

Моделирование переноса тепловой радиации в атмосфере Венеры

*Фомин Б.А.-“Центральная аэрологическая обсерватория”
Разумовский М.В.-“Московский физико-технический институт”*

E-mail: b.fomin@mail.ru



Атмосфера Венеры

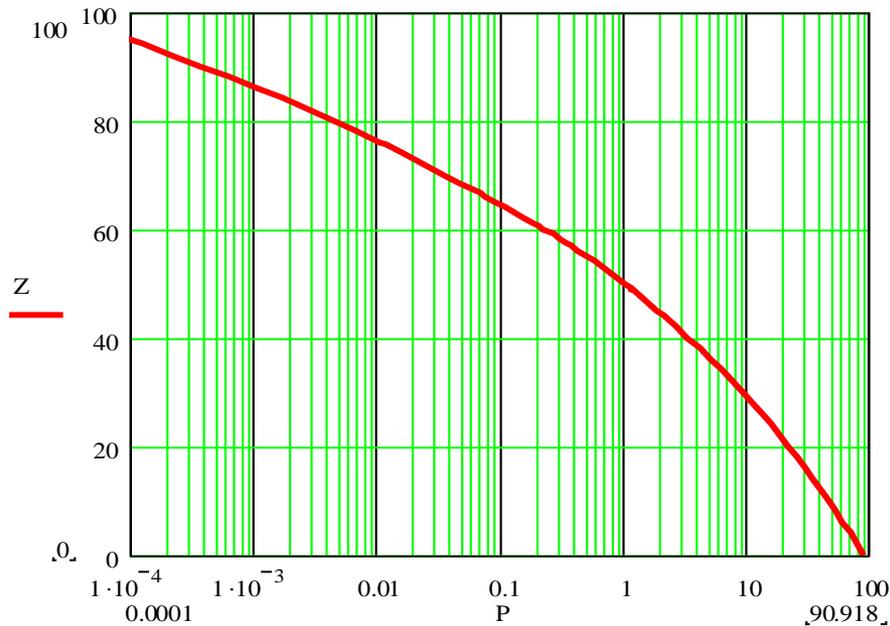


Рис.1 Давление P [атм] от высоты Z [км]

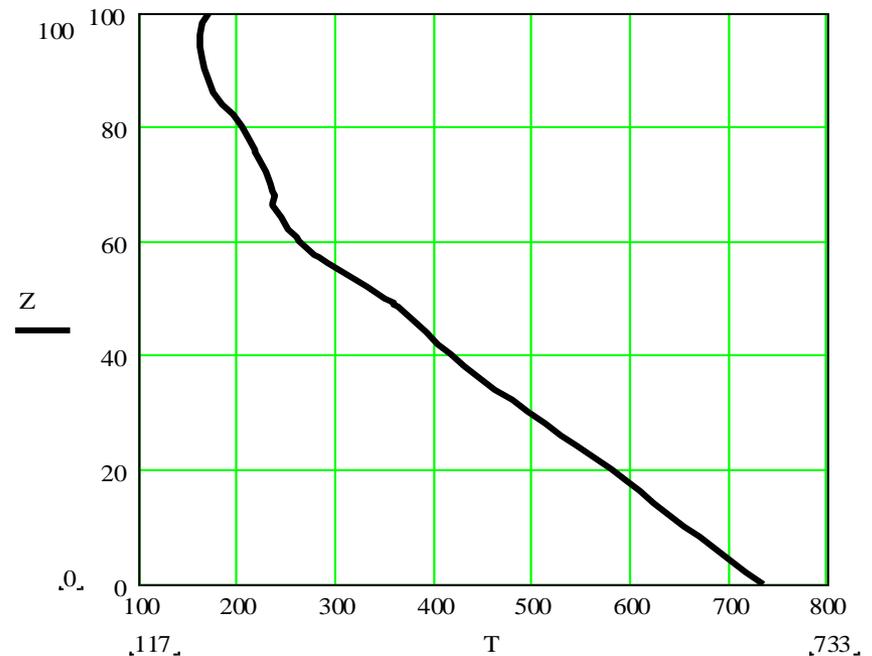


Рис.2 Температура T [K] от высоты Z [км]

	На Земле	На Венере
Макс. давление:	~ 1 атм	~ 90 атм
Макс. температура:	~ 300 К	~ 700 К
Основной газ:	O ₂ +N ₂	CO ₂

ОБЛАКО из капелек серной кислоты (оптическая толща ~15-40).

Классика:

HITRAN => Контур Лоренца-Фойгта, α_s и α_f (N_2+O_2), «ЛТР»:

Континуум LBLRTM или HITRAN-2020 для N_2+O_2 => «cut off» 25 cm^{-1} .

Проблемы в ДЗЗ:

«Интерференция линий», эффект Дике, «неЛТР».

Но ИК зондирование атмосферы Земли осуществляется в «микроокнах прозрачности» атмосферы (десятки). А в «микроокнах прозрачности» выделяется относительно немного линий (десятки-сотни). Для сжатия таблиц спектров эффективно применение неравномерных сеток волновых чисел. И вместо HITRAN возможно применение РТ-таблиц (международный проект???)

ИК спектроскопия для Венеры

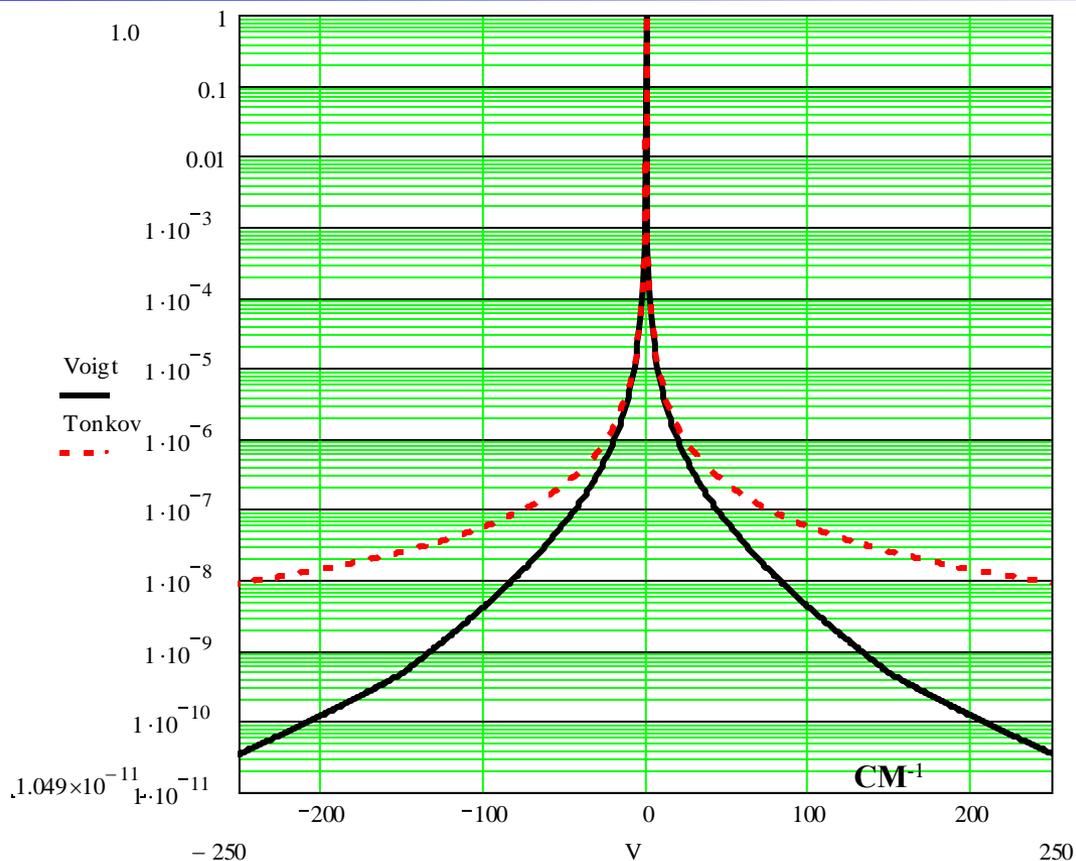


Рис.3 Контуры Фойгта и Тонкова et al.

Табл.1 Оптическая толщина облака (капли H₂SO₄)

λ [μm]	15	10	5	2.5	1.5	1.0	0.55	0.35	0.2
H	15.29	28.34	25.59	32.09	39.95	35.00	34.72	33.17	31.84
F	15.19	28.16	25.42	31.85	39.68	34.78	34.49	32.96	31.63

[R. Haus et al./Icarus 272 (2016)178-205]

УФ: сечения CO₂, SO₂, “*unknown*”.

ИК: Модели континуума нет.

Контур Фойгта * *форм-фактор*.

Обрыв на 250 см⁻¹ от центра.

(На Земле 25 см⁻¹+континуум)

Проблема:

буферный газ и полуширина линии!

LbL техника для Венеры

Сравни: $5 \cdot 10^5$ и 10^7 линий CO_2 в HITRAN и HITEMP.

Контур линий в десять раз шире чем для линий на Земле.

Проблема быстрогодействия острее чем для Земли!

(В России А. Фёдорова, О. Кораблёв, Мингалёв И. и др.)

Алгоритмы показавшие достаточную эффективность (~ часы на ноутбуке) :

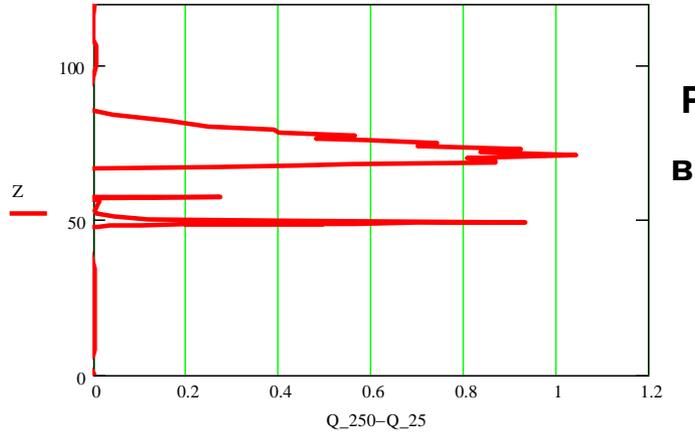
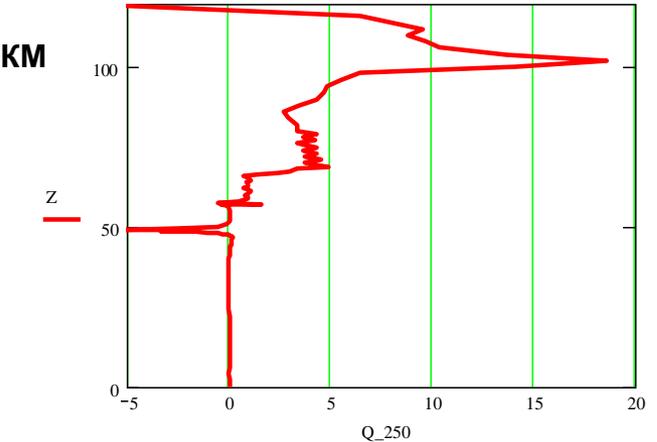
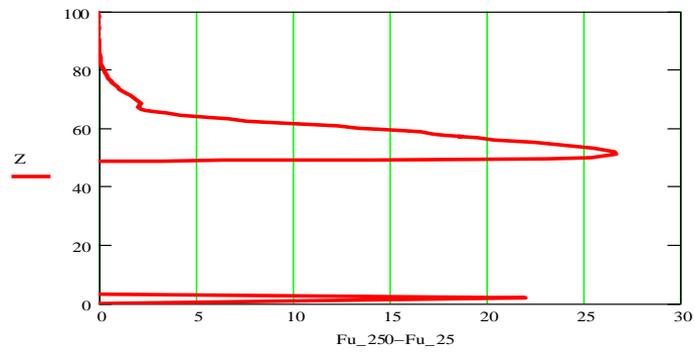
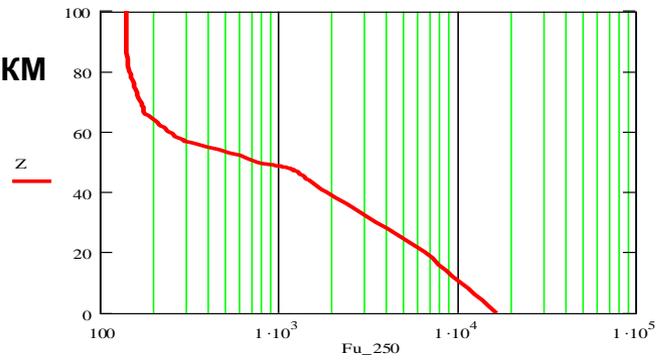
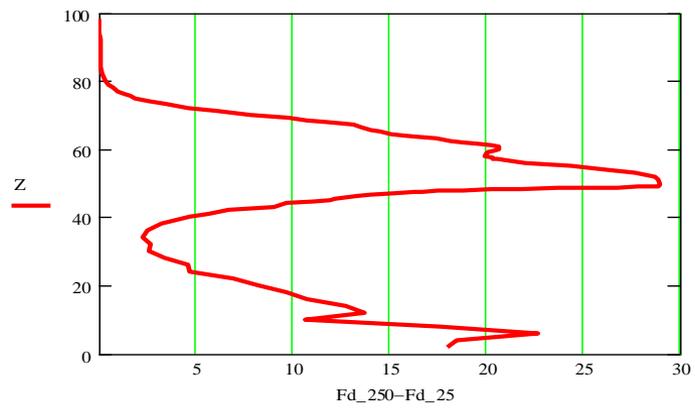
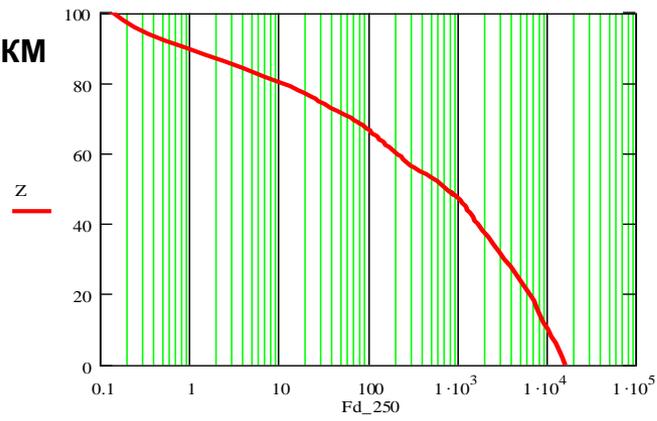
1. Fomin B.A., Effective interpolation technique for line-by-line calculations of radiation absorption in gases, *J.Quant.Spectrosc.Rad.Transfer*,53, 663-669, 1995.
2. Fomin B.A. and I.P. Mazin, Model for an investigation of radiative transfer in cloudy atmosphere, *Atmospheric Research*,47-48, 127-153,1998.
3. Fomin B.A., Monte-Carlo algorithm for line-by-line calculations of thermal radiation in multiple scattering layered atmospheres, *J.Quant.Spectrosc.Rad.Transfer* 2471, DOI.1016/j.jqsrt.2005.05.078.
4. Fomin B. and Falaleeva V. Spectra of polarized thermal radiation in a cloudy atmosphere: Line-by-Line and Monte Carlo model for passive remote sensing of cirrus and polar clouds, *J.Quant.Spectrosc.Rad.Transfer*,177, 301-317, 2016.

Но программы потребовалось существенно переработать из- за увеличения числа линий дающих вклад в коэффициент поглощения в спектральной точке (~ на два порядка!).

Были получены:

1. программы расчёта молекулярных ИК спектров (PT- таблиц) для условий Венеры с использованием (HITRAN-2016, HITEMP-2011, FORTRAN, Windows, LINUX).
2. спектры для стандартной модели атмосферы из [Haus, 2016], (66 уровней, $10\text{-}60000 \text{ см}^{-1}$, разрешение $1/2048 \text{ см}^{-1}$, CO_2 , H_2O , SO_2).

Тепловая радиация – влияние обрыва линий.



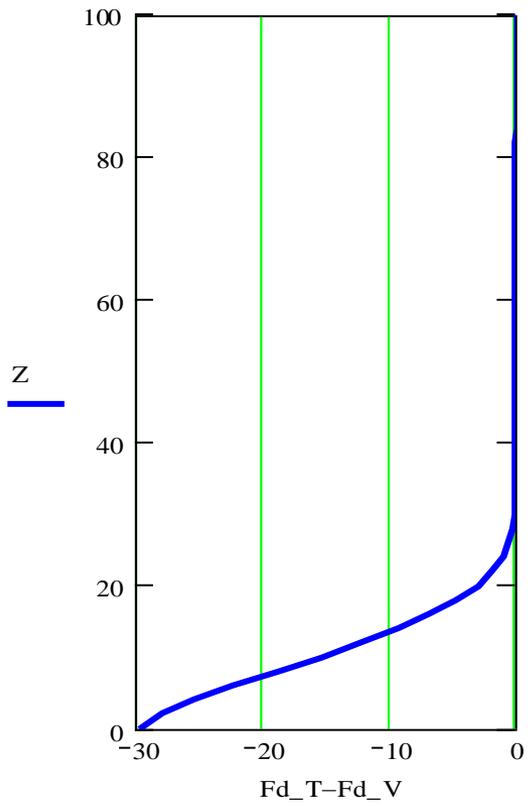
Нисходящие и восходящие потоки (слева, Вт/м²) и их разности (справа). Расчёты с обрывом линий 250 и 25 см⁻¹.

Радиационные выхолаж. град./сутки

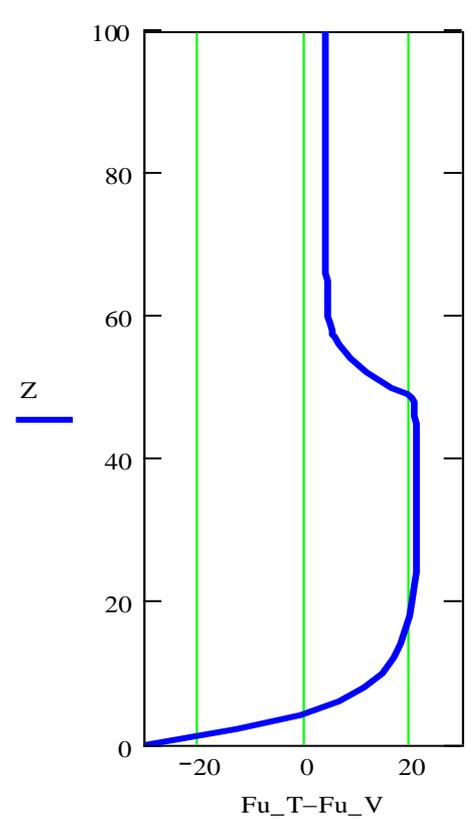
Тепловая радиация – влияние форм-фактора

Изменение в потоках и рад. выхолаживании при использовании контура Тонкова
Интервал 3800-4700 см⁻¹

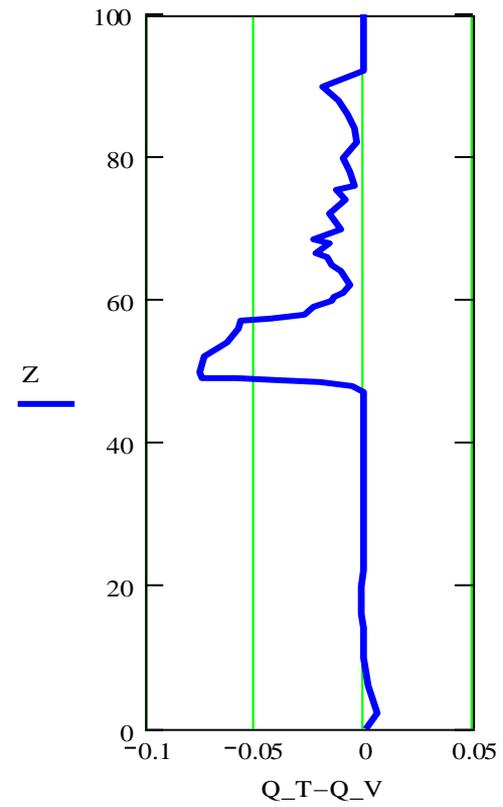
нисходящий Вт/м²



восходящий Вт/м²



выхолаж. град/сутки



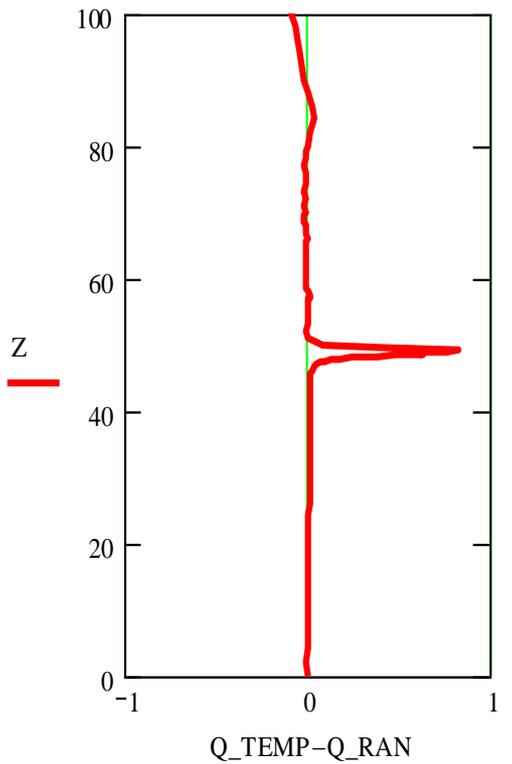
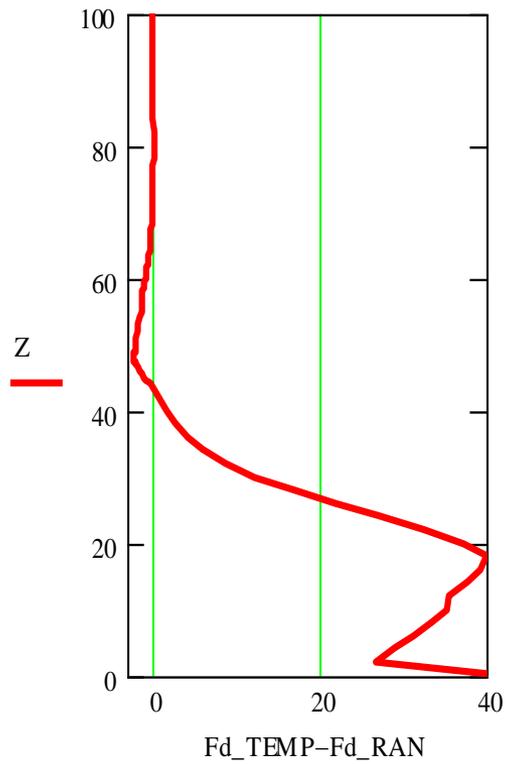
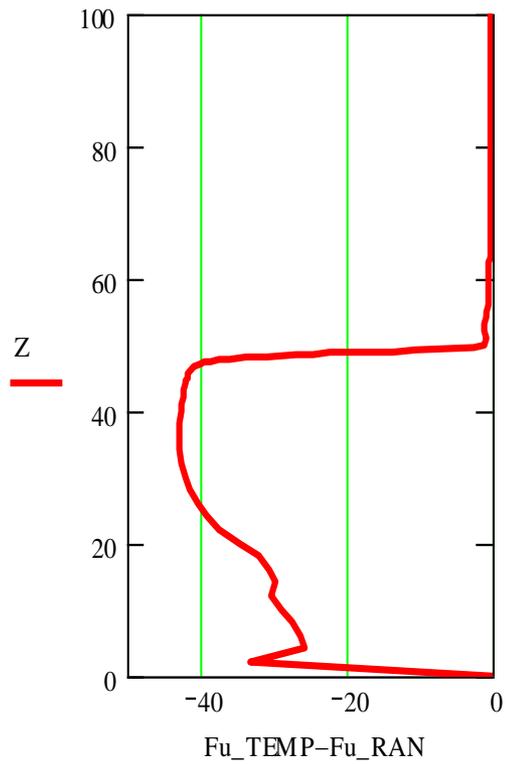
Тепловая радиация – HITRAN и HITEMP

Изменение в потоках и рад. выхолаж. при использовании HITRAN и HITEMP

восходящий $Вт/м^2$

нисходящий $Вт/м^2$

выхолаж. град/сутки



Заключение

Получен **пакет LbL программ** для расчёта молекулярных спектров в условиях атмосферы Венеры (WINDOWS, LINUX, обрыв линии до 250 см^{-1} , HITRAN, HITEMP)

Получены **LbL расчёты (PT-таблицы) молекулярных спектров CO₂, H₂O и SO₂** для стандартной модели атмосферы Венеры (Haus-2016).

Получены **LbL расчёты потоков тепловой радиации** для стандартных условий атмосферы Венеры, включая облачность (Haus-2016). (Reference calculations).

Поток уходящей тепловой радиации: **159 Вт/м²**(Haus-2016), **157±6 Вт/м²** (Titov-2007) => **160.7 Вт/м²** (данная работа).

Разработан пакет программ для исследования чувствительности LbL расчётов спектров и потоков тепловой радиации к неопределённостям используемых спектроскопических данных (HITRAN или HITEMP, обрыв линии и форм-фактор).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!