

УДК 523.4—355

О природе неотжествленных депрессий в спектрах Урана и Нептуна

М. С. Дементьев

На основании спектральных наблюдений Урана и Нептуна ($\lambda\lambda$ 390—840 нм) показано, что длины волн большей части неотжествленных слабых депрессий в спектрах этих планет хорошо согласуются с вычисленными положениями для одновременных переходов в молекулах метана и водорода.

ON THE NATURE OF UNIDENTIFIED FEATURES IN THE SPECTRA OF URANUS AND NEPTUNE, by Dement'ev M. S. Analysis of the spectral observations of Uranus and Neptune ($\lambda\lambda$ 390-840 nm) shows that the majority of unidentified weak features in the spectra of these planets are in good agreement with the calculated positions for simultaneous transitions in methane and hydrogen molecules.

В спектрах Урана и Нептуна наблюдается ряд слабых депрессий, неотжествленных с каким-либо молекулярным поглощением. В данной работе мы попытались отождествить эти депрессии с одновременными переходами в молекулах метана и водорода. Предположение о существовании одновременных переходов в указанных молекулах высказал Дэниелсон [5], пытаясь объяснить депрессии в спектре Урана на длинах волн короче 619 нм. Согласно теории одновременных переходов [8], при столкновении молекул CH_4 и H_2 один фотон может одновременно вызвать разрешенный переход ν_{CH_4} в молекуле метана и индуцированный ν_{H_2} в молекуле водорода. При этом могут быть как суммарные переходы $\nu_{\text{CH}_4} + \nu_{\text{H}_2}$, так и разностные $\nu_{\text{CH}_4} - \nu_{\text{H}_2}$. В результате появляются полосы поглощения, наблюдающиеся лишь в данной смеси и отсутствующие в спектрах каждого из этих газов в отдельности. Дэниелсон [5] рассчитал длины волн некоторых суммарных переходов в смеси $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, комбинируя индуцированные вращательные $S(0)$, $S(1)$, колебательный Q_1 и колебательно-вращательные $S_1(0)$, $S_1(1)$ переходы в H_2 с разрешенными переходами в CH_4 на $\lambda\lambda$ 619, 666.7, 702, 725, 784, 841.6, 860.6, 887.3, 970.9, 988.7 и 1010 нм. Вычисленные положения одновременных переходов почти совпали с депрессиями, наблюдаемыми в спектре Урана на $\lambda\lambda$ 486, 509, 521, 543, 557, 576 и 597 нм. Позже было показано [7, 9, 10], что эти депрессии вполне могут быть объяснены поглощением метана, и вопрос о существовании одновременных переходов в $\text{CH}_4 + \text{H}_2$ остался открытым. Не дали положительных результатов и лабораторные поиски полос, связанных с одновременными переходами, в спектрах смеси CH_4 и H_2 с произведениями содержаний газов 3 (км/ат)² [7] и 60 (км/ат)² [9]. По-видимому, причиной обнаружения указанных полос является их слабая интенсивность при данных содержаниях метана и водорода. Поскольку произведение содержаний CH_4 и H_2 в атмосферах Урана и Нептуна [6], по крайней мере, на порядок больше, то не исключено, что в спектрах этих планет данные полосы проявятся.

В отличие от [5] мы рассмотрели более слабые депрессии, обнаруженные в спектрах Урана и Нептуна в последние годы. Кроме того, мы учли возможность существования одновременных переходов, включающих полосы поглощения CH_4 с $\lambda < 619$ нм, рассчитали их длины волн, комбинируя полосы поглощения метана $\lambda \leq 619$ нм с вращательными $S(0)$, $S(1)$, колебательным Q_1 и колебательно-вращательными переходами $S_1(0)$, $S_1(1)$ в H_2 . Расчеты выполнены по формуле: $\lambda_{\text{CH}_4 + \text{H}_2} = (\nu_{\text{CH}_4} + \nu_{\text{H}_2})^{-1}$, где $\lambda_{\text{CH}_4 + \text{H}_2}$ — длина волны одновременного перехода в $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, ν_{CH_4} , ν_{H_2} — волновые числа переходов в CH_4 и H_2 . Волновые числа метановых полос взяты из работы [9], а волновые числа вра-

щательных (354 см^{-1} , 587 см^{-1}), колебательного (4161 см^{-1}) и колебательно-вращательных (4514 см^{-1} , 4747 см^{-1}) переходов H_2 из [4]. Разностные переходы не вычислялись, поскольку в атмосферах Урана и Нептуна при условии термодинамического равновесия они маловероятны. Вычисленные положения одновременных переходов (вертикальные линии на рисунке) мы сравнили с данными своих наблюдений этих планет, полученными в 1981—1983 гг. на 60-см рефлекторе (гора Майданак) со спектральным разрешением 2 нм [2]. Оказалось, что целая группа депрессий хорошо согласуется с положениями одновременных переходов, включающих вращательные компоненты $S(0)$ и $S(1)$ H_2 . Практически для каждой сильной метановой полосы как Урана, так и Нептуна найдено по две депрессии, соответствующие указанным переходам. Длины волн неотжествленных ранее депрессий в спектрах Урана и Нептуна, полученные разными авторами, и вычисленные длины волн полос, обусловленных одновременными пере-

Отжествление слабых депрессий в спектрах Урана и Нептуна с одновременными переходами в $\text{CH}_4 + \text{H}_2$, включающими вращательные компоненты $S(0)$ и $S(1)$ H_2

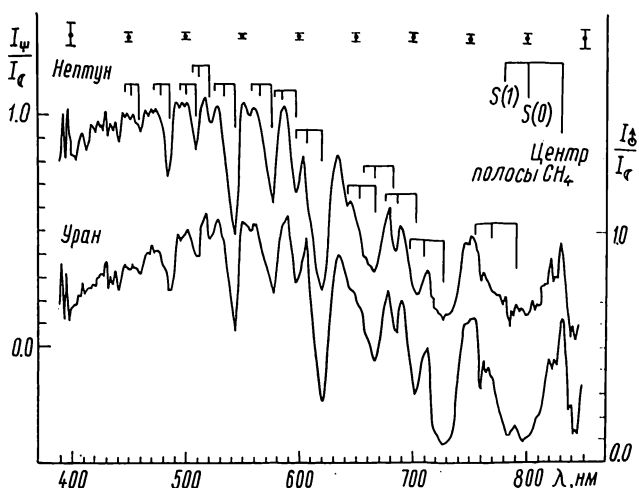
Наблюдаемые депрессии, нм			Отжествление с одновременными переходами в $\text{CH}_4 + \text{H}_2^*$	
Данная работа	[1]	[3]	Вычисленная длина волны, нм	Тип одновременных переходов в $\text{CH}_4 + \text{H}_2$
404	—	—	—	—
407	—	—	—	—
411	—	—	—	—
416	—	—	—	—
421	—	—	—	—
427	—	—	—	—
432	—	—	—	—
436	438	—	—	—
447	445	—	447	$\text{CH}_4(459) + \text{H}_2(S(1))$
451	453	—	451.7	$\text{CH}_4(459) + \text{H}_2(S(0))$
467	465.6	—	—	—
472	—	—	472.5	$\text{CH}_4(486) + \text{H}_2(S(1))$
—	474.5	—	—	—
478	480	—	477.8	$\text{CH}_4(486) + \text{H}_2(S(0))$
494.5	495	—	494.2	$\text{CH}_4(509) + \text{H}_2(S(1))$
499	—	—	500	$\text{CH}_4(509) + \text{H}_2(S(0))$
—	502	502	—	—
504	504	504	505.5	$\text{CH}_4(521) + \text{H}_2(S(1))$
—	523	523	—	—
527	—	—	526.2	$\text{CH}_4(543) + \text{H}_2(S(1))$
533	534	534	532.8	$\text{CH}_4(543) + \text{H}_2(S(0))$
—	537.6	537	—	—
—	539.3	—	—	—
561	—	—	—	—
564	566	566	564.5	$\text{CH}_4(576) + \text{H}_2(S(0))$
—	568	568	—	—
584	584	—	584.6	$\text{CH}_4(597) + \text{H}_2(S(0))$
—	592	—	—	—
—	—	595	597.3	$\text{CH}_4(619) + \text{H}_2(S(1))$
605	—	—	605.7	$\text{CH}_4(619) + \text{H}_2(S(0))$
609	609	609	—	—
—	614	614	—	—
643	642.7	—	641.9	$\text{CH}_4(667) + \text{H}_2(S(1))$
—	647.5	—	—	—
650	649.8	—	651.6	$\text{CH}_4(667) + \text{H}_2(S(0))$
656.5	656.1	656	656.2	$\text{CH}_4(682.5) + \text{H}_2(S(1))$
—	661.3	662	—	—
—	667.7	668	666.4	$\text{CH}_4(703) + \text{H}_2(S(1))$
—	—	—	697.2	$\text{CH}_4(727) + \text{H}_2(S(1))$
709	—	—	708.8	$\text{CH}_4(727) + \text{H}_2(S(0))$

* В скобках указаны длина волны разрешенного перехода в CH_4 и тип вращательного перехода в H_2 .

ходами, приведены в таблице. Различия в наблюдаемых и вычисленных положениях депрессий не выходят за пределы точности наблюдений.

Что касается переходов с колебательной и колебательно-вращательными компонентами, то отождествление их проблематично, хотя есть некоторые совпадения этих переходов с рядом депрессий.

Депрессии на $\lambda\lambda$ 436 и 467 нм скорее всего обусловлены поглощением метана. Депрессия на λ 436 нм хорошо совпадает с деталью,



Спектры Урана и Нептуна

имеющейся в лабораторном спектре метана [9] в крыле полосы 441 нм. Депрессия на λ 467 нм находится в том месте, где ожидается более высокий обертоном для последовательности полос $\lambda\lambda$ 521, 597, 703, 861 нм. Следуя классификации [9], ее можно отождествить как $6\nu_1 + 2\nu_3$.

Итак, имеются достаточно весомые основания считать, что в спектрах Урана и Нептуна, обладающих мощными водородно-метановыми атмосферами и более разреженными облачными слоями, могут проявиться одновременные переходы системы метан — водород. Для окончательной проверки этого предположения необходимо выполнить расчеты вероятности таких переходов и провести наблюдения планет со спектральным разрешением менее одного нанометра.

1. Атаи А. А. Спектрофотометрия Урана и Нептуна в области $\lambda\lambda$ 4300—7000 Å // Астрон. вестн.—1980.—24, № 3.— С. 154—161.
2. Деметьев М. С. Молекулярное поглощение в коротковолновой области спектра Нептуна // Астрон. циркуляр.—1982.—№ 1236.— С. 4—5.
3. Adel A., Slipher V. M. The constitution of the atmospheres of the giant planets // Phys. Rev.—1934.—46, N 1.— P. 902—906.
4. Cochran W. D., Trafton L. M. Raman scattering in the atmospheres of the major planets // Astrophys. J.—1978.—219, N 2.— P. 756—762.
5. Danielson R. E. The visible spectra of Uranus // Ibid.—1974.—192, N 2.— P. L107.
6. Danielson R. E. The structure of the atmosphere of Uranus // Icarus.—1977.—30, N 3.— P. 462—478.
7. Dick K. A., Fink U. The photoelectric absorption spectra of methane (CH_4), methane and hydrogen (H_2) mixtures, and ethane (C_2H_6) // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.—1977.—18, N 4.— P. 433—446.
8. Hooge F. N., Ketelaar J. A. A. Simultaneous vibrational transitions // Physica.—1957.—23, N 5.— P. 423—435.
9. Giver L. P. Intensity measurements of the CH_4 bands in the region 4350 Å to 10600 Å // J. Quant. Spectrosc. and Radiat. Transfer.—1978.—19, N 3.— P. 311.
10. Lutz B. L., Owen T., Cess R. D. Laboratory band strengths of methane and their application to the atmospheres of Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, and Titan // Astrophys. J.—1976.—203, N 2.— P. 541—551.