

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННОГО НОЧНОГО СВЕЧЕНИЯ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ ЗЕМЛИ И МАРСА В АТМОСФЕРНЫХ ПОЛОСАХ.

Цель данной работы – провести сравнение результатов теоретических расчетов интенсивностей свечения Атмосферных полос в диапазоне 600-900 нм с экспериментальными данными об интенсивности ночного свечения молекулярного кислорода O_2^ в излучении верхней атмосферы Земли и Марса в спокойных геомагнитных условиях.*

*Антоненко О.В., Кириллов А.С.
Полярный геофизический институт
Апатиты .*

- Излучение космического пространства (звезды, туманности, галактики, зодиакальный свет) в видимой области спектра составляет только часть общей интенсивности свечения ночного неба [Newcomb, 1901, Хвостиков, 1937]. Это впервые было показано ещё в начале 20го века.
- Современные данные [Шаров, Липаева, 1973; Роч, Гордон, 1977] показывают, что для видимой области спектра величина суммарного звездного излучения составляет ~ 10 килорэлей и ~ 7 килорэлей для собственного излучения верхней атмосферы при спокойных геомагнитных условиях на средних широтах Земли.
- Так, к концу второго десятилетия 20-го века стало очевидным, что в атмосфере Земли происходят процессы, отображением которых является собственное излучение ночной атмосферы [Шефов, 2006].
- Спектральные исследования атмосферы Марса начались еще в 70х годах прошлого века. Сейчас на орбите работают спутники, в частности, Марс Экспресс с 2003г. Цитируя труд Gagné, M.-È. [Gagné, M.-È., et al., 2012] «...наконец, Федорова и др. [A.A. Fedorova et al., 2012] сообщили об измерениях ИК-излучение O_2 с помощью SPICAM в ночное время» Разумеется, речь идёт о собственном излучении атмосферы. Величина излучения составляет ~ 0.2 – 0.4 Мегарэлей. Это период, приблизительно, 2010 г.

Поглощаемая энергия Солнца создаёт определённый термический режим в каждой области атмосферы, откликом которого является излучение молекул и атомов кислорода в этой области. Происходит фотодиссоциация молекул O_2 (Земля), CO_2 (Марс) солнечным УФ излучением и образованием электронно-возбуждённых молекул кислорода в результате тройных столкновений атомов кислорода с доминирующими на планете частицами. Электронно-возбуждённый кислород, «в свою очередь», в процессе релаксации, излучает в атмосферу свет, являясь источником свечения в различных полосах в ночной атмосфере планет.

Процессы фотодиссоциации молекул и релаксации возбуждённых частиц участвуют в установлении термического равновесия атмосферы [Шефов, 2006].

В настоящей работе рассматривается интенсивность излучения Атмосферной (Атм) (1) и Инфракрасной (ИК Атм) (2) систем полос:

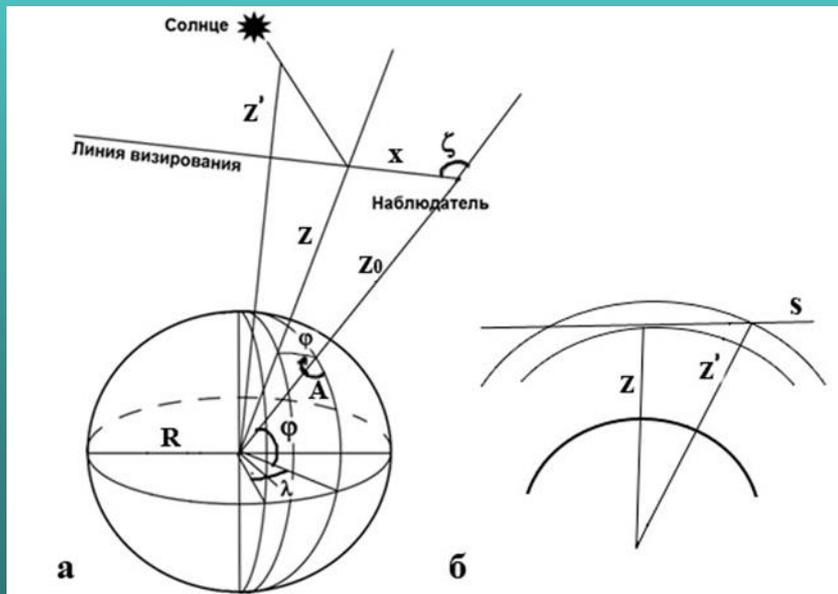


где v' – колебательные уровни $b^1\Sigma_g^+, v'$ состояния Инфракрасных атмосферных полос, v'' – колебательные уровни основного $X^3\Sigma_g^-$ состояния,



где v' – колебательные уровни $a^1\Delta_g$ состояния Инфракрасных атмосферных полос, v'' – колебательные уровни основного $X^3\Sigma_g^-$ состояния

Необходимо подчеркнуть, что ночное и даже сумеречное её излучение обладает весьма малой интенсивностью по сравнению с привычным окружающим дневным освещением. Это ставит достаточно высокие требования к выбору спектральной аппаратуры и необходимой её чувствительности [Шефов, 2006]. Высокое спектральное разрешение аппаратуры дает возможность с поверхности Земли наблюдать молекулярные полосы и измерять их интенсивность. Однако, наземным наблюдениям присущи определенные ограничения из-за возможного поглощения и рассеяния излучения атмосферными газами. Поэтому, спектрометрические измерения с космических аппаратов имеют большое значение для подобных исследований. Поддерживать эксперименты, сопоставимые и с наземными, и со спутниковыми способна единственная космическая платформа - космический шаттл, или космическая транспортная система (STS) [Broadfoot A.L., Bellaire P.J., Jr., 1999].



Геометрия ориентации положения наблюдателя над поверхностью Земли (а), б) - схема проведения излучающего слоя вдоль касательной к поверхности Земли.

Z_0 высота наблюдателя,

X расстояние вдоль оси визирования,

ζ зенитный угол линии визирования, φ и λ широта и долгота точки, над которой находится наблюдатель,

S касательная к поверхности планеты для измерения вдоль лимба.

Поскольку инфракрасное атмосферное излучение на Марсе является наиболее интенсивным [Gagné, M.-È., 2012], можно предположить, что не все молекулы O_2^* , образующиеся в результате реакции трёхчастичной рекомбинации, находятся в $O_2^*(a^1\Delta_g)$ состоянии. Некоторые из них образуются и из более высокоэнергетичных возбужденных состояний, которые релаксируют до $O_2^*(a^1\Delta_g)$ [А.А. Fedorova et al., 2012]. В атмосфере Марса предполагаются эмиссии O_2^* , включающие системы полос Герцберга I, II, III и Чемберлена, поскольку они наблюдаются на Венере [Mullen et al., 2006; Migliorini et al., 2011]. Сходство между составом атмосфер Венеры и Марса на высоте пика свечения атмосферы O_2^* (показано в таблице 1) поддерживает предположения о том, что эти эмиссии могут происходить в марсианскую атмосферу, не смотря на то, что до сих пор не обнаружены.

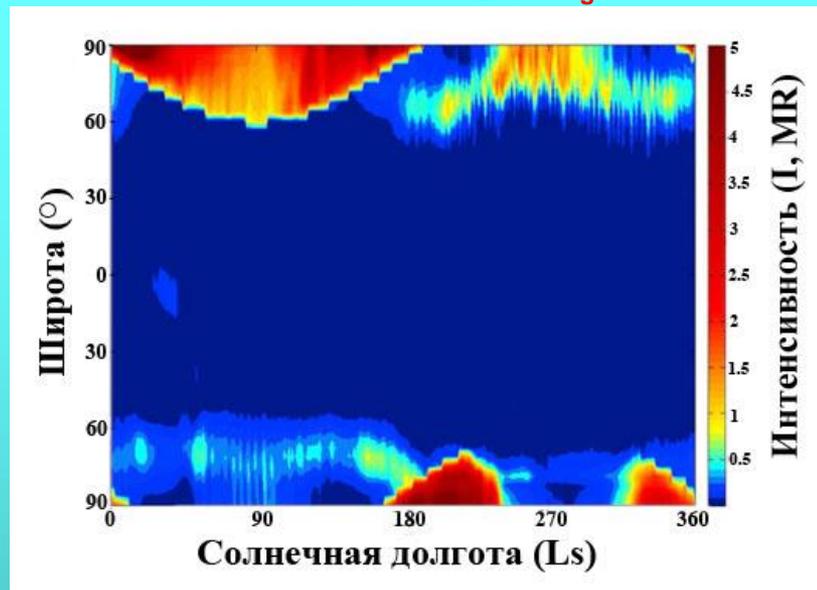
Таблица 1. Состав атмосфер Венеры ($z = 95$ км) и Марса ($z = 50$ км)

	Венера	Марс
T(K)	150	180
CO ₂	$1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$	$8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$
O	$2 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$

Таблица 2. Измерения ночного излучения $O_2^*(a^1\Delta_g)$

Сезонная карта выброса $O_2^*(a^1\Delta_g)$ в 00 LT

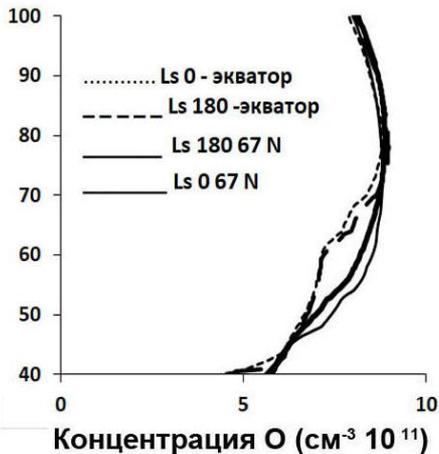
Наблюдения				Модель		
Спектрограф	L_S (°)	lat (°)	z_{max} (km)	I (MR)	z_{max} (km)	I (MR)
OMEGA	118	76.5 S	42	0.24	48	0.428
OMEGA	197	70 N	43.5	0.15	58	0.374
OMEGA	3	85 S	49	0.34	62	0.215
SPICAM	111	83.3 S	48–52	0.22	52	0.247
SPICAM	115	83.2 S	48–52	0.25	52	0.162
SPICAM	120	83.0 S	48–52	0.194	52	0.179
SPICAM	152	82.4 S	44–60	0.344	56	0.133
SPICAM	157	82.3 S	44–60	0.391	56	0.178
SPICAM	161	82.2 S	44–60	0.277	56	0.216
SPICAM	164	82.1 S	44–60	0.385	56	0.224



В таблице 2 представлены измерения ночного излучения $O_2^*(a^1\Delta_g)$ 1,27 мкм, сделанное с помощью OMEGA [Bertaux et al., 2012], а также с помощью SPICAM [A.A. Fedorova et al., 2012]. Результаты модели приведены для той же широты и сезона, что и для наблюдения. Из этой таблицы видно, что в большинстве случаев смоделированная интенсивность меньше, чем измеренная. Для пиковой высоты, наша модель хорошо согласуется со значениями, измеренными SPICAM. Среди смоделированных выбросов мы обнаружили, что инфракрасное излучение атмосферы, как и ожидалось, является наиболее интенсивным и имеет максимальную интенсивность, достигающую нескольких мегарэлей.

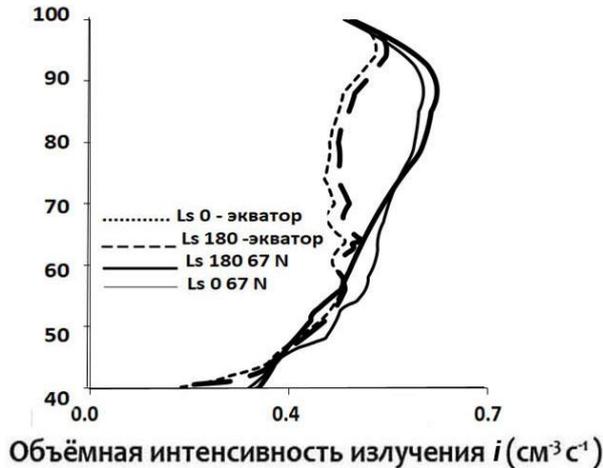
Сезонная карта (справа) для этого же выброса $O_2^*(a^1\Delta_g)$ в 00 LT.. Результаты нашей модели находятся в том же диапазоне величины, как значения OMEGA. [Gagné, M.-È., 2012].

Высота, км



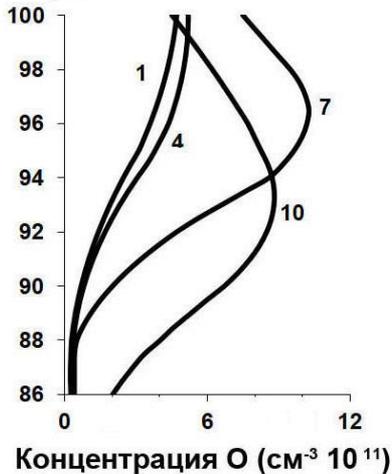
а

Высота, км



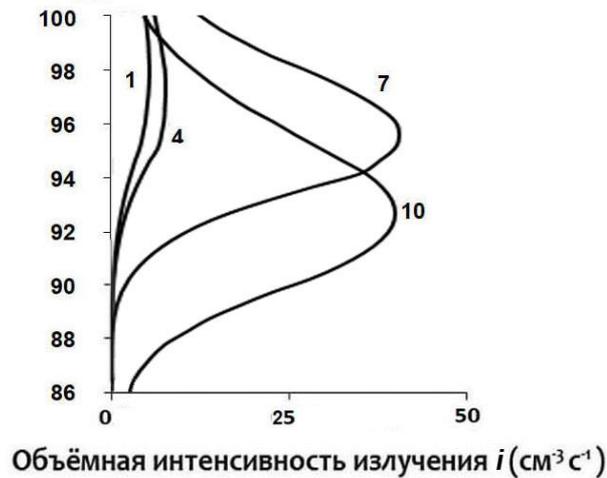
б

Высота, км



в

Высота, км



г

$$i(v' \rightarrow v'') = [O_2^*] A(v' \rightarrow v'')$$

где $[O_2^*]$ (см⁻³) – рассчитанная концентрация кислорода $O_2^*(a^1\Delta_g)$
 A - коэффициент Эйнштейна.

а) Для верхней атмосферы Марса высотные распределения концентраций атомарного кислорода $[O]$ получены из модели общей циркуляции во французской лаборатории динамической метеорологии LMD-MGCM [Gagné, M.-È., 2012]

б) рассчитанные высотные распределения объемных интенсивностей излучения i Атмосферных полос, связанных со спонтанным переходом $O_2(b^1\Sigma_g^+, v') \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-, v'')$ на северных широтах (67° N) и в экваториальной зоне Марса для точек осеннего и весеннего равноденствия (Ls~180° и Ls~0°).

в) экспериментальными данными о характерных концентрациях $[O]$ в верхней атмосфере Земли для различных месяцев года на средних широтах [Шефов, 2006].

г) рассчитаны высотные распределения объемных интенсивностей излучения i Атмосферных полос, связанных со спонтанным переходом $O_2(b^1\Sigma_g^+, v') \rightarrow O_2(X^3\Sigma_g^-, v'')$ на средних широтах (55° N).

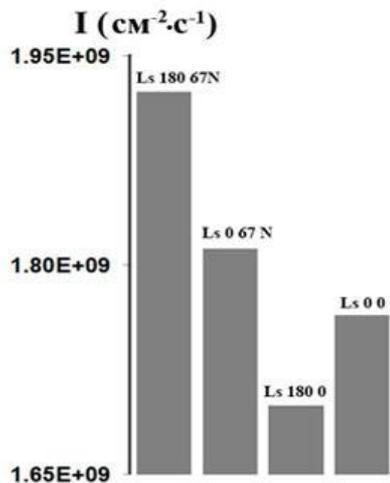
Рассчитаны значения интегральной светимости I ($\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$) для состояния $A^3\Sigma_u^+$

$$I_{(v' \rightarrow v'')} = \int_{h_0}^{h_1} [O_2^*] A_{(v' \rightarrow v'')} dh,$$

где $A_{v'}$ - коэффициенты Эйнштейна, $[O_2^*]$ (см^{-3}) – рассчитанная концентрация возбуждённого кислорода dh - приращение высоты.

Атмосферные полосы

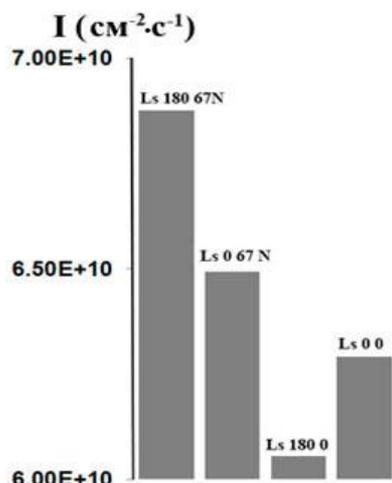
$O_2(b^1\Sigma_g^+)$



а

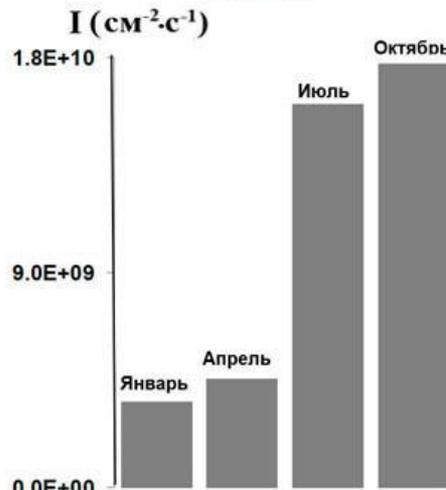
Инфракрасные атмосферные полосы

$O_2(a^1\Delta_g)$



Атмосферные полосы

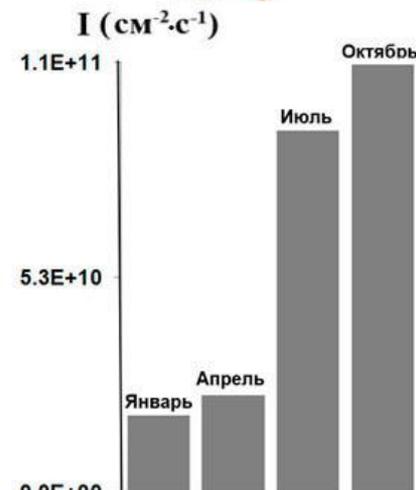
$O_2(b^1\Sigma_g^+)$



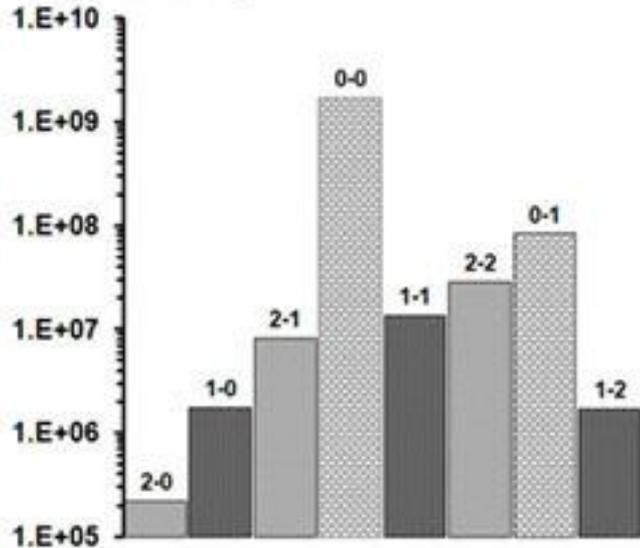
б

Инфракрасные атмосферные полосы

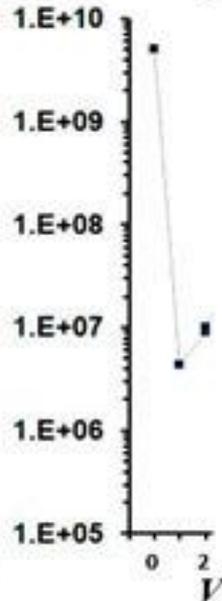
$O_2(a^1\Delta_g)$



Рассчитанные значения общей интегральной светимости Атмосферных и Инфракрасных атмосферных систем полос (I , $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$, гистограммы) для атмосферы Марса для широты 67°N и экватора во время осеннего и весеннего равноденствий северной широты, $L_s \sim 180^\circ$ и $L_s \sim 0^\circ$ (а), для атмосферы Земли (б) для расчётных месяцев года для низкой солнечной активности.

$I \text{ (cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ 

а

 $I \text{ (cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\text{)}$ 

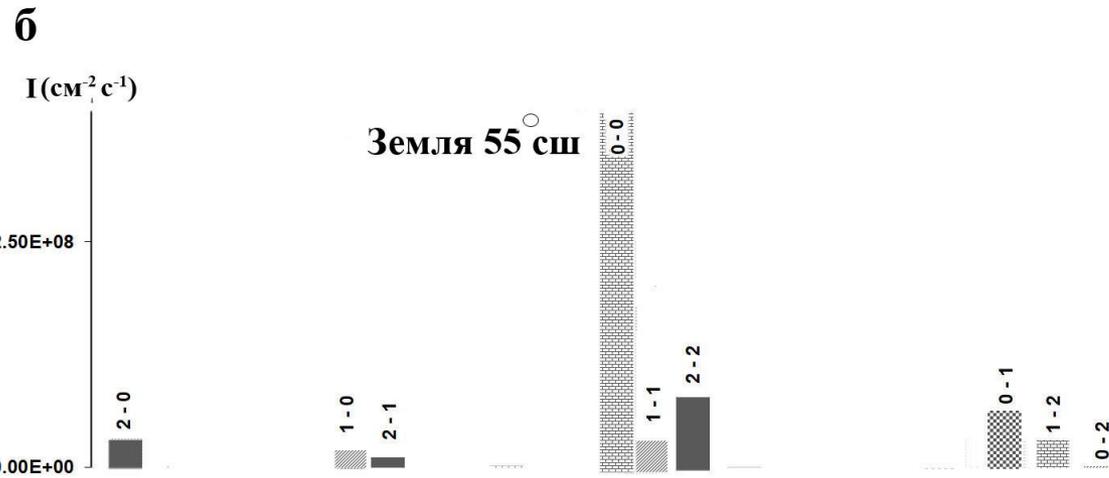
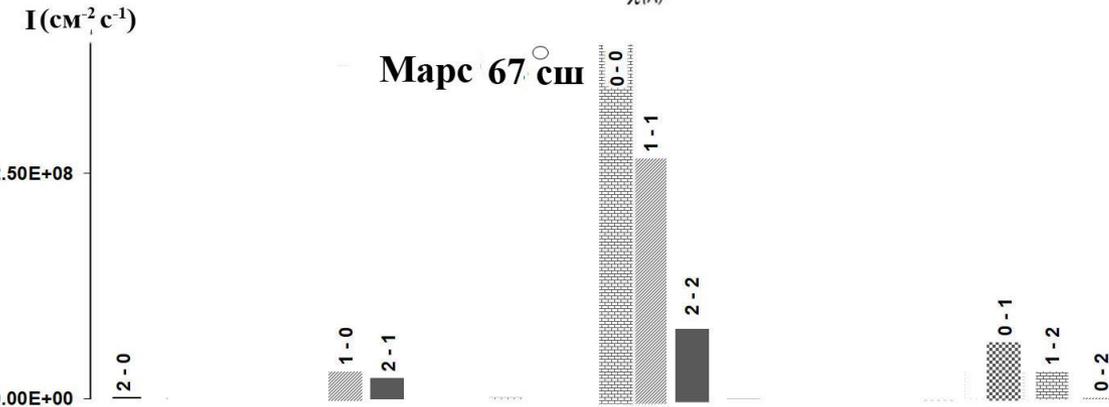
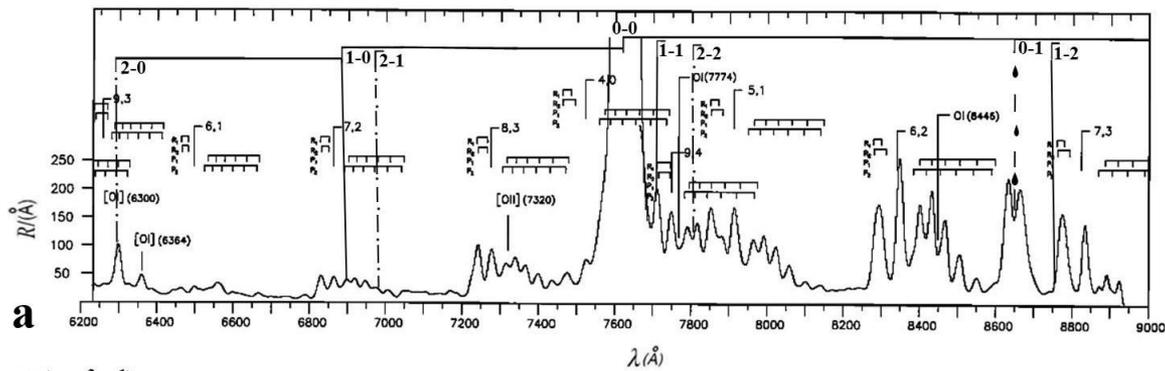
б



Телескопы Кека I и II

а) Рассчитанные значения интенсивности излучения $I_{v'v''}$ ($\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) (гистограммы) для системы Атмосферных полос для средних широт для октября месяца сравниваются с аналогичными расчетами по данным измерений, выполненных спектрографом высокого разрешения (HIRES) на телескопе Кека I (обсерватория Кека, пик Мауна-Кеа, Гавайи, США, 19° с.ш.), (б) [Migliorini A., et al, 2013].

Авторы отмечают, что с того времени, как вышеназванный крупнейший оптический телескоп впервые увидел свет в 1993 г., началась новая эра в исследованиях системы Атмосферных полос молекулярного кислорода O_2 . Измерения с помощью этого телескопа ведутся с 1993 г.



в

а) представлен фрагмент усредненного спектра свечения ночного неба в диапазоне 620–900 нм, измеренного спектрографом с космического шаттла “Индевор” (миссия STS-69).

б) представлены рассчитанные значения интенсивности излучения $Iv'v''(\text{cm}^{-2}\text{c}^{-1})$ (гистограммы) для Атмосферных полос, обусловленных переходом $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v') \rightarrow \text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v'')$ для средних широт Земли. При расчетах использовались модельные значения профилей концентраций атомарного кислорода [Шефов, 2006].

в) представлены рассчитанные значения интенсивности излучения $Iv'v''(\text{cm}^{-2}\text{c}^{-1})$ (гистограммы) для Атмосферных полос, обусловленных переходом $\text{O}_2(b^1\Sigma_g^+, v') \rightarrow \text{O}_2(X^3\Sigma_g^-, v'')$ для северных широт Марса. При расчетах использовались модельные значения профилей концентраций атомарного кислорода [Gagné, M.-È., 2012]

Выводы

- Проведено сравнение рассчитанных значений интегральной светимости Атмосферных полос в условиях низкой солнечной активности на средних широтах Земли (55° с. ш.) и для условий средних широт Марса (67° с.ш.) с экспериментальными данными, полученными в диапазоне длин волн 600-900 нм, со спектрографа космического шаттла «Индевор» [Broadfoot et al., 1999].
- Сравнение экспериментальных данных с рассчитанными значениями интенсивностей полос показало, что лучшее согласие наблюдается для Земли. Для условий Марса наблюдается лишь некоторое соответствие.
- Представлены рассчитанные значения интегральной светимости (гистограммы) атмосферных полос для низкой солнечной активности для Земли и для условий Марса.
- Результаты расчетов показали, что максимальные значения ~ 0.34 кР общей интегральной светимости Атмосферных полос для рассмотренных четырех случаев атмосферы Марса наблюдается в точке осеннего равноденствия на северных широтах ($L_s \sim 180^\circ$, 67° N), для атмосферы Земли показано, что на средних широтах (55° с.ш.) доминируют значения интегральной светимости в октябре.

Спасибо

за

ВНИМАНИЕ!