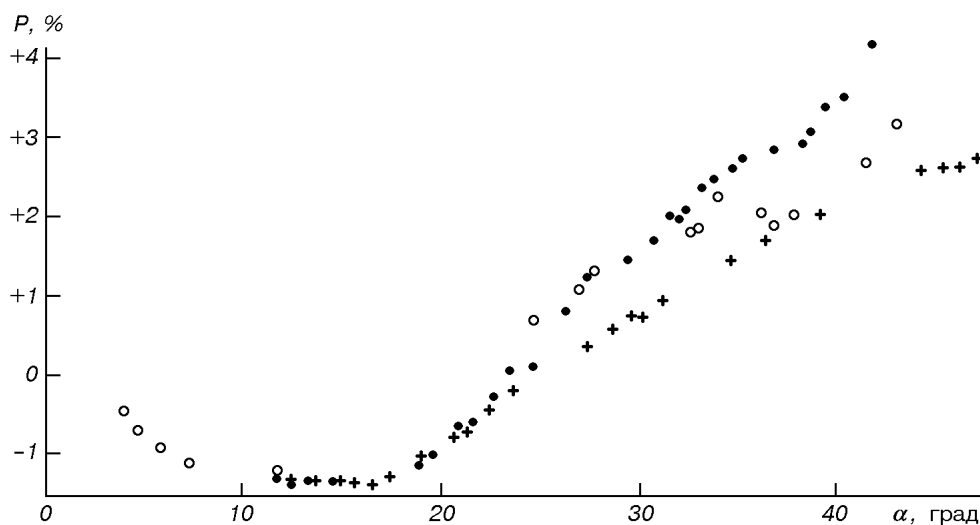
Дата	26/27.06	10/11.07	12/13.07	14/15.07	16/17.07	8/9.08	12/13.08	13/14.08
α , град	11.8	4.0	4.7	5.9	7.3	24.6	27.0	27.7
L, град	115-130	87-112	80-104	37-52	37-52	37-52	37-52	52-37
λ , нм	P, %							
755	-0.63	-0.30	-0.45	-0.58	-0.55	+0.32	+0.46	+0.65
725	0.46	0.26	0.43	0.58	0.64	0.28	0.44	0.57
700	0.43	0.15	0.43	0.58	0.64	0.25	0.43	0.55
675	0.73	0.09	0.46	0.61	0.56	0.25	0.41	0.58
650	0.76	0.32	0.48	0.62	0.68	0.25	0.49	0.62
625	0.74	0.36	0.43	0.64	0.71	0.26	0.45	0.59
600	0.88	0.41	0.51	0.68	0.86	0.29	0.50	0.61
575	0.95	0.42	0.50	0.71	0.88	0.26	0.59	0.70
550	1.12	0.48	0.57	0.88	0.99	0.37	0.79	0.90
525	1.16	0.52	0.55	0.93	1.06	0.51	0.91	1.11
500	1.18	0.42	0.67	0.90	1.11	0.75	1.13	1.34
475	1.14	0.43	0.66	0.93	1.09	0.86	1.32	1.62
450	1.14	0.43	0.63	0.99	1.15	1.16	1.65	1.98
425	0.99	0.45	0.60	0.98	1.14	1.60	2.31	2.63
400	0.81	0.42	0.62	0.94	1.05	2.21	2.97	3.38
375	0.46	0.33	0.69	0.89	1.06	2.82	3.40	4.08
350	0.16			0.72	0.93	3.12	4.04	4.51

Дата	22/23.08	23/24.08	25/26.08	31/01.09	2/3.09	5/6.09	19/20.09	28/29.09	29/30.09
α , град	32.5	33.0	33.9	36.3	37.0	38.0	41.6	43.2	43.4
L, град	51-36	43-28	32-17	45-30	31-16	58-45	50-35	36-51	41
750	+1.00	+1.13	+1.26	+1.10	+1.01	+1.30	+1.46	+1.71	
725	0.92	1.00	1.27	1.13	1.08	1.18	1.43	1.76	
700	0.94	1.00	1.24	1.06	1.05	1.25	1.27	1.73	
675	0.99	1.06	1.14	1.16	1.03	1.25	1.48	1.76	
650	0.99	1.07	1.36	1.13	1.13	1.25	1.50	1.81	
625	0.97	1.08	1.28	1.14	1.12	1.27	1.78	1.86	
600	1.11	1.17	1.41	1.19	1.19	1.36	1.60	1.74	
575	1.19	1.26	1.50	1.32	1.29	1.42	1.80	2.19	
550	1.40	1.45	1.79	1.48	1.50	1.70	2.12	2.51	
525	1.64	1.64	1.99	1.75	1.71	1.91	2.48	2.83	
500	1.86	1.90	2.28	2.09	1.95	2.11	2.72	3.23	
475	2.21	2.16	2.63	2.32	2.25	2.42	3.13	3.73	
450	2.60	2.49	2.95	2.65	2.55	2.69	3.64	4.26	
425	3.29	3.13	3.75	3.38	3.35	3.44	4.65	5.16	
400	4.13	3.88	4.58	4.40	4.28	4.35	5.78	6.45	
375	4.78	5.07	5.50	5.24	5.51	5.42	6.91	7.15	7.68
350	5.30	5.21	5.89	5.98	6.06	6.34	8.07	8.47	8.76

МАРС

Спостерігався весь диск планети з кроком 5 нм. На довжинах хвиль $\lambda \geq 400$ нм в каналі «інтенсивність» накопичувалось 10^7 імпульсів, а для $\lambda < 400$ нм — 10^6 . Виходячи з того, що в досліджуваному інтервалі довжин хвиль немає вузьких смуг поглинання, то в табл. 1 приведені усереднені по п'яти точках результати, а тому статистична похибка у першому інтервалі становила 0.040 %, а в другому — 0.13 %. Схилення Землі за весь період спостережень змінювалось в межах $-3.6...-10.5^\circ$, а ареоцентрична довгота Сонця L_s змінювалась від 194° до 253° .

В цій таблиці α — фазовий кут; перше значення довготи центрального меридіана L відповідає $\lambda = 750$ нм, друге — $\lambda = 350$ нм. Виявилось, що після 20 серпня 1986 р. ($L_s = 228^\circ$) на Марсі мала місце малопотужна глобальна



Фазові залежності ступеня поляризації світла диска Марса на довжині хвилі 500 нм в протистояння 1986 р. (світлі кружки), для періоду високої прозорості атмосфери в квітні—липні 1971 р. (точки) та для першої глобальної пилової бурі 1973 р. (хрестики) [9]

(або локальна) пилова буря. З рисунка видно, що поляризуючі властивості Марса були дещо більшими, ніж на стадії ослаблення малопотужної глобальної пилової бурі 1973 р. (першої пилової бурі), яка була зареєстрована вже першими спостереженнями 4 червня. Максимальна її активність припала на період з 23 червня до третьої декади липня (фазові кути змінювались від 46.2° до 47.2° та знову до 46.0°), а тому показані на рисунку дані для цієї пилової бурі припадають на стадію очищення атмосфери (приблизно до 15 серпня 1973 р.), а при $\alpha < 30^\circ$ — на період високої прозорості марсіанської атмосфери.

УРАН

Ступінь поляризації Урана у системі *UBVR* вимірювався протягом чотирьох ночей. Виявилось, що його значення практично не виходить за межі похибок вимірювання σ (табл. 2).

Таблиця 2. Ступінь поляризації Урана (%)

Дата	α , град	U	B	V	R
15.05.86	1.4	+0.13	+0.02	+0.05	+0.05
15.06.86	1.9	0.04	0.09	0.02	0.03
27.08.86	2.9	0.11	0.04	0.04	0.06
06.09.86	3.0	0.17	0.11	0.19	0.08
	σ , %	0.077	0.040	0.040	0.077

ЮПІТЕР

В протистояння 1986 р. провадились дослідження зміни ступеня поляризації центра диска Юпітера в контурі смуги поглинання метану λ 727 нм (табл. 3), всього диска планети при малих значеннях кута фази (табл. 4), а також (опубліковані в [11]) північного, південного, західного та східного

Таблиця 3. Ступінь поляризації (%) центра диска Юпітера в протистояння 1986 р. ($d = 13.5''$, $\Delta\lambda = 5$ нм)

Дата	27.06	11.07	17.07	9.8	1.10	2.10	10.10	13.10	14.10
α , град	11.5	10.6	9.6	7.0	4.4	4.8	6.3	6.8	7.0
λ , нм	P, %								
750	-0.62								
749	0.62								
748	0.58								
747	0.61								
746	0.65								
745	0.39								
744	0.62		-0.40	-0.32		-0.16	-0.15	-0.25	-0.30
743	0.40	-0.44	0.44	0.66	0.26				
742	0.53	0.47	0.52	0.30					
741	0.42	0.55	0.64	0.34					
740	0.52	0.62	0.56	0.28	-0.13	0.19	0.23	0.31	0.33
739	0.65	0.64	0.44	0.26					
738	0.61	0.44	0.58	0.28	0.14	0.15			
737	0.72	0.55	0.58	0.32				0.32	0.40
736	0.76	0.68	0.72	0.46	0.19	0.11	0.15		
735	0.72	0.69	0.58	0.34					
734	0.68	0.76	0.72	0.30	0.20	0.12			
733	0.91	0.84	0.74	0.36				0.35	0.41
732	0.82	0.80	0.64	0.35	0.16	0.14	0.18		
731	0.84	0.85	0.64	0.34					
730	0.95	0.89	0.82	0.42	0.29	0.25			
729	0.90	0.71	0.88	0.43			0.35		0.39
728	1.09	0.95	0.90	0.48	0.31	0.24		0.43	0.47
727	0.99	1.00	0.84	0.50	0.16	0.21	0.28	0.48	
726	1.06	0.88	0.98	0.37	0.16	0.23		0.51	0.41
725	0.98	0.83	0.86	0.34			0.30		
724	0.98	0.81	0.82	0.46	0.13	0.24			0.39
723	0.77	0.71	0.80	0.32					
722	0.80	0.82	0.76	0.33	0.18	0.19	0.34	0.35	0.37
721	0.75	0.93		0.36					
720	0.78	0.70		0.29	0.12	0.22			
719	0.65	0.73		0.36					
718	0.68	0.61		0.39	0.13	0.18	0.25	0.33	0.30
717	0.56	0.62		0.25					
716	0.55	0.57		0.32	0.14	0.17			
715	0.65	0.47		0.32					
714	0.55	0.55		0.27	0.17	0.18	0.20	0.32	0.29
713	0.57	0.49		0.32					
712	0.63	0.48		0.46	0.13	0.16			
711	0.61	0.48		0.23	0.13	0.21	0.24	0.34	0.32
710		0.57							
σ , %	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
τ_v	0.076	0.126							
NL	20	30 м-амагат							

лімбових точок диска в системі $UBVR$ та вузькосмугових інтерференційних світлофільтрах А'Херна. В таблицях приведено кутовий діаметр d досліджуваної деталі, спектральна роздільна здатність $\Delta\lambda$, статистична похибка σ , кількість метану NL (в м-амагат) у надхмаровому шарі та значення поглинаючої складової оптичної товщини метану в надхмаровому шарі (τ_v).

Як було показано в роботах [8, 10], ступінь поляризації усього диска планети при фазових кутах $\alpha \leq 2^\circ$ в основному відображає ефект оптичної неоднорідності планетного диска, а тому в табл. 5 приведені також усереднені для цього інтервалу фазових кутів спектральні значення P для протистоянь 1971 р. [8] та 1973 р. [10].

Таблиця 4. Ступінь поляризації всього диска Юпітера в 1986 р.

Дата	02.09	05.09	08.09	19.09
α , град	2.0	1.4	0.5	2.0
λ , нм	P, %			
760	+0.21	+0.15	+0.25	+0.15
730	0.27	0.27	0.19	0.21
700	0.23	0.28	0.33	0.20
670	0.24	0.25	0.27	0.21
640	0.28	0.29	0.26	0.23
610	0.29	0.29	0.29	0.29
580	0.25	0.37	0.26	0.23
550	0.31	0.36	0.29	0.31
520	0.30	0.30	0.32	0.31
490	0.29	0.36	0.30	0.37
460	0.31	0.31	0.23	0.29
430	0.26	0.23	0.31	0.26
400	0.25	0.27	0.29	0.25
370	0.20	0.19	0.20	0.14
340	0.04	0.03	0.14	0.04
σ , %	0.03	0.03	0.03	0.03

Таблиця 5. Ступінь поляризації всього диска Юпітера в 1971 і 1973 рр.

Рік	λ , нм								
	316	347	377	423	452	504	620	727	798
1971 р.			+0.21	+0.32	+0.30	+0.32	+0.25	+0.18	+0.21
1973 р.	-0.13	-0.08	+0.08	+0.28	+0.27	+0.32	+0.31	+0.25	+0.24
σ , % (1973 р.)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05

Таблиця 6. Ступінь поляризації центра диска Юпітера в 1988 р.

Дата	23.08	09.09	11.09, 12.09	Дата	23.08	09.09	11.09, 12.09
α , град	11.6	11.3	11.3	α , град	11.6	11.3	11.3
d	27"	13.5"	27"	d	27"	13.5"	27"
$\Delta\lambda$, нм	5	5	2.5	$\Delta\lambda$, нм	5	5	2.5
λ , нм	P, %			λ , нм	P, %		
750	-0.71			727	1.08		1.095
746		-0.64		726	1.17	1.10	1.075
745	0.70		-0.655	725	1.08		1.080
744		0.56	0.670	723			0.895
743			0.655	722		0.92	0.900
742		0.60	0.675	721			0.865
741			0.705	720	0.84	0.69	0.655
740	0.71	0.69	0.710	719			0.800
739			0.675	718		0.76	0.755
738		0.75	0.715	717			0.720
737			0.730	716		0.69	0.655
736		0.74	0.790	715	0.69		
735	0.82		0.795	714		0.77	0.615
734		0.82	0.805	713			0.640
733			0.850	712		0.69	0.615
732		0.90	0.835	711			0.595
731			0.895	710	0.64	0.73	0.590
730	0.96	1.05	0.960	σ , %	0.025	0.025	0.018
729	0.99		1.030	τ_r	0.102	0.140	0.142
728	1.05	1.08	1.040	NL, м-ам.	27	37	33

Таблиця 7. Ступінь поляризації центра диска Юпітера в 1988 р.

λ , нм	1*	2*	λ , нм	1*	2*	λ , нм	1*	2*
600		-0.544	612.5		-0.595	625		-0.612
600.5		0.509	613		0.602	625.5		0.575
601		0.522	613.5		0.592	626	-0.38	
601.5		0.522	614	-0.35	0.592	626.5		0.591
602	-0.26	0.572	614.5		0.600	627		0.562
602.5		0.532	615		0.620	627.5		0.618
603		0.536	615.5		0.617	628	0.30	0.569
603.5		0.571	616	0.30	0.625	628.5		0.594
604	0.30	0.547	616.5		0.613	629		0.583
604.5		0.536	617		0.671	629.5		0.610
605		0.583	617.5		0.673	630	0.36	0.590
605.5		0.565	618	0.38	0.684	630.5		0.559
606	0.32	0.548	618.5		0.690	631		0.590
606.5		0.558	619		0.681	631.5		0.590
607		0.571	619.5		0.690	632	0.30	0.604
607.5		0.550	620	0.44	0.663	632.5		0.603
608	0.35	0.573	620.5		0.630	633		0.567
608.5		0.563	621		0.648	633.5		0.573
609		0.565	621.5		0.683	634	0.32	0.581
609.5		0.563	622	0.36	0.636	636	0.36	
610	0.33	0.549	622.5		0.647	638	0.31	
610.5		0.560	623		0.625	640	0.30	
611		0.566	623.5		0.595	σ , %	0.025	0.025
611.5		0.596	624	0.35	0.576	τ_v		0.016
612	0.35	0.582	624.5		0.610	NL		24 м-амагат

1* — 15.10 1986 р. ($d = 13.5$, $\Delta\lambda = 2.5$ нм, $\alpha = 7.2^\circ$);2* — 01—10.09 1988 р. ($d = 27''$, $\Delta\lambda = 1.25$ нм, $\alpha = 11.4^\circ$)Таблиця 8. Ступінь поляризації центра диска Юпітера в жовтні 1989 р. ($\Delta\lambda = 2.5$ нм, $d = 27''$)

Дата	12-13	20, 26	Дата	12-13	20, 26	Дата	12-13	20, 26
α , град	11.1	10.5	α , град	11.1	10.5	α , град	11.1	10.5
λ	P, %		λ	P, %		λ	P, %	
692	-0.580		714	-0.642	-0.465	736	-0.686	-0.646
693	0.529		715	0.527	0.503	737	0.651	0.546
694	0.547		716	0.655	0.590	738	0.672	0.599
695	0.484		717	0.552	0.591	739	0.554	0.570
696	0.530		718	0.549	0.612	740	0.519	0.553
697	0.525		719	0.668	0.714	741	0.538	0.540
698	0.521		720	0.777	0.624	742	0.520	0.515
699	0.581		721	0.756	0.666	744	0.493	0.451
700	0.609		722	0.675	0.578	744	0.612	
701	0.580		723	0.798	0.725	745	0.568	
702	0.566		724	0.753	0.714	746	0.574	
703	0.562		725	0.857	0.771	747	0.622	
704	0.658		726	0.954	0.873	748	0.571	
705	0.531		727	0.970	0.896	749	0.521	
706	0.545		728	0.827	0.832	750	0.530	
707	0.559		729	0.767	0.806	751	0.530	
708	0.549		730	0.840	0.762	752	0.631	
709	0.516		731	0.858	0.771			
710	0.462		732	0.803	0.684	σ , %	0.023	0.038
711	0.539	-0.399	733	0.651	0.657	τ_v	0.107	0.116
712	0.549	0.543	734	0.702	0.678	NL,	25	27
713	0.549	0.479	735	0.592	0.571	м-амагат		

Таблиця 9. Ступінь поляризації деталей диска Юпітера

Дата	α , град	λ , нм			σ , %	NL, м-амагат	τ_p
		745	727	710			
Центр диска, $d = 13.5''$, $\Delta\lambda = 5$ нм							
27.08.1988	11.6	-0.69	-1.09	-0.67	0.035	38	0.144
28.08.1988	11.6	-0.60	-1.05	-0.63	0.035	30	0.113
29.08.1988	11.6	-0.78	-1.09	-0.78	0.035	56	0.212
30.08.1988	11.6	-0.81	-1.32	-0.77	0.085	33	0.125
31.08.1988	11.6	-0.75	-1.34	-0.71	0.085	20	0.076
03.09.1988	11.6	-0.61	-1.24	-0.84	0.101	29	0.110
04.09.1988	11.6	-0.77	-1.26	-0.80	0.035	38	0.144
05.09.1988	11.6	-0.76	-1.16	-0.82	0.035	48	0.181
14.10.1989	10.6	-0.567	-0.823	-0.516	0.065	45	0.170
17.10.1989	10.6	-0.453	-0.827	-0.414	0.050	15	0.057
18.10.1989	10.6	-0.625	-0.960	-0.566	0.056	29	0.110
Середнє						34.6±3.2	0.131
EZ ($d = 5.2''$, $\Delta\lambda = 5$ нм)							
23.08.1988	11.6	-0.98	-1.34	-0.84	0.050	51	0.193
27.08.1988	11.6	-0.61	-1.19	-0.80	0.050	31	0.117
28.08.1988	11.6	-0.53	-0.83	-0.61	0.085	51	0.193
29.08.1988	11.6	-0.66	-1.08	-0.79	0.035	48	0.181
30.08.1988	11.6	-0.63	-1.20	-0.71	0.085	23	0.087
31.08.1988	11.6	-0.52	-1.17	-0.78	0.085	23	0.087
03.09.1988	11.6	-0.41	-1.12	-0.82	0.101	21	0.079
04.09.1988	11.6	-0.40	-1.07	-0.77	0.085	21	0.079
05.05.1988	11.6	-0.47	-0.95	-0.63	0.101	28	0.106
Середнє						32.3±4.4	0.125
SEB ($d = 2.4''$, $\Delta\lambda = 5$ нм)							
23.08.1988	11.6	-1.02	-1.30	-1.07	0.050	75	0.284
27.08.1988	11.6	-1.02	-1.24	-0.83	0.100	66	0.249
30.08.1988	11.6	-0.87	-0.88	-0.59	0.085	79	0.299
31.08.1988	11.6	-0.55	-0.93	-0.50	0.086	28	0.106
03.09.1988	11.6	-0.61	-0.80	-0.81	0.101	88	0.333
NEB ($d = 2.4''$, $\Delta\lambda = 5$ нм)							
29.08.1988	11.6	-0.70	-1.13	-0.79	0.085	48	0.181
04.09.1988	11.6	-0.68	-0.91	-0.78	0.085	74	0.279
Середнє для SEB та NEB						65.4±7.3	0.247

Як вже говорилось, спектрополяриметричні дослідження Юпітера були продовжені в протистояння 1988 та 1989 р. на горі Майданак. Як правило, інструментальна поляризація становила 0.05 %. В ці протистояння продовжувався набір даних про залежність ступеня поляризації в контурах смуг поглинання $\lambda\lambda$ 727 та 619 нм для центра диска планети (табл. 6—8), а також визначення відмінності поляризаційних властивостей центра диска, EZ, SEB та NEB (табл. 9—11, 14) при максимальних значеннях фазових кутів. У деяких випадках, коли статистична похибка становила приблизно 0.1 %, проводилось усереднення спостережних даних за декілька ночей. Якщо для всіх довжин хвиль статистична похибка була однаковою, то її значення в табл. [9—11, 14] приводиться лише один раз для даної дати.

Поряд зі спектрополяриметричними спостереженнями 6, 8, 12 вересня та 16/17, 17/18 листопада 1988 р. виконувались спектрофотометричні спостереження деталей диска Юпітера (діафрагма 2.4"). Як стандарт використовувалась зірка β Тау. Спектральна роздільна здатність становила 1 нм, крок сканування — 9.955 ± 0.001 нм у вересні та 0.3318 нм у листопаді. Оскільки основні результати опубліковані в роботі [6], то тут приведемо

Таблиця 10. Спектральна залежність P для EZ, SEB та NEB в 1988 р. при $\alpha = 11.6^\circ$

Дата	λ нм					
	790	519	452	410	U	347
EZ ($d = 5.2''$)						
28.08					-0.42±0.085	
29.08	-0.75±0.071	-0.72±0.035	-0.75±0.035	-0.82±0.035	-0.57±0.035	
30.08		0.63±0.035	0.68±0.035	0.80±0.035	0.49±0.035	
31.08	-0.94±0.071	0.82±0.035	0.86±0.035	0.88±0.035	0.59±0.035	
03.09	-0.98±0.071					-0.49±0.071
04.09	-1.00±0.071	0.80±0.050	0.085±0.050	0.78±0.050		-0.36±0.071
05.09	-0.77±0.071	0.68±0.050	0.92±0.050	0.76±0.050	0.57±0.050	
SEB ($d = 2.4''$)						
28.08					+0.10±0.085	
30.08		-0.58±0.035	-0.050±0.035	-0.54±0.035	+0.17±0.035	
31.08	-0.93±0.071	0.82±0.035	0.61±0.035	0.61±0.035	-0.24±0.035	
03.09		0.88±0.035				+0.18±0.071
04.09	0.87±0.071	0.72±0.050	0.73±0.050	0.64±0.050		+0.03±0.071
05.09	-1.13±0.071	0.61±0.050	0.62±0.050	0.69±0.050	-0.26±0.050	
NEB ($d = 2.4''$)						
29.08	-0.81±0.071	-0.49±0.035	-0.69±0.035	-0.53±0.035	-0.24±0.035	
31.08	0.89±0.071	0.52±0.050	0.44±0.050	0.34±0.050	+0.19±0.050	
03.09	0.89±0.071					+0.10±0.071
04.09	0.88±0.071	0.68±0.050	0.46±0.050	0.53±0.050		+0.18±0.071
05.09	0.84±0.071	0.53±0.050	0.51±0.050	0.45±0.050	-0.10±0.050	

Таблиця 11. Значення ступеня поляризації $P(\lambda)$ за 19, 23, 26.10.1989 р., $\alpha = 10.6^\circ$, $d = 5.2''$

λ , нм	EZ	NEB
750	-0.490±0.029	-0.580±0.029
693	-0.547±0.029	-0.560±0.029
590	-0.375±0.029	-0.345±0.029
519	-0.380±0.029	-0.490±0.029
455	-0.363±0.029	-0.430±0.029
410	-0.353±0.029	-0.373±0.029
347	+0.120±0.029	+0.293±0.029

Таблиця 12. Залишкові інтенсивності $R_p(1)$ в смугах поглинання метану

Пояс	$\lambda = 727$ нм		$\lambda = 619$ нм	
	$\alpha = 11.3^\circ$	$\alpha = 1.3^\circ$	$\alpha = 11.3^\circ$	$\alpha = 1.3^\circ$
EZ	0.409±0.002	0.409±0.007	0.801±0.004	0.801±0.003
SEB	0.390±0.005		0.797±0.005	
NEB	0.401±0.005	0.391±0.002	0.798±0.004	0.787±0.009

лише дані про залишкові інтенсивності $R_p(1)$ в смугах поглинання метану $\lambda\lambda$ 619 та 727 нм (табл. 12). Значення інтенсивності в неперервному спектрі знаходились лінійною інтерполяцією між довжинами хвиль $\lambda\lambda = 604, 630$ та $\lambda\lambda = 713, 747$ нм.

В деякі ночі поряд з вимірюванням ступеня поляризації деталей диска планети визначались ще відношення інтенсивностей EZ та екваторіальних смуг в неперервному спектрі ($\lambda\lambda = 710, 745$ нм) та в центрі смуги поглинан-

Таблиця 13. Відношення інтенсивностей EZ та екваторіальних смуг

λ , нм	EZ / NEB	EZ / SEB	λ , нм	EZ / NEB	EZ / SEB
747	1.08	1.05	390	1.21	1.10
710	1.07	1.06	375	1.27	1.14
525	1.14	1.12	360	1.27	1.15
510	1.16	1.11	350	1.22	1.09
495	1.19	1.15	345	1.16	1.06
480	1.18	1.16	340	1.19	1.11
465	1.22	1.15	335	1.14	1.05
450	1.22	1.15	330	1.12	1.04
435	1.25	1.17	325	1.11	1.03
420	1.24	1.14	320	1.11	1.02
405	1.21	1.13			

ня метану λ 727 нм зі спектральною роздільною здатністю 5 нм (табл. 13). Це дозволило визначити відношення $R_v(EZ)$ до $R_v(SEB)$ та $R_v(NEB)$, які виявились практично однаковими та в середньому рівними 1.026 ± 0.002 . При цій роздільній здатності $R_v(EZ) = 0.47$ замість 0.41 при спектральній роздільній здатності 0.1 нм. В серпнево-вересневий період 1988 р. яскравішою була південна екваторіальна смуга.

Як відомо, для перевірки адекватності моделей вертикальної структури атмосфери використовуються спостережні дані про розподіл відбивної здатності по диску планети у різних довжинах хвиль. При цьому найчутливішими є дані для точок диска зі значеннями косинуса кута падіння світла $\mu_0 \leq 0.6$, які в реальних умовах так чи інакше спотворені турбулентним тремтінням. Тому їх можна замінити величинами відношення відбивної здатності на центральному меридіані до усередненої вздовж усієї смуги відбивної здатності, яке позначимо через I' . Для цього протягом трьох ночей (7/8, 9/10 та 10/11 вересня 1988 р.) вимірювався ступінь поляризації за допомогою щілини шириною 2.46" та довжиною 81", яка встановлювалась вздовж EZ, SEB та NEB. Майже одночасно проводилась також спектрофотометрія цих деталей на центральному меридіані (кругла діафрагма діаметром 2.32") та з допомогою цієї ж щілини (спектральна роздільна здатність 1 нм, крок 1 нм). За останніми даними визначались спектральні значення відношення I' , а також залишкові інтенсивності смуги поглинання λ 727 нм при спостереженнях з діафрагмою на центральному меридіані ($R_v(1)$) та з щілиною ($R_v(\bar{\mu})$). Середини цих деталей припадали на планетоцентричні широти 18° (NEB), 5° (EZ) та 10° (SEB). Оцінки ступеня поляризації та відношення I' приведені в табл. 14. Похибка визначення P становить 0.025 %; значення $R_v(\bar{\mu})$ рівні 0.384 ± 0.006 для EZ, 0.385 ± 0.007 для NEB та 0.403 ± 0.006 для SEB.

9 вересня 1986 р. протягом майже 8 год (з 03.5^h до 11.0^h UT) при фазовому куті 0.5° були проведені вимірювання поляризаційних властивостей галілеєвих супутників Юпітера в системі *UBVR*. Оскільки світло фону неба поблизу Юпітера могло бути частково поляризованим, то спостереження супутників провадились з двома діафрагмами: 13.5" та 81", що дозволяло з більшою точністю вимірювати значення параметрів q та u фону. Оскільки задані кількості імпульсів в каналі інтенсивності при цих двох спостереженнях накопичувались за час t_1 та t_2 , то обробка спостережень зводилась до розв'язання системи двох рівнянь (наприклад, для параметра q'):

$$\begin{aligned} q'_1/t_1 &= q'_{Ю} + q'_{\Phi}, \\ q'_2/t_2 &= q'_{Ю} + (81/13.5)^2 q'_{\Phi}, \end{aligned}$$

Таблиця 14. Спектральні значення ступеня поляризації P та відносних інтенсивностей I' поясів EZ, SEB та NEB ($\alpha = 11.4^\circ$)

λ , нм	EZ		NEB		SEB
	P , %	I'	P , %	I'	I'
745	-0.28	1.300 ± 0.019	-0.56	1.228 ± 0.005	1.234 ± 0.014
727	-0.65	1.394 ± 0.025	-0.94	1.312 ± 0.015	1.148 ± 0.018
710	-0.34	1.310 ± 0.009	-0.60	1.264 ± 0.008	1.197 ± 0.011
650	-0.32		-0.44		
600	-0.32		-0.40		
550	-0.26		-0.37		
500	-0.33	1.426	-0.37	1.202	1.206
450	-0.33	1.417	-0.37	1.124	1.092
400	-0.39	1.450	-0.31	1.100	1.019
350		1.252		1.091	1.051
U	-0.38		+0.14		
320		1.189		1.166	1.104

Таблиця 15. Ступінь поляризації галілеєвих супутників Юпітера при $\alpha = 0.5^\circ$

Полоса	P , %	ψ_1^0	Полоса	P , %	ψ_1^0
Ганімед			Іо		
U	0.13 ± 0.10	79	U	0.40 ± 0.06	42
B	0.25 ± 0.02	26	B	0.39 ± 0.03	39
V	0.21 ± 0.02	33	V	0.30 ± 0.01	41
R	0.24 ± 0.02	33	R	0.26 ± 0.03	43
Каллісто			Європа		
U	0.34 ± 0.10	26	V	0.24 ± 0.03	43
B	0.44 ± 0.04	36	NPR, SPR		
V	0.30 ± 0.02	35	U		178
R	0.23 ± 0.03	37	B		174
			V		174
			R		174

Відповідні значення ступеня поляризації приведені в табл. 15.

Серед механізмів виникнення такого високого ступеня поляризації певну роль могло відігравати освітлення супутників планетою. Тому можна було б очікувати, що із зміною планетного фазового кута при русі супутника по орбіті буде змінюватись значення (а можливо й знак) P . Однак 25 серій спеціальних спостережень супутника Іо в системі V , що тривали 3 год, не дали жодного доказу залежності P від орбітального фазового кута. Спостереженнями зареєстровані лише випадкові зміни ступеня поляризації у межах $0.30\text{--}0.35\%$, а тому ці спостереження використані для точнішої оцінки значення $P = 0.320 \pm 0.004\%$. Це дозволяє зробити висновок, що внеском у спостереженні поляризуючі властивості супутника розсіяного юпітеріанського світла можна нехтувати.

При спостереженнях положення площини поляризації спеціально не визначалось. Але безпосередньо перед цими спостереженнями проводились вимірювання полярних районів Юпітера, що дозволило визначити відмінність положень площин поляризації в системі приладу ψ_1 для супутників та двох полярних районів (табл. 15). Оскільки для полярних районів площина поляризації складає з площиною розсіяння кут в 90° , то, найімовірніше, для супутників він становить $126\text{--}138^\circ$.

Дослідження лінійної поляризації в контурі смуги поглинання метану λ 727 нм дозволили розробити високоточний та ефективний метод визначення кількості поглинаючого газу в надхмаровому шарі планети за спостереженнями лише в центрі диска планети [7]:

$$NL = \frac{\mu_0}{(1 + \mu_0)k_v} \ln \frac{P_c(\mu_0)\rho_c(\mu_0)}{P_v(\mu_0)\rho_v(\mu_0)} = \frac{1}{(1 + \mu_0)k_v} \ln \frac{P_c(\mu_0)}{P_v(\mu_0)R_v(\mu_0)}. \quad (1)$$

Тут $\mu_0 = \cos\alpha$ — косинус кута падіння світла, $\rho_c(\mu_0)$, $\rho_v(\mu_0)$ — відбивна здатність у неперервному спектрі та смугі поглинання, $R_v(\mu_0)$ — залишкова інтенсивність у смугі поглинання, k_v — монохроматичний коефіцієнт поглинання газу. Як видно, метод не потребує громіздкої роботи з визначення відбивної здатності, тому що залишкова інтенсивність, особливо для не дуже широких смуг поглинання, може бути визначена за відносними вимірюваннями. Отримані оцінки NL , а також оптичної товщини поглинання метаном в центрі смуги поглинання $\tau_v = NLk_v$ приведені в табл. 4—6 та 8—11. Значення k_v [15] усереднювались з урахуванням використаної роздільної здатності.

Як видно, кількість метану в надхмарових шарах центра диска планети, отримана з даних для смуг поглинання $\lambda\lambda$ 619 та 727 нм узгоджуються задовільно. Не виключено, що висота верхньої межі хмарового шару дещо змінюється від року до року. Так, для центральної частини диска розміром $13.5''$ середнє значення кількості метану в надхмаровому шарі становило 25, 35.3 та 28.2 м-амагат у 1986, 1988 та 1989 рр. відповідно. Верхня межа хмарового шару EZ розташована на $(0.70 \pm 0.17)H_g$ вище, ніж для SEB та NEB (H_g — шкала висот газової складової атмосфери).

Якщо допустити, що вираз (1) в першому наближенні справедливий також для спектрополяриметричних спостережень усієї деталі хмарового шару, тобто для спостережень зі щілиною, то це дасть можливість оцінити усереднені для усієї довжини деталі значення τ_v та NL . У цьому випадку замість множника $\mu_0/(1 + \mu_0)$ має використовуватись $M = \overline{\mu\mu_0}/(\overline{\mu} + \overline{\mu_0}) = 0.315$ (при фазовому куті 11.4°), де $\overline{\mu}$ та $\overline{\mu_0}$ — усереднені по всій довжині деталі значення косинусів кутів відбивання та падіння світла. Виявилось, що $\tau_v \approx 0.068$, $NL \approx 15.6$ м-амагат для EZ та 0.149, 33.9 м-амагат для NEB. Ці оцінки також вказують на те, що верхня межа хмарового шару EZ розташована приблизно на $0.78H_g$ вище, ніж для NEB. Як видно, ця оцінка практично збігається з оцінкою різниці висот $(0.70 \pm 0.17)H_g$ за даними для центрального меридіана.

Вважаю своїм приємним обов'язком висловити щире подяку рецензенту за уважне рецензування та зроблені зауваження.

1. Бугаєнко Л. А., Бугаєнко О. И., Гуральчук А. С. и др. Астрономический спектрофотополариметр. III. Информационно-измерительная и регистрирующая система // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. — Киев: Наук. думка, 1985.— С. 169—178.
2. Бугаєнко Л. А., Мельников М. А., Рагозина Л. Е., Самойлов В. С. Астрономический спектрофотополариметр. II. Оптико-механический блок // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. — Киев: Наук. думка, 1985.— С. 164—169.
3. Бугаєнко О. И., Гуральчук А. Л. Астрономический спектрофотополариметр. I. Основные принципы работы // Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел. — Киев: Наук. думка, 1985.— С. 160—164.
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. Гуральчук А. Л., Кучеров В. А., Мороженко А. В. Спектрополяриметрия планет. I. Юпитер // Кинематика и физика небес. тел.—1986.—3, № 2.—С. 57—62.
6. Дементьев М. С., Мороженко А. В. Зоны и полосы диска Юпитера. Различие в вертикальной структуре облачных слоев // Астрон. вестник.—1990.—24, № 4.—С. 275—287.
7. Кучеров В. А. Мищенко М. И., Мороженко А. В. Спектрополяриметрия в полосах поглощения и вертикальная структура планетных атмосфер // Письма в Астрон. журн.—1988.—14, № 9.—С. 835—839.
8. Мороженко А. В. Поляриметрические исследования планет-гигантов. III. Юпитер // Астрон. журн.—1973.—50, № 1.—С. 163—166.
9. Мороженко А. В. Результаты поляриметрических наблюдений Марса в 1971 и 1973 гг. // Астрометрия и астрофизика.—1975.—Вып. 26.—С. 97—107.
10. Мороженко А. В. Результаты поляризационных исследований Юпитера // Астрометрия и астрофизика.—1976.—Вып. 30.—С. 47—54.
11. Мороженко А. В. Временные изменения поляризационных свойств света Юпитера // Кинематика и физика небес. тел.—1988.—4, № 5.—С. 54—59.
12. Мороженко А. В. Зоны и полосы диска Юпитера. Надоблачный слой // Астрон. вестник.—1990.—24, № 3.—С. 211—220.
13. Мороженко А. В. Короткопериодические изменения поляризационных свойств излучения Венеры // Кинематика и физика небес. тел.—1992.—8, № 4.—С. 22—36.
14. Мороженко А. В. Вероятные пределы для размеров частиц и относительных концентраций аэрозоля и метана на уровнях формирования центров полос поглощения метана на $\lambda\lambda$ 727, 619, 543 и 441 нм в атмосфере Нептуна // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 2.—С. 110—122.
15. Karkoschka E. Spectrophotometry of the Jovian planets and Titan at 300- to 1000-nm wavelength: The methane spectrum // Icarus.—1994.—111, N 1.—С. 174—192.

Надійшла до редакції 26.12.00