

УДК 523.4

Ю. Г. Кузнецова

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев ГСП, ул. Академика Заболотного 27

Монохроматические коэффициенты яркости Юпитера и Сатурна

Рассчитаны монохроматические коэффициенты яркости морфологически неоднородных участков облачной поверхности дисков Юпитера и Сатурна в видимом диапазоне длин волн. Выделена деталь комбинационного (рамановского) рассеяния света (псевдоэмиссионного пика) в области сильной фраунгоферовой линии H Ca II в спектрах обеих планет-гигантов. Оценена ее интенсивность.

МОНОХРОМАТИЧНІ КОЕФІЦІЄНТИ ЯСКРАВСТІ ЮПІТЕРА І САТУРНА, Кузнецова Ю. Г. — Розраховано монохроматичні коефіцієнти яскравості морфологічно неоднорідних ділянок хмарової поверхні Юпітера і Сатурна у видимому діапазоні довжин хвиль. Виділено деталь комбінаційного (раманівського) розсіяння світла (псевдоемісійний пік) в області найпотужнішої фраунгоферової лінії H Ca II у спектрах обох планет. Оцінено її інтенсивність.

MONOCHROMATIC BRIGHTNESS FACTORS FOR JUPITER AND SATURN, by Kuznyetsova Yu. G. — The monochromatic brightness factors for cloudy surface fields of Jupiter and Saturn in the visual wavelength range were calculated. The Raman light scattering detail (pseudoemission peak) in the field of the Fraunhofer line H Ca II for both planets Jupiter and Saturn was detected and its intensity was estimated.

Наблюдения планет-гигантов Юпитера и Сатурна проводились на 2-м зеркальном телескопе Цейс-2000 обсерватории пика Терскол (Северный Кавказ) с помощью эшелле-спектрометра высокого разрешения [8], расположенного в фокусе кудэ. Спектральные данные получены 13–14 марта 2001 г. [6] для диска Юпитера в области экваториальной зоны и северной экваториальной полосы, а для Сатурна — в области экватора и полюса. В качестве звезды сравнения для обеих планет использовался солнечный аналог 35 Leo (HD 89010) с известным распределением энергии в спектре [10, 12]. Звезда сравнения наблюдалась в ту же ночь. Наблюдения велись с высоким спектральным разрешением $R = 45000$ и шагом 3.8 пм, в диапазоне длин волн $\lambda\lambda = 393.8\text{—}750$ нм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЯРКОСТИ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Расчеты абсолютной спектральной отражательной способности (коэффициентов яркости ρ_λ) для участков облачной поверхности Юпитера и Сатурна производились по формуле, взятой из работы Бугаенко [2]:

$$\rho(\lambda) = \frac{I_p(\lambda) I_0^*(\lambda) \Delta^2 L^2}{I^*(\lambda) B_S(\lambda) \pi R_S^2 r^2} P(\lambda)^{-\Delta M}, \quad (1)$$

где $I_p(\lambda)$ и $I^*(\lambda)$ — измеренные монохроматические интенсивности излучения планеты и звезды сравнения соответственно, $I_0^*(\lambda)$ — абсолютная интенсивность звезды сравнения, B_S — монохроматическая яркость Солнца, Δ — гелиоцентрическое расстояние планеты, L — геоцентрическое расстояние планеты, R_S — радиус Солнца, r — радиус участка планеты, вырезаемого диафрагмой, $P(\lambda)$ — коэффициенты прозрачности земной атмосферы, ΔM — разница воздушных масс планеты и звезды сравнения. В табл. 1 приведены используемые параметры для планет: экваториальный радиус R , параметр сжатия ϵ , планетоцентрические склонения Земли в системах координат планет D_3 , эквивалентные радиусы планет R_0 , радиус r вырезаемого диафрагмой участка планеты.

Таблица 1. Используемые параметры планет

Планета	R , км	ϵ	D_3 , град	R_0 , км	r , км
Юпитер	71492 ± 4	0.06487	2.75	69147 ± 4	5336.38
Сатурн	60268 ± 4	0.09796	-23.73	57743 ± 4	9496.69

Исследования прозрачности земной атмосферы для пика Терскол проводились в период 1972—1973 гг. [1] и 1996—2002 гг. [7]. По оценкам в работе [7] все три кривые, полученные в указанный временной период, согласуются между собой в пределах точности наблюдений. В наших расчетах мы использовали коэффициенты прозрачности, рассчитанные по монохроматическим коэффициентам экстинкции, усредненным за период 1996—2002 гг. [7].

Воздушные массы M для планет и звезды сравнения определялись по формуле [9]:

$$M = 1 + W[0.9981833 - W(0.002875 + 0.0008083W)],$$

$$W = \frac{1}{\cos z} - 1,$$

где z — зенитное расстояние наблюдаемого объекта.

Так как в качестве звезды сравнения использовался солнечный аналог, то отношение освещенностей от звезды и Солнца с изменением длины волны остается постоянным [4]. Поэтому формулу (1) можно записать в виде

$$\rho(\lambda) = \frac{I_p(\lambda) \Delta^2 L^2}{I^*(\lambda) r^2} 10^{0.4(V_S - V_*)} P(\lambda)^{-\Delta M},$$

где V_S и V_* — оценки блеска Солнца и солнечного аналога 35 Leo в полосе V ($V_S = -26.71^m$ [12] и $V_* = 5.97^m$ [10, 12]).

СПЕКТРАЛЬНЫЙ ХОД КОЭФФИЦИЕНТОВ ЯРКОСТИ

Спектральные распределения коэффициентов яркости, рассчитанных по нашим данным для экваториальной области Юпитера, северной экваториальной полосы Юпитера, экваториальной зоны и южного полюса Сатурна, показаны на рис. 1—3.

На рис. 1, кроме наших данных, сглаженных с окном 1 нм (кривая 1), представлены также данные Л. А. Бугаенко [2] за 1969 г. (кривая 2) и В. М. Клименко [5] за 1979 г. (звездочки). Видно, что данные [2] и [5] хорошо согласуются между собой в области $\lambda = 450...700$ нм. Наши значения ρ_λ существенно выше в области $\lambda < 550$ нм, и несколько ниже в диапазоне $\lambda = 550...620$ нм. Это может быть как следствием ошибок измерений (различные размеры диафрагм, неточность гидирования), так и следствием возможных временных изменений спектральной отражательной

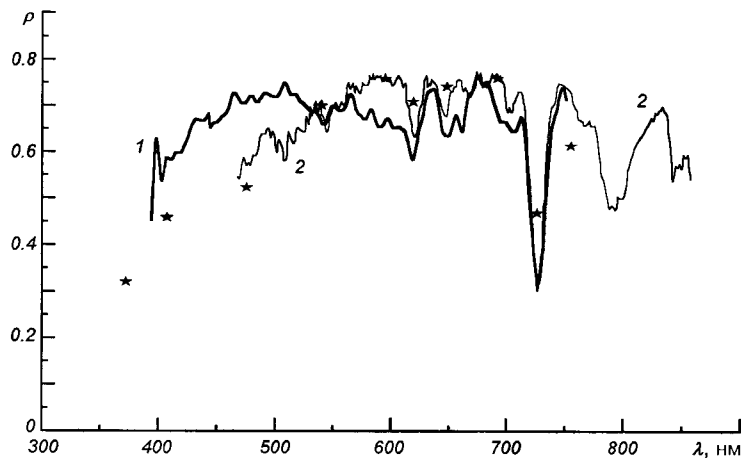


Рис. 1. Спектральный ход коэффициентов яркости в экваториальной области Юпитера: 1 — наши данные, 2 — данные [2] за 1969 г., звездочки — данные [5] за 1979 г.

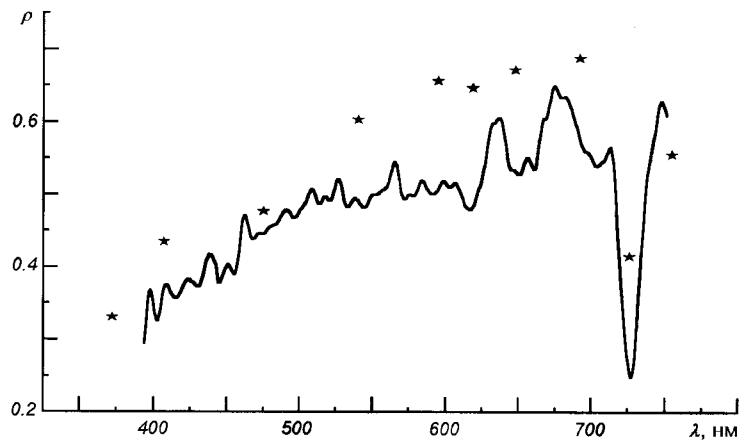


Рис. 2. Спектральный ход коэффициентов яркости в области экваториальной северной полосы Юпитера: сплошная линия — наши данные, звездочки — данные [5] за 1979 г.

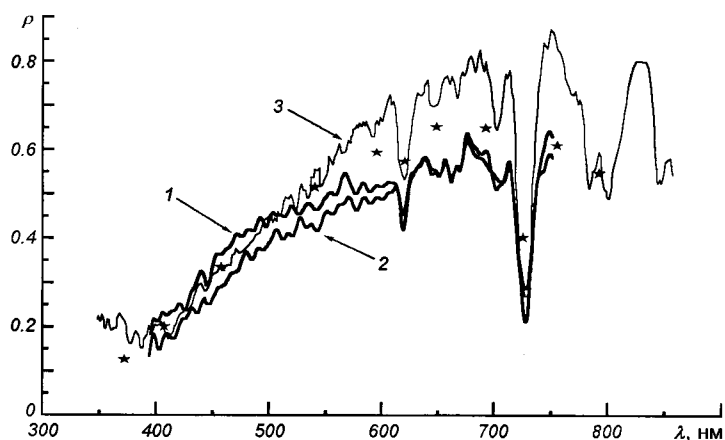


Рис. 3. Спектральный ход коэффициентов яркости деталей диска Сатурна: 1 — южный полюс, 2 — экваториальная зона; 3 — центр диска по данным [2] за 1971 г.; звездочки — центр диска по данным [3] за 12—13 мая 1979 г.

способности участков облачной поверхности планеты.

На рис. 2 показан спектральный ход коэффициентов яркости северной экваториальной полосы Юпитера: сплошная линия — наши данные, звездочки — данные [5] за 1979 г. Хорошо заметно, что значения ρ_λ из работы [5] систематически превышают на небольшую величину наши значения ρ_λ , особенно в области длин волн $\lambda > 520$ нм.

На рис. 3 приведены спектральные распределения коэффициентов яркости ρ_λ по диску Сатурна: в области южного полюса (кривая 1) и экваториальной зоны (кривая 2), построенные по нашим данным, а также для центра диска — по данным [2] за 1971 г. (кривая 3) и А. П. Видьмаченко [3] за 1979 г. (звездочки). Известно, что значения коэффициентов яркости сильно зависят от фазового угла планеты. Поэтому значения ρ_λ из работы [3] были выбраны на дату 12—13 мая 1979 г., так как фазовый угол Сатурна на этот момент ($\alpha = 5.97^\circ$) был очень близок к фазовому углу во время наших наблюдений ($\alpha = 5.58^\circ$) и наблюдений [2] ($\alpha = 6^\circ$). Кривые спектральной зависимости ρ_λ для 1971 г. и 1979 г. хорошо согласуются между собой до $\lambda = 550$ нм и превышают на небольшую величину наши данные (кривая 2). В красной области спектра это расхождение усиливается. Можно предположить, что начиная с 1971 г. яркость центральной области Сатурна регулярно уменьшалась вплоть до 2001 г.

РАМАНОВСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СПЕКТРАХ ПЛАНЕТ-ГИГАНТОВ

Комбинационное (или рамановское) рассеяние света в атмосферах планет проявляется в нескольких наблюдаемых эффектах. Один из них заключается в том, что интенсивность фраунгоферовых линий в диффузно отраженном атмосферой планеты солнечном излучении меньше, чем в спектре Солнца. Поэтому при делении спектров планет на спектр Солнца (или спектр звезды — солнечного аналога) на месте фраунгоферовых линий появляются детали комбинационного рассеяния света, так называемые псевдоэмиссионные пики. В частности, по оценкам некоторых исследовате-

Таблица 2. Оценки центральных интенсивностей псевдоэмиссионных пиков комбинационного рассеяния света для фраунгоферовой линии H Ca II

Планета	$(I_{H\text{Ca II}} - I_0)/I_0, \%$	Планета	$(I_{H\text{Ca II}} - I_0)/I_0, \%$
Юпитер (EZ)	26	Сатурн (EZ)	28.6
Юпитер (NEB)	18	Сатурн (SP)	8.6

лей псевдоэмиссии мощных фраунгоферовых линий H и K Ca для Юпитера могут достигать 10 % [11].

В полученных спектрах выделить этот эффект также оказалось возможным. После исключения спектра Солнца, выполненного делением на спектр звезды 35 Leo, в спектрах деталей дисков Юпитера и Сатурна на месте фраунгоферовой линии H Ca II ($\lambda = 396.8$ нм) появились псевдоэмиссионные пики. К сожалению, линия K Ca II ($\lambda = 393.3$ нм) при наблюдениях не попала в исследуемый спектральный диапазон.

Оценки центральных интенсивностей псевдоэмиссионных пиков в линии H Ca II для различных морфологических деталей облачных поверхностей Юпитера и Сатурна, приведенные в табл. 2, сделаны по оригинальным наблюдательным данным (разрешение $R = 45000$).

Автор благодарна А. П. Видьмаченко за полезные обсуждения, а также М. В. Андрееву за помощь в оформлении статьи.

1. Аврамчук В. В., Семенюк Т. П. Определение спектрального коэффициента прозрачности земной атмосферы на пике Терскол в октябре—ноябре 1973 г. // Астрометрия и астрофизика.—1975.—Вып. 26.—С. 113—116.
2. Бугаенко Л. А. Монохроматические коэффициенты яркости планет-гигантов // Астрон. вестник.—1972.—6, № 1.—С. 19—21.
3. Видьмаченко А. П. Абсолютная электрофотометрия деталей диска Сатурна // Физика планетных атмосфер. — Киев: Наук. думка, 1981.—С. 113—131.
4. Деметьев М. С. Спектрофотометрические исследования атмосфер Урана и Нептуна: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1999.—220 с.—Машинопись.
5. Климченко В. М. Оптические характеристики деталей диска Юпитера: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1983.—187 с.—Машинопись.
6. Кузнецова Ю. Г., Бондар А. В. Результаты спостережень протяжних об'єктів, отриманих за допомогою куде-ешеле-спектрометра на 2-метровому телескопі обсерваторії піку Терскол (Північний Кавказ) // Журн. фіз. досліджень.—2002.—6, № 4.—С. 411—413.
7. Кулик И., Йокерс К., Креднер Т., Бонев Т. Спектральная зависимость коэффициента экстинкции для пика Терскол // Кинематика и физика небес. тел.—2004.—20, № 4.—С. 372—378.
8. Мусаев Ф. А., Галазутдинов Г. А., Сергеев А. В. и др. Кудэ-эшеле-спектрометр для 2-м телескопа на пике Терскол // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 3.—С. 282—287.
9. Страйжис В. Многоцветная фотометрия звезд. — Вильнюс: Мокслас, 1977.—311 с.
10. Харитонов А. В., Терещенко В. М., Князева Л. Н. Спектрофотометрический каталог звезд. — Алма-Ата: Наука, 1988.—477 с.
11. Cochran W. D., Trafton L., Masy W., Woodman J. H. Raman scattering in the Jovian atmosphere // Astrophys. J.—1981.—247, N 2.—P. 734—740.
12. Hardorp J. The Sun among the stars. III. Energy distributions of 16 northern G-type stars and the solar flux calibration // Astron. and Astrophys.—1980.—91, N 1-2.—P. 221—232.

Поступила в редакцию 26.06.08