

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, Н. И. МОСКАЛЕНКО

**ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЕЙ
ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ЮПИТЕРА**

В настоящей работе обсуждены особенности формирования полей теплового излучения в надоблачной атмосфере Юпитера. Необходимые для выполнения расчетов спектральных интенсивностей нисходящего $I_{\lambda\downarrow}(Z, \theta)$ и восходящего $I_{\lambda\uparrow}(Z, \theta)$ излучения (Z — высота наблюдения, $\theta(Z)$ — зенитный угол визирования), вертикальные профили температуры $T(Z)$ и давления $P(Z)$ (см. табл. 1) были составлены на основе данных астрофизических наблюдений (¹⁻⁴). Объемные концентрации газовых компонентов атмосферы приняты равными 0,86578; 0,13214; 0,00062; 0,00015 соответственно для H_2 , He, CH_4 , NH_3 . Параметры функции спектрального пропускания NH_3 , CH_4 , He, H_2 для условий водородно-гелиевой атмосферы были получены на основе собственных экспериментальных данных и данных (^{5, 6}) по методике (⁷). Вычисления $I_{\lambda\downarrow\uparrow}$ выполнены по схеме (⁷), учитывающей сферичность Юпитера и рефракцию радиации в атмосфере, а также селективность отраженного от подстилающей поверхности противоизлучения атмосферы. Примеры спектров $I_{\lambda\downarrow\uparrow}$ представлены на рис. 1.

Характерные особенности формирования полей излучения в надоблачной атмосфере Юпитера объясняются спектральной структурой функции пропускания и сильным поглощением и.к. радиации в колебательно-вращательных полосах атмосферного NH_3 , CH_4 и индуцированных давлением полосах H_2 . При этом NH_3 играет определяющую роль в тепловом режиме Юпитера, так же как пары H_2O в атмосфере Земли. Многочисленные полосы NH_3 охватывают область спектра от 0,8 до 200 мкм, а окна прозрачности NH_3 перекрываются полосами поглощения CH_4 и H_2 . В области от 2 до 200 мкм одна воздушная масса атмосферы Юпитера является непрозрачной, за исключением узкого участка спектра в окрестности 4,5 мкм. В связи с этим определение температуры облачности можно проводить лишь по тепловому излучению в окрестности длин волн от 4,4 до 4,7 мкм.

Спектральная структура $I_{\lambda\downarrow}$, $I_{\lambda\uparrow}$ на высотах $Z < 50$ км проявляется слабо. С увеличением Z максимум интенсивности $I_{\lambda\uparrow}$ смещается в более

Таблица 1

Z, км	P(Z), атм	T ₁ (Z)	T ₂ (Z)	Z, км	P(Z), атм	T ₁ (Z)	T ₂ (Z)
0	3,0	266	225	60	0,52	138	115
6	2,65	254,8	220	66	0,38	119	116
12	2,3	239	198,7	72	0,24	119,5	110
18	1,95	227	182	78	0,11	110	125,5
24	1,65	215	167,5	84	0,084	110	131,7
30	1,4	202	152,5	90	0,068	112	135,1
36	1,06	189,2	138,2	100	0,05	120	137,7
42	0,92	177	134,7	115	0,021	133	139,5
48	0,78	165	120	130	0,007	146	148
54	0,64	154	116	150	0,003	158	146

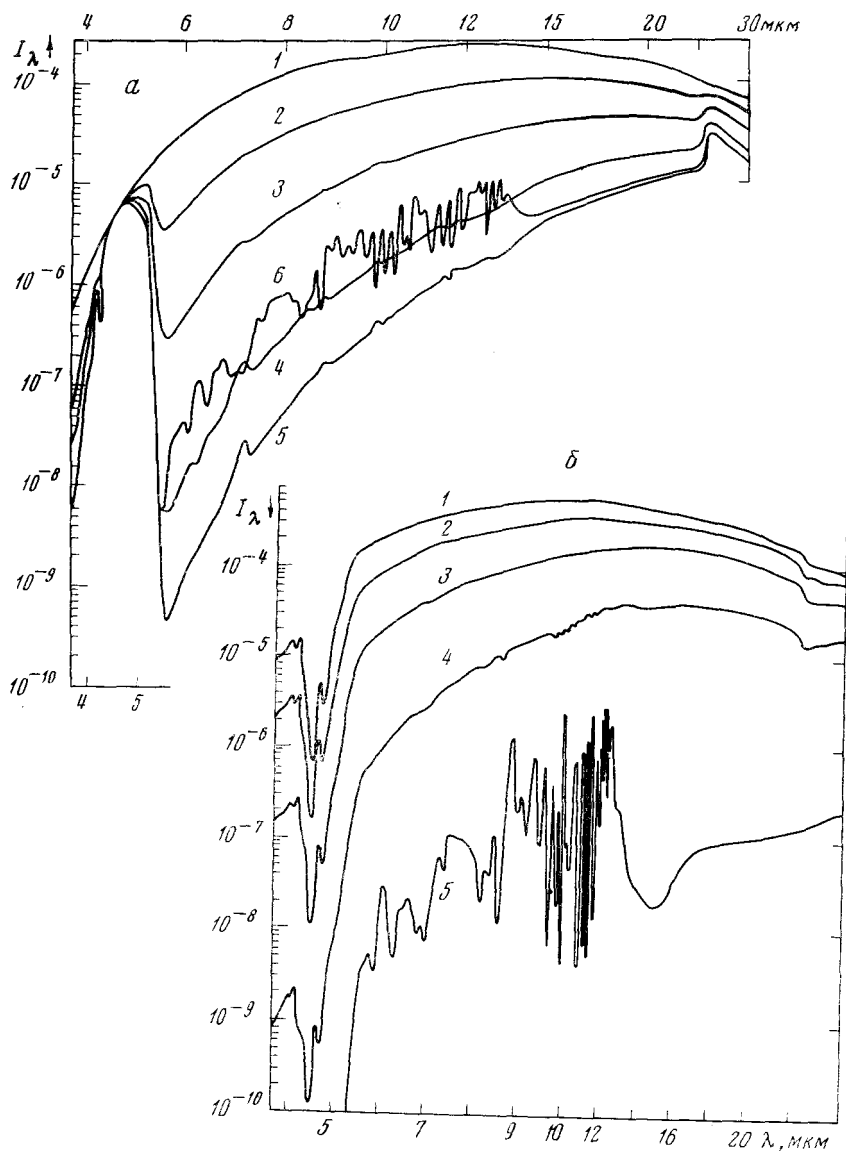


Рис. 1. *a* — спектральная интенсивность восходящего I_{λ}^{\uparrow} теплового излучения для стратификации 2 атмосферы Юпитера на высотах Z , км: 1 — 0, 2 — 14, 3 — 26, 4 — 42, 5 — 65, 6 — 130, $\theta=0$; *b* — то же нисходящего I_{λ}^{\downarrow} теплового излучения для стратификации 1 атмосферы Юпитера на высотах Z , км: 1 — 0, 2 — 10, 3 — 26, 4 — 46, 5 — 115, $\theta=0$. I_{λ} — в единицах $\text{вт}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{мкм}^{-1}\cdot\text{стерад}^{-1}$

длинноволновую область. В диапазоне спектра 5—25 мкм значения I_{λ}^{\downarrow} и I_{λ}^{\uparrow} не зависят от θ и совпадают со спектральной яркостью излучения черного тела при температуре $T(Z)$. В области 4,3—5,3 мкм расположен максимум I_{λ}^{\uparrow} , обусловленный слабым поглощением радиации атмосферой. С увеличением θ глубина максимума I_{λ}^{\uparrow} уменьшается. Вследствие отрицательного градиента $\partial T/\partial Z$ значения I_{λ}^{\uparrow} уменьшаются с увеличением Z . При $Z < 50$ км угловая зависимость I_{λ}^{\uparrow} , I_{λ}^{\downarrow} проявляется только в области 4,3—5,3 мкм, причем с увеличением θ значения I_{λ}^{\uparrow} уменьшаются, а значения I_{λ}^{\downarrow} увеличиваются.

В области 20—30 мкм спектральная структура I_{λ}^{\downarrow} и ее зависимость от θ проявляется на всех высотах.

В диапазоне высот $Z > 50$ мкм с отрицательным градиентом температуры $I_{\lambda} \uparrow$ уменьшается с увеличением Z , а ее спектральная структура коррелирует с функцией спектрального пропускания атмосферы. Окнам прозрачности атмосферы соответствуют максимумы значений $I_{\lambda} \uparrow$, а минимумы — участкам спектра с сильным поглощением. С увеличением θ спектральная структура $I_{\lambda} \uparrow$ смазывается. В окрестности тропопаузы, где вертикальный профиль температуры претерпевает инверсионное изменение, могут наблюдаться как увеличение, так и уменьшение $I_{\lambda} \uparrow$ с ростом Z в зависимости от спектрального интервала и θ .

Из-за больших температурных контрастов в атмосфере спектральные интенсивности $I_{\lambda} \uparrow$ (вт·см⁻²·мкм⁻¹·стерад⁻¹) сильно изменяются с изменением Z , особенно в коротковолновой части спектра:

λ , мкм	3,8	4,0	4,6
$I_{\lambda} \uparrow$	$1 \cdot 10^{-13} - 4 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-12} - 5 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5} - 4,5 \cdot 10^{-5}$
λ , мкм	5,0	5,3	7,0
$I_{\lambda} \uparrow$	$1 \cdot 10^{-9} - 7 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-11} - 1,2 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-9} - 2,4 \cdot 10^{-4}$
λ , мкм	9,0	11	30
$I_{\lambda} \uparrow$	$1,2 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-6} - 1 \cdot 10^{-4}$

Для Юпитера, так же как для Земли, Венеры, Марса (^{7, 8}), температурные контрасты атмосферы оказывают определяющее влияние на формирование полей восходящего теплового излучения. Вариации концентраций NH₃, CH₄, H₂ оказывают более слабое влияние на радиационные контрасты. Влияние вариаций спектрального альбеда на значения $I_{\lambda} \uparrow$ проявляется лишь в узкой области 4,4—4,8 мкм. В других участках спектра излучение подстилающей поверхности экранируется сильно поглощающей атмосферой.

Наиболее перспективными участками спектра для решения задачи термического зондирования тропосферы Юпитера являются спектральные области 4,4—4,8 мкм и 15—25 мкм, где поглощение определяется комплексами водорода. Для дистанционного зондирования атмосферы на высотах $Z > 70$ км могут использоваться области с сильным поглощением радиации колебательно-вращательными полосами NH₃ в спектральном диапазоне $6 < \lambda < 15$ мкм и область чисто вращательного спектра NH₃ с $\lambda > 30$ мкм.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
9 IX 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. J. Weindenschilling, J. S. Lewis, Icarus, v. 20, № 4, 465 (1973). ² E. Öpic, Icarus, v. 1, № 3, 200 (1962). ³ J. S. Hogan, S. I. Rasool, T. Encrenar, J. Atmosph. Sci., v. 26, № 5, 898 (1969). ⁴ J. Owen, Icarus, v. 16, № 2, 392 (1972). ⁵ J. A. Ketelaar, Spectrochim. acta, v. 14, № 2, 237 (1957). ⁶ В. Н. Филлимонов, УФН, т. 69, в. 4, 565 (1959). ⁷ И. И. Москаленко, А. Р. Закирова, Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, т. 8, № 8, 829 (1972). ⁸ К. Я. Кондратьев, А. М. Бунакова, там же, т. 9, № 3 247 (1973).