

# АТМОСФЕРЫ ПЛАНЕТ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ФИЗТЕХЕ И ИКИ РАН

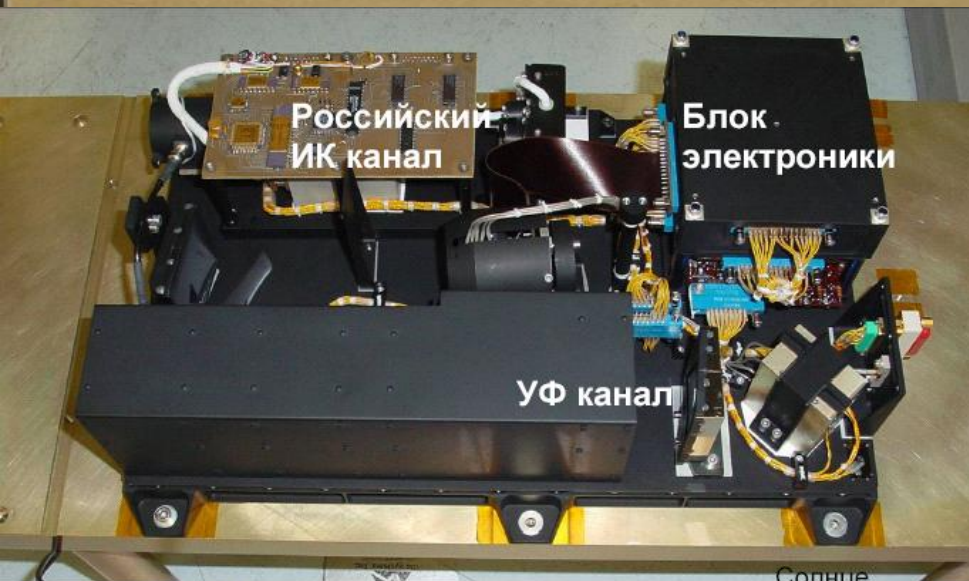
**Постановление № 220 Правительства  
Российской Федерации**

**Ведущий ученый В. А. Краснопольский**

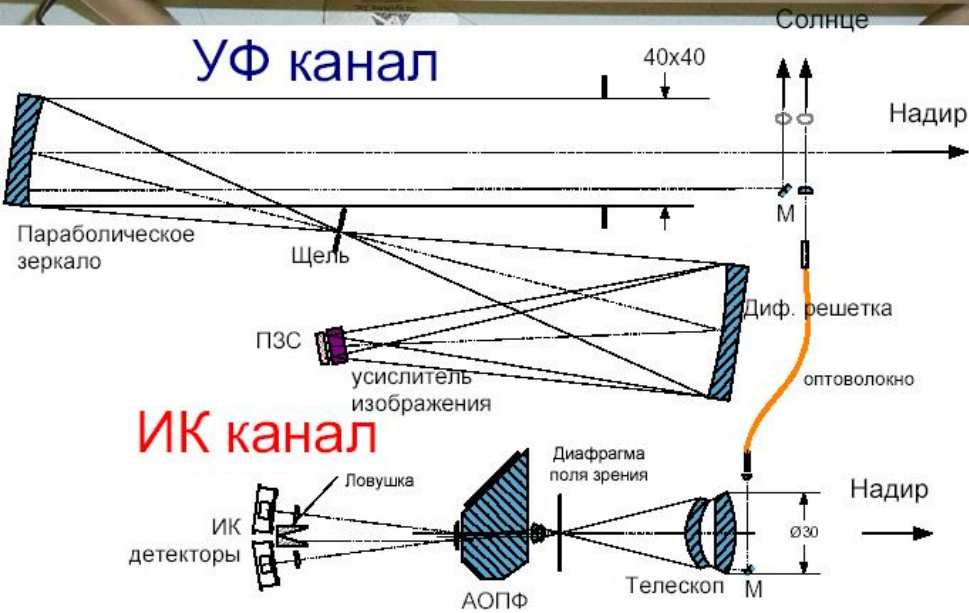
# Основные направления исследований

- Анализ и интерпретация наблюдений со спутников «Марс Экспресс» и «Венера Экспресс»
- Наземная спектроскопия Венеры и Марса
- Трёхмерные модели циркуляции в атмосферах Марса, Венеры и Титана и фотохимические модели этих атмосфер
- Подготовка новых планетных миссий и разработка и изготовление новых приборов для планетных исследований

# Марс-Экспресс: СПИКАМ ИК (Korablev et al 2006)



СПИКАМ- многофункциональный спектрометр для исследования атмосферы Марса, в том числе методом наблюдений затмений Солнца и звезд.  
Кооперация: Франция, Россия, Бельгия, США  
Российский вклад в СПИКАМ – функционально законченный канал – спектрометр ближнего ИК излучения.



## Основные характеристики спектрометра СПИКАМ

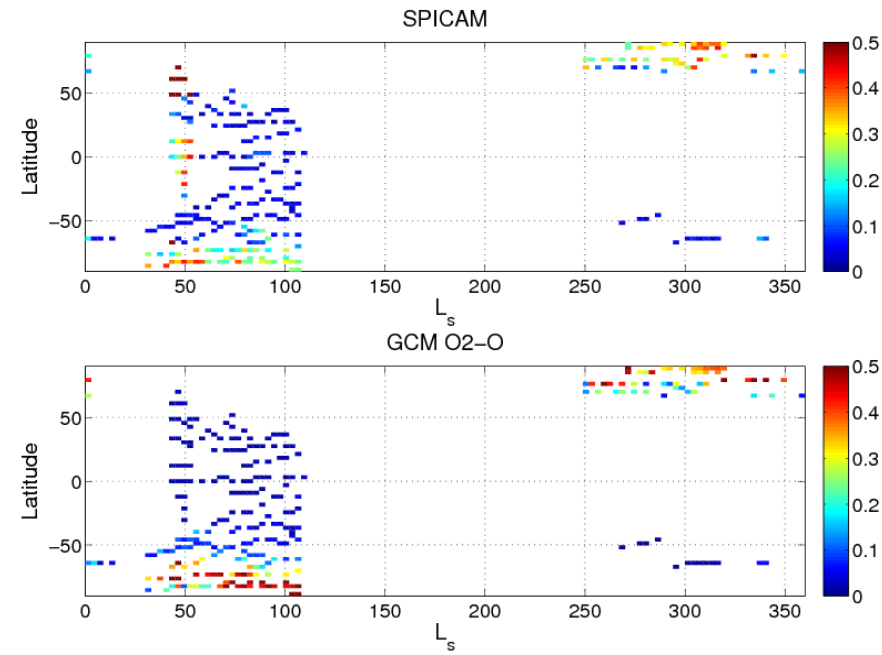
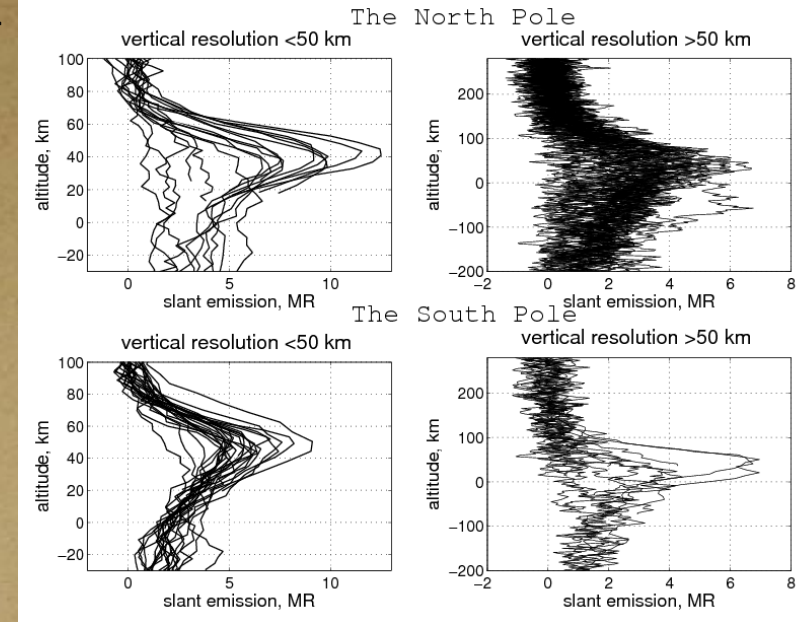
	УФ канал	ИК канал
Спектральный диапазон, нм	118-320	1000-1700
Спектральное разрешение, нм	0.9	0.5-1.2
Угловое разрешение, мрад надир затмения	0.2x1 0.2	17.5 1.5
<b>Масса</b>	4.9 кг	
<b>Объем информации</b>	30 Мбит на орбиту	

# O<sub>2</sub> nightglow on Mars with SPICAM IR (Fedorova et al. 2012)

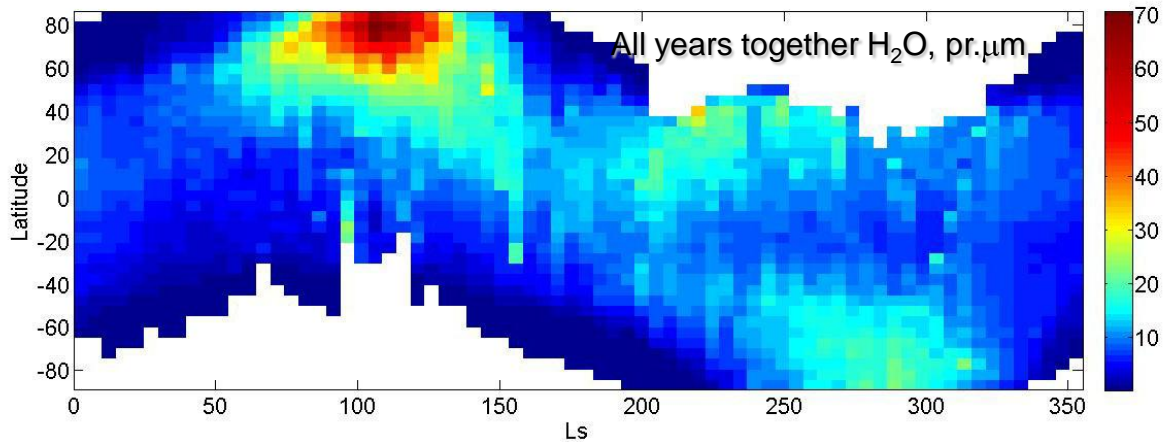
This emission is an effective indicator of downward flow of air from the altitudes where the CO<sub>2</sub> photodissociation occurs (i.e. above 70 km). The intensity of the nightglow emission and the altitude of the nightglow layer are controlled by wind magnitudes and eddy diffusion, the key chemical reaction rates.

## Results:

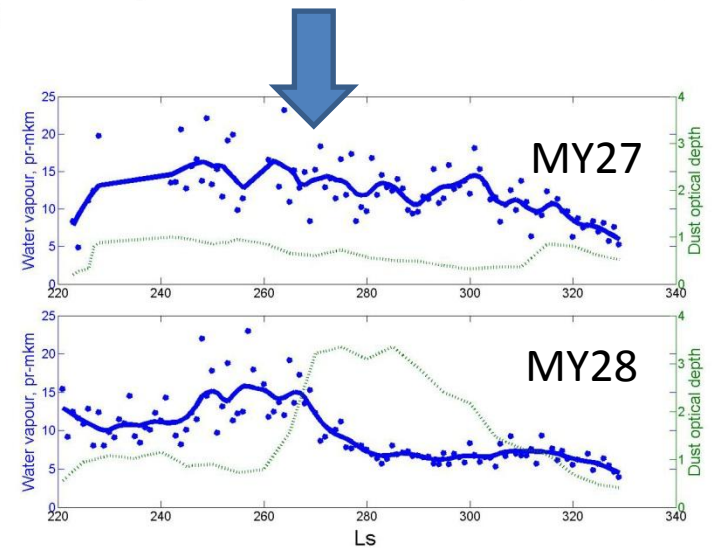
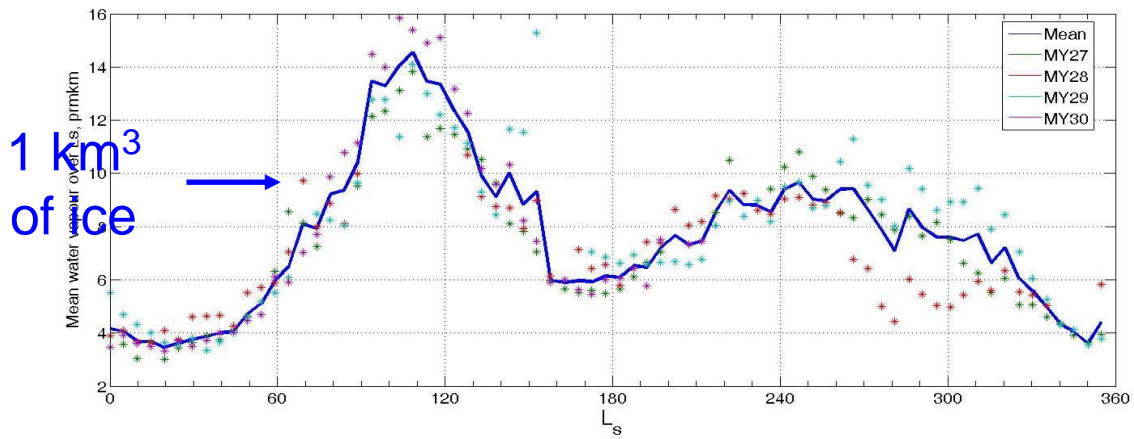
- 1) The vertical profiles of the O<sub>2</sub>(a<sup>1</sup>Δ<sub>g</sub>) nightside emission have been obtained near the South Pole and the North Pole at the polar night during 2010-2012.
- 2) The altitude of the emission maximum varies from **37-55 km**. Averaged vertically integrated intensity of the emission at these latitudes has shown an increase from **0.22 to 0.35 MR** at latitudes of 82-83°S. Those values of total vertical emission rate are consistent with the OMEGA observations on Mars-Express in 2004 at the same season and latitudes.
- 3) The estimated density of oxygen atoms at **altitudes from 50 to 65 km varies from 1.5 10<sup>11</sup> to 2.5 10<sup>11</sup> cm<sup>-3</sup>**.
- 4) Preliminary comparison of the poles:
  - Emission peak at 35-42 km for the North Pole and 40-55 km for the South Pole
  - The emission rate is a more intense for the North Pole



# Annual water vapor cycle by SPICAM IR (Trokhimovsky et al. 2012)



Example of water vapour loss during global dust storm at MY28 (seasonal dependence for H<sub>2</sub>O averaged on latitude stripe (-45:-55))

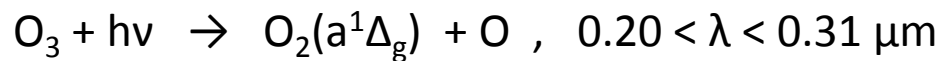


## Summary

- Good dataset of four Martian years for further analysis
- “Nothing” else to add to the retirement algorithm
- New solar spectra, resulted in more than 10 % increase of water vapour abundance for polar cap, and up to 20% increase for other areas.
- For the first time water vapour map for MY27 with dust-aerosol (years 28 and 29 coming up soon), to be compared with GCM and other instruments results.

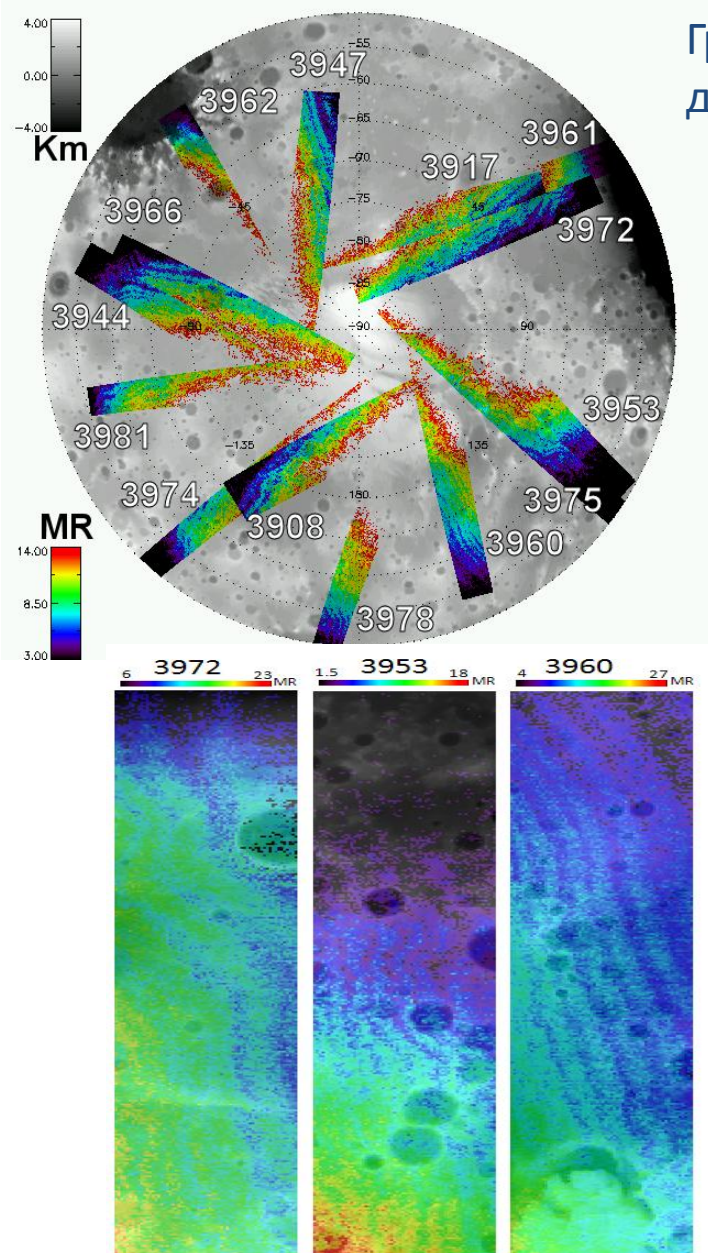
# Гравитационные волны в атмосфере Марса на картах дневного свечения $O_2$ 1.27 мкм

$\phi = 55-75$  S ,  $Ls = 170-182$

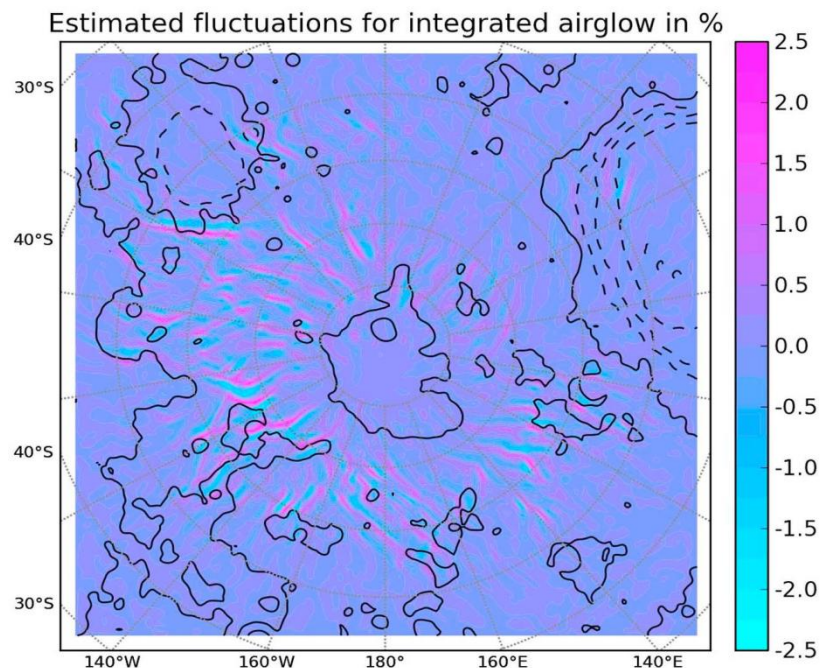


Обнаружены впервые.

Основным триггером гравитационных волн в высоких широтах южного полушария является топография.



Изображения эмиссии  $O_2$ , полученные гиперспектрометром ОМЕГА, наложены на альтиметрию MOLA MGS.

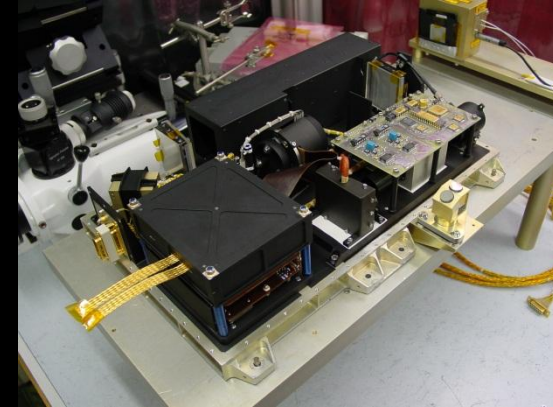


Амплитуда гравитационных волн. Наложено на топографию. Результат мезомасштабного моделирования GCM

# SPICAV VIS-IR AOTF spectrometer (Korablev et al. 2009)

Short-wavelength range      Long-wavelength range

Spectral range	<b>0.65–1.05 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>1.05–1.7 <math>\mu\text{m}</math></b>
Spectral resolution	<b>7.8 <math>\text{cm}^{-1}</math> (1600)</b>	<b>5.2 <math>\text{cm}^{-1}</math> (1500)</b>
FOV	<b>2 ° circular (0.07° in occultation mode )</b>	
AOTF	TeO <sub>2</sub> , Two actuators, Aperture 6 x 4mm <sup>2</sup> , 2°	
Detector	Two bicolor diodes (Hamamatsu K3413-05)	



## M. Science modes:

### ■ Nadir:

- day side (**H<sub>2</sub>O above clouds**, clouds top variations, polarization);
- night side (0.9-1.3  $\mu\text{m}$  windows, **H<sub>2</sub>O near the surface**, O<sub>2</sub><sup>1</sup>Δ<sub>g</sub> at 1.27  $\mu\text{m}$ )

### ■ Solar occultations (atmospheric structure above the clouds, clouds properties, particle size, extinction from 0.7 to 1.7 $\mu\text{m}$ )

### ■ Limb (O<sub>2</sub><sup>1</sup>Δ<sub>g</sub> emission at 1.27 $\mu\text{m}$ , cloud structure)

# Вертикальное распределение относительного содержания $\text{SO}_2$ и $\text{SO}$ на Венере (Belyaev et al. 2012)

## Солнечное просвечивание – - затменный эксперимент:

Детектирование  $\text{SO}_2$ :

200-230 нм (прибор SPICAV);

4 мкм (прибор SOIR)

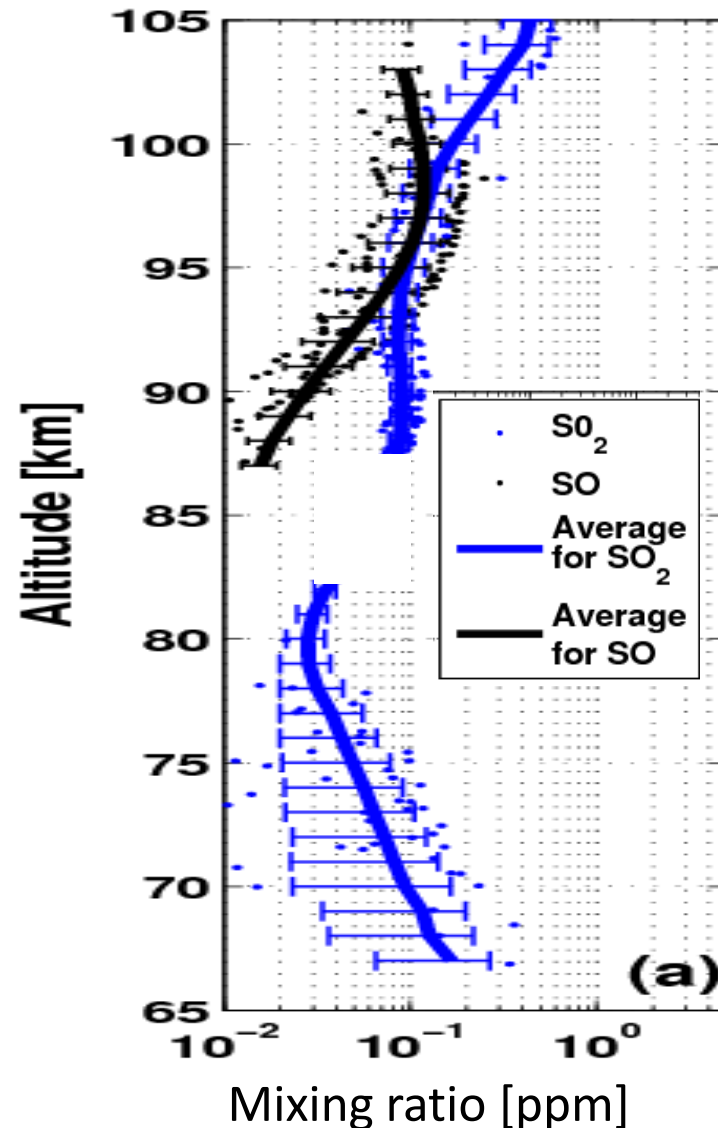
Детектирование  $\text{SO}$ :

200-230 нм (прибор SPICAV)

- $\text{SO}_2$ : 65-80 км от SOIR  
85-105 км от SPICAV
- $\text{SO}$ : 85-105 км от SPICAV
- "X"-образная структура  $\text{SO}$  &  $\text{SO}_2$  в верхнем слое

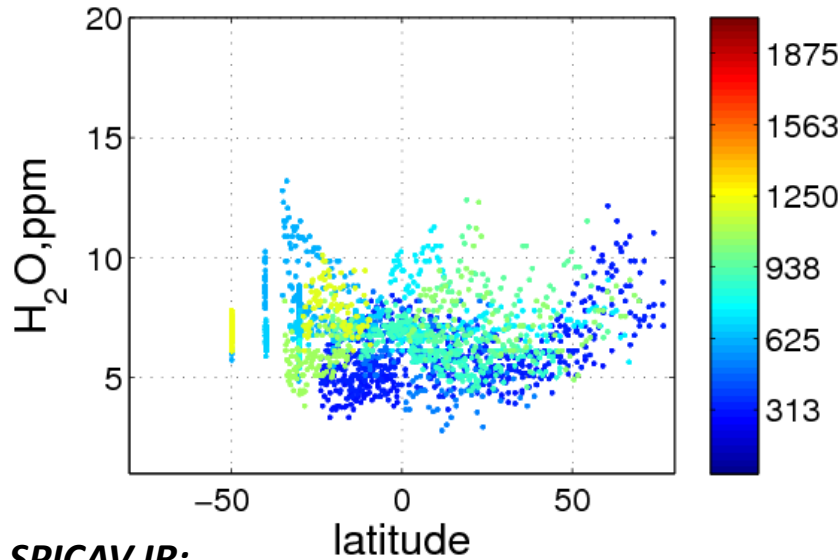


Фотохимия в действии!





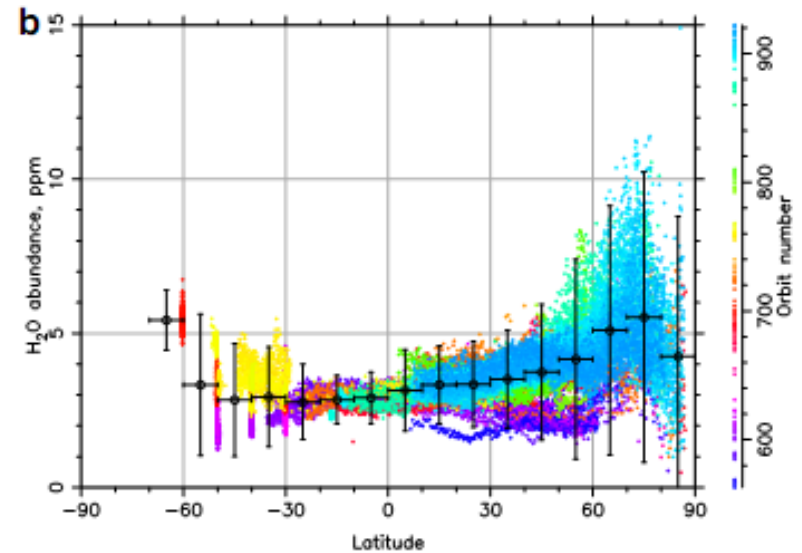
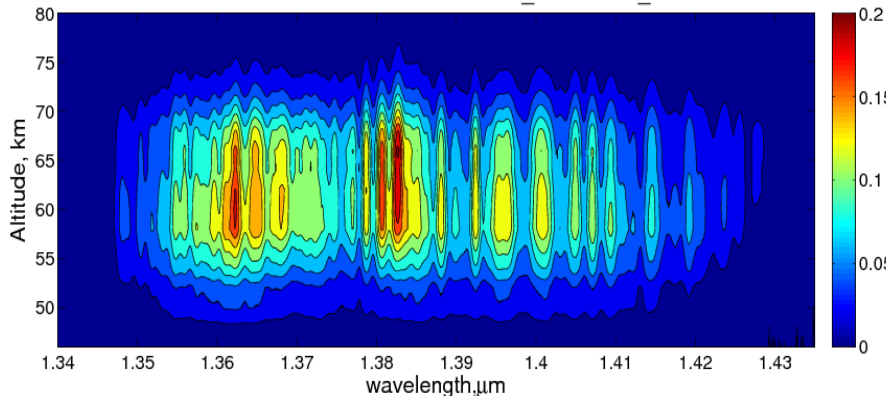
# Vertical distribution of H<sub>2</sub>O above and within the upper clouds (Fedorova et al. 2012)



**SPICAV IR:**

1.38  $\mu\text{m}$  55-68 km, with uniform distribution mixing ratio varies from 4-12 ppm

SZA=30 EMI=0 H=72 km TP=30\_lat aerosol\_standard



**VIRTIS H, Cottini et al., 2012**

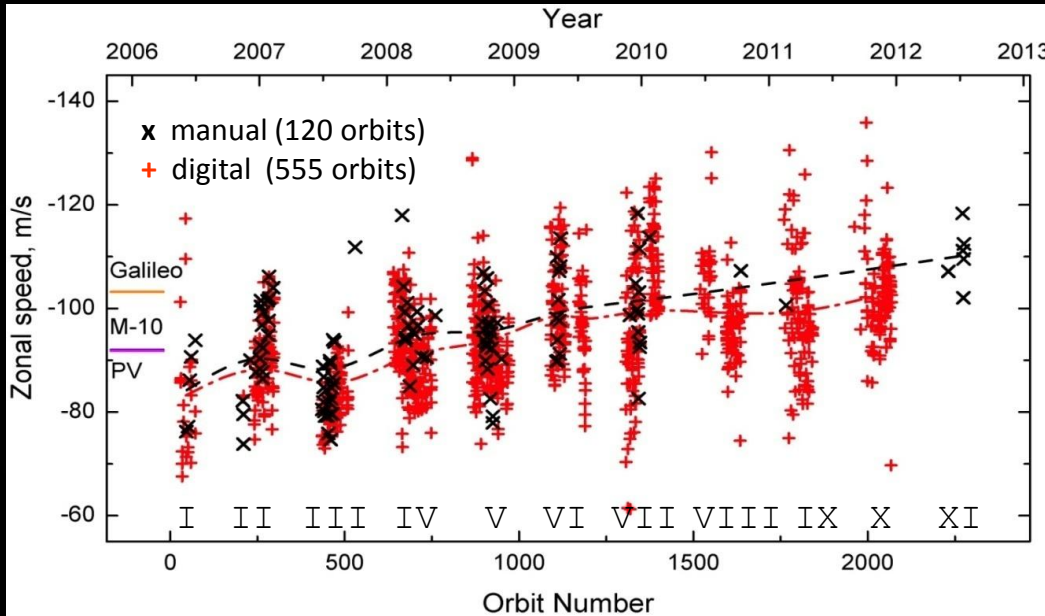
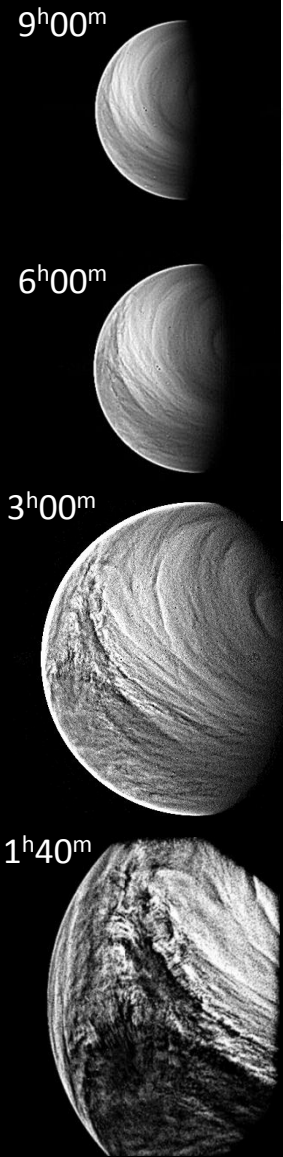
from 2.56  $\mu\text{m}$  68-70 km, uniform distribution with mixing ratio 3-4 ppm

*The altitude range of the spectral sensitivity to water vapor profile in 1.38  $\mu\text{m}$  is very wide: 55-70 km*

*Located to 5-8 km below  $\tau=1$  level*

*The band looks to be more sensitive to water distribution within a lower layer of the upper clouds where a gradient of water should be strong than to the water distribution above the cloud top level*

# Wind tracking (VMC UV/Vex): Long term variations (Khatuntsev et al. 2012)

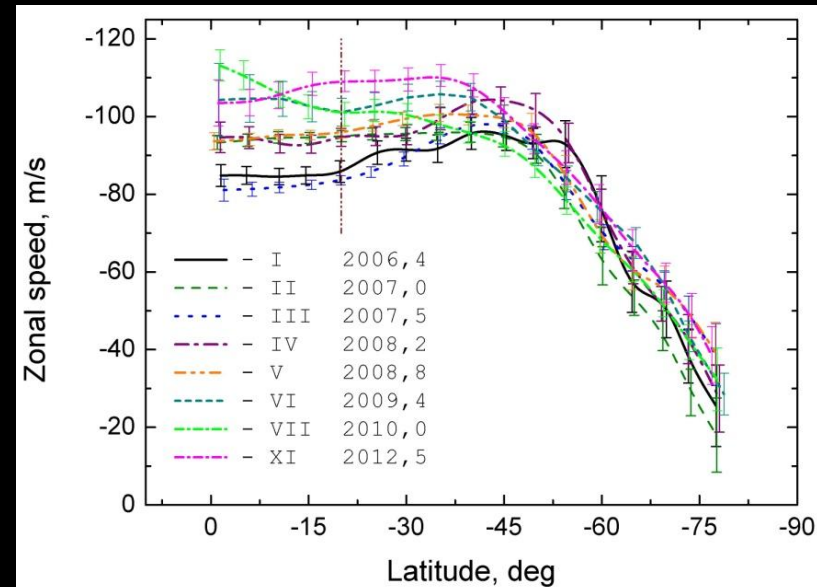


Mean zonal wind profiles for cloud tracking seasons obtained by visual method (black at upper figure); Zonal speed variations were observed from season to season at low and middle latitudes. It was confirmed by correlated method (red).

A slow trend is observed over the time scale of  $\sim 2300$  days and might be a manifestation of the solar activity

## Zonal speed evolution

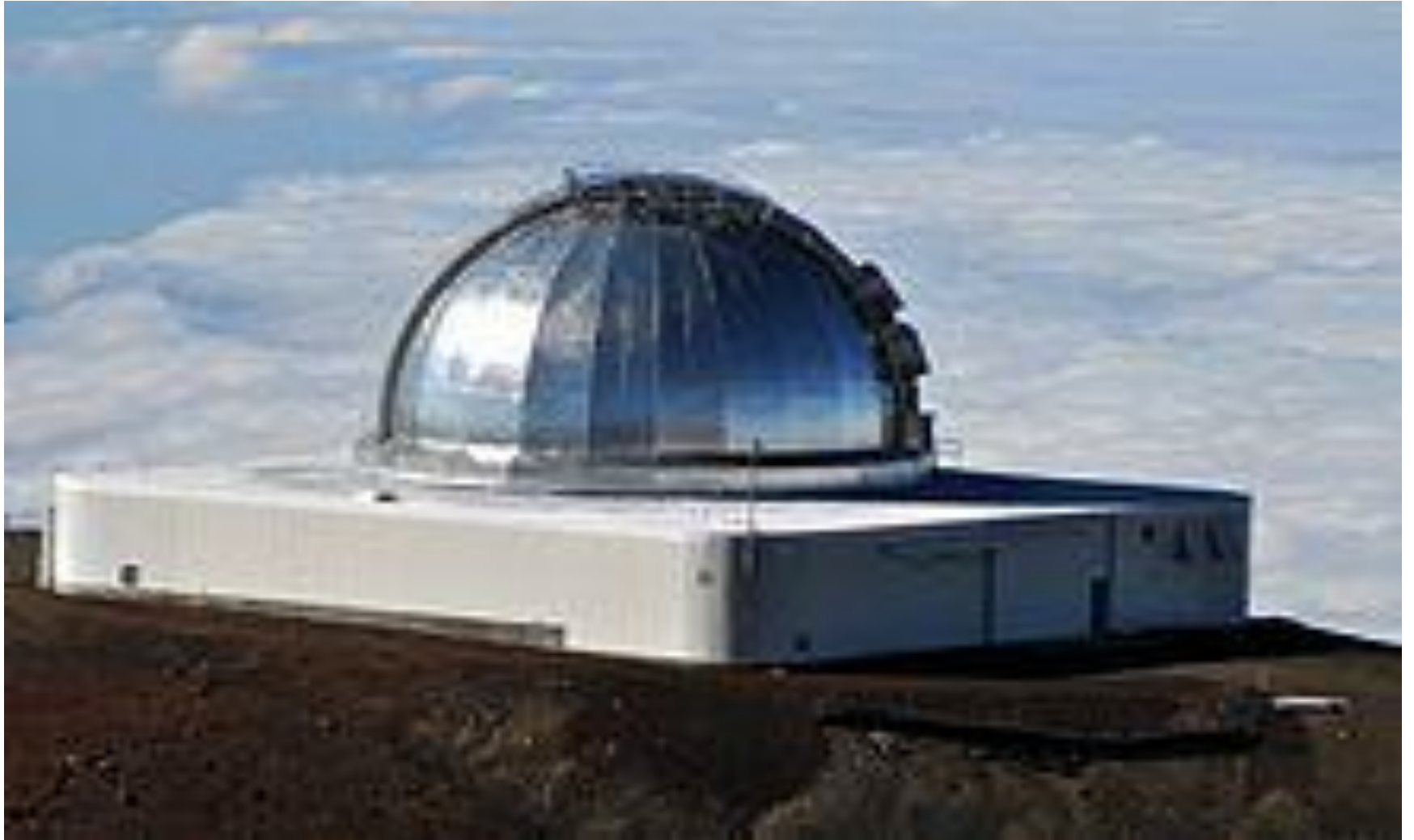
- During more than 9 Venus years of the Venus Express observations the mean zonal speed was in the range of 85 - 115 m/s with some trend to increase over this period;
- Results for the same latitudinal zone agree with:
  - Mariner-10 ( $\sim 92$  m/s), (*Limaye and Suomi, 1981*),
  - Pioneer-Venus ( $91.8 \pm 3$  m/s), (*Rossow et al., 1990*),
  - Galileo ( $\sim 103$  m/s), (*Belton et al., 1991*).



# Наземные наблюдения Марса и Венеры

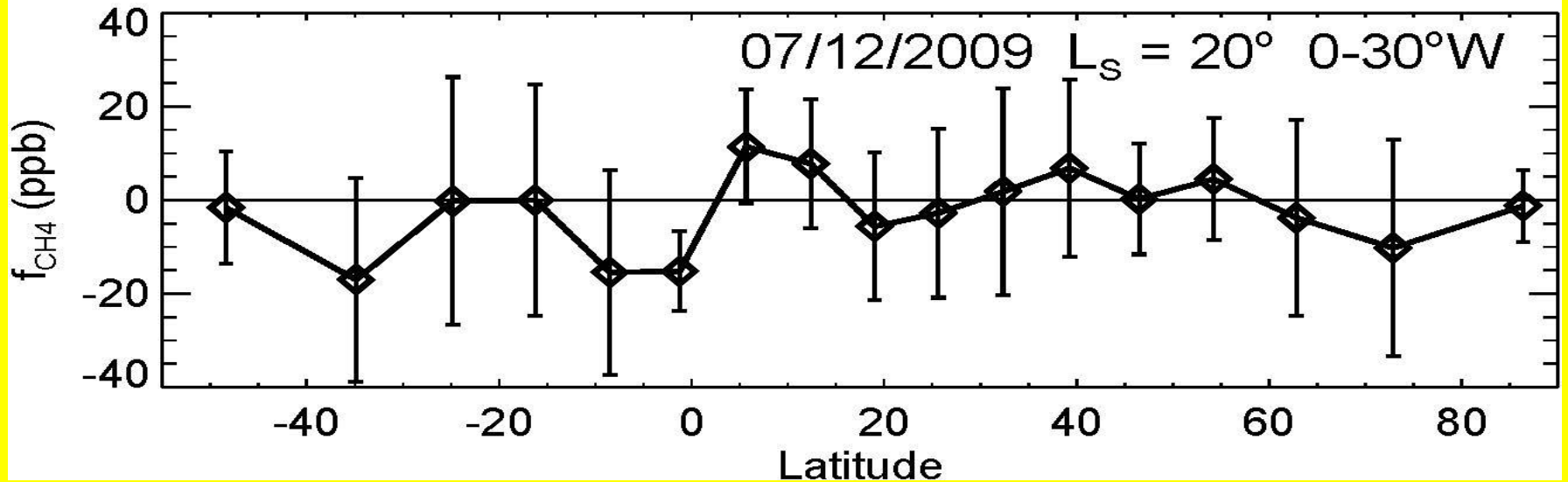
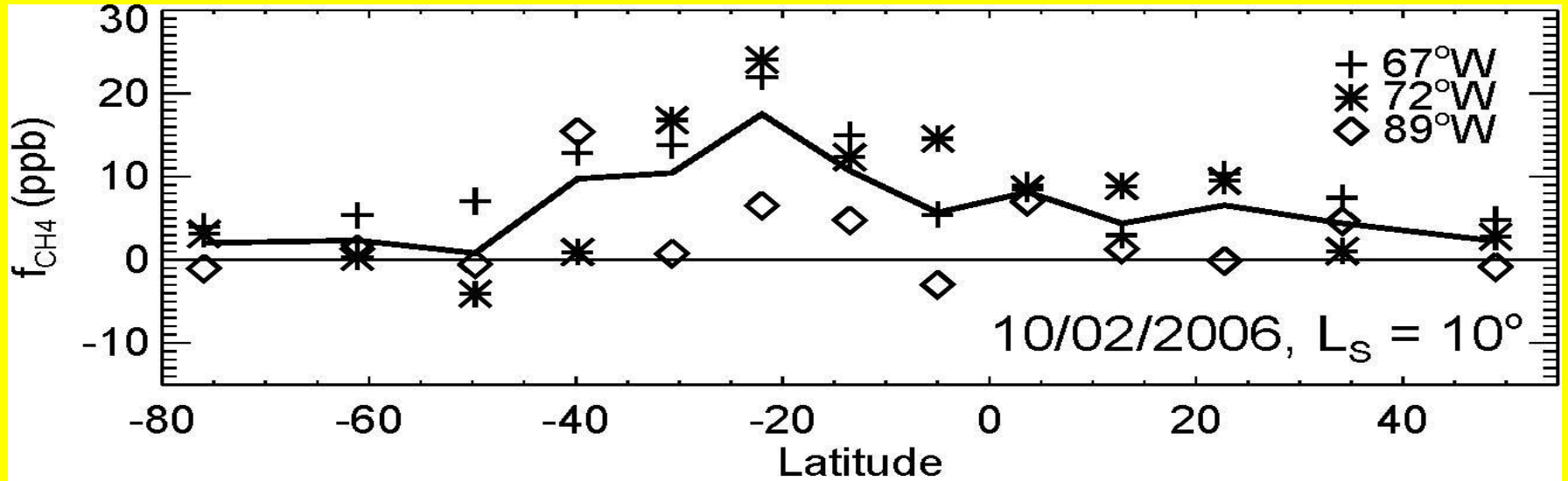
- NASA IRTF, Гавайи, гора Мауна Кеа, 4.2 км,  $P = 0.6$  бар,  $H_2O = 2$  мм
- Телескоп  $D = 3$  м, спектрограф CSHELL, область спектра 1.08 – 5.6  $\mu\text{m}$ ,  $\nu/\delta\nu = 40\ 000$

# NASA Infrared Telescope Facility



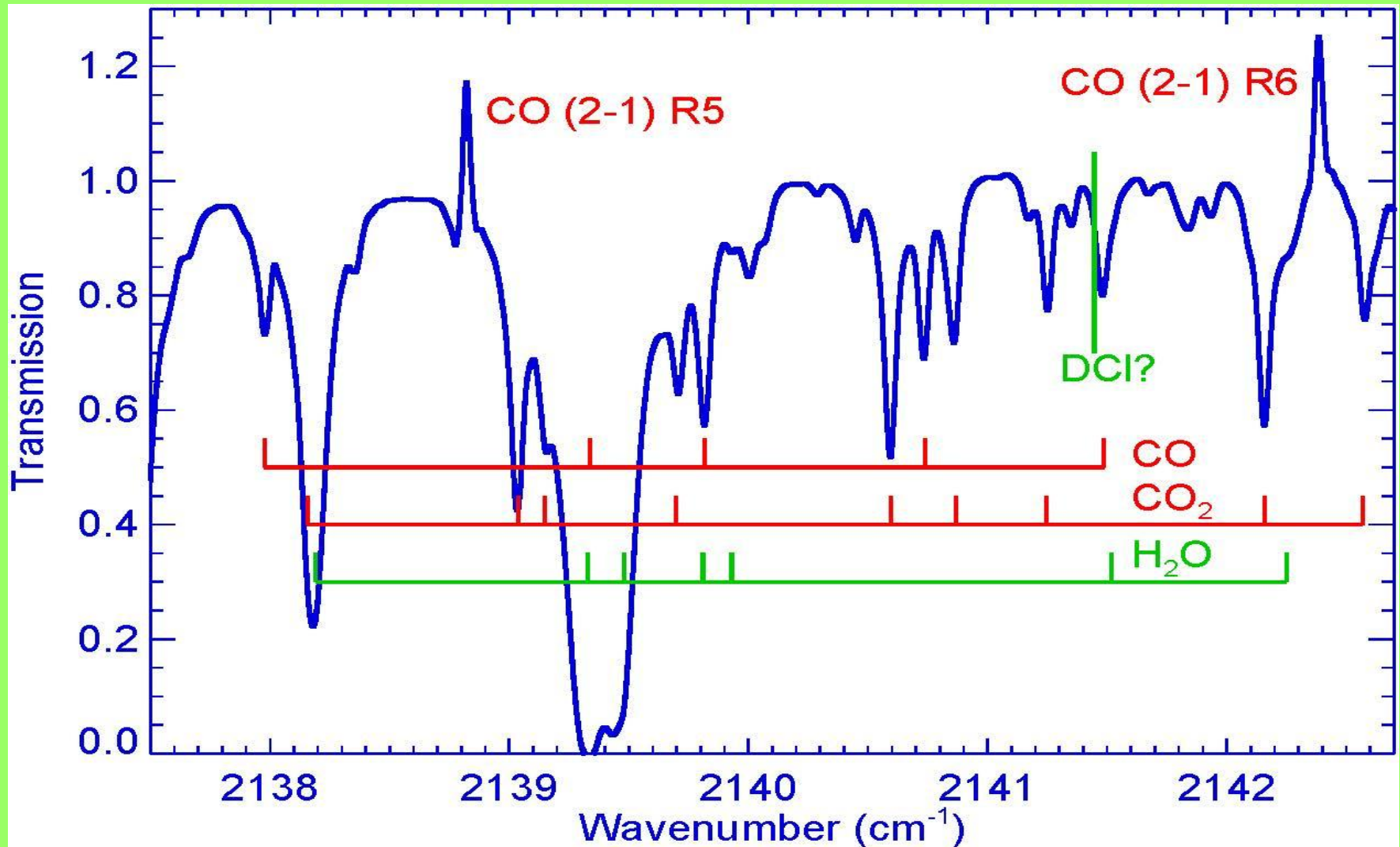
# Search for methane on Mars

## (Krasnopolsky 2012a)



# Search for DCI on Venus

DCI/HCl =  $240 \pm 40$  (Krasnopolsky 2012b)

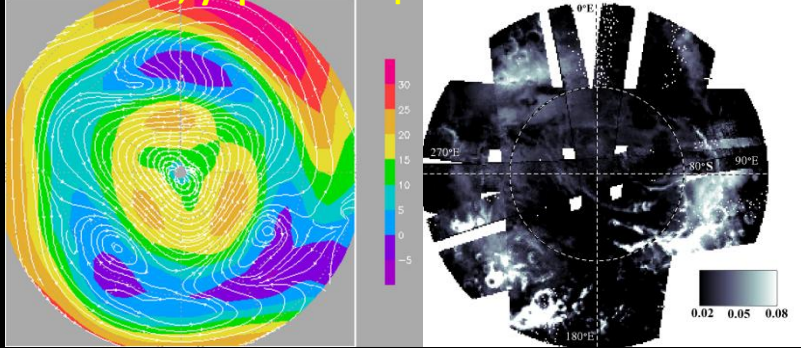


# Численное моделирование планетных атмосфер (Rodin et al. 2012)

## Трехмерные модели общей циркуляции

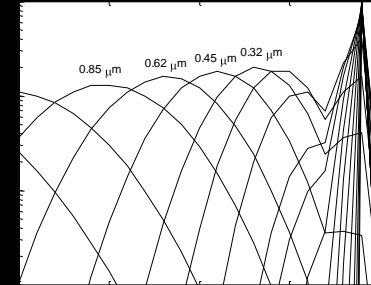
### Марс

Распространение планетарных волн в зональном потоке - механизм, управляющий гидрологическим циклом планеты

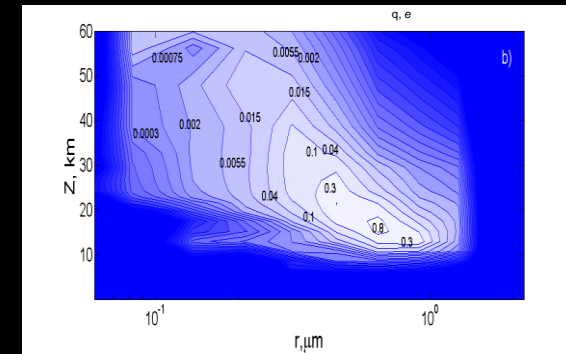


## Микрофизика облаков и аэрозолей

Титан: распределение по зарядам



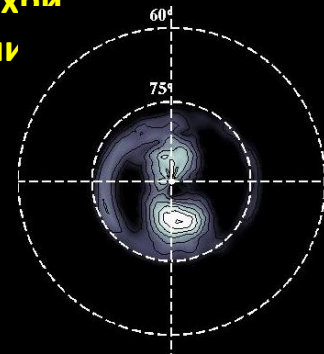
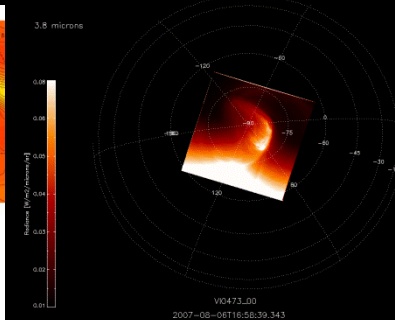
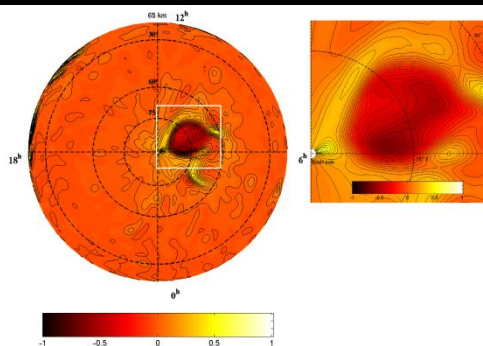
Марс: распределение по размерам



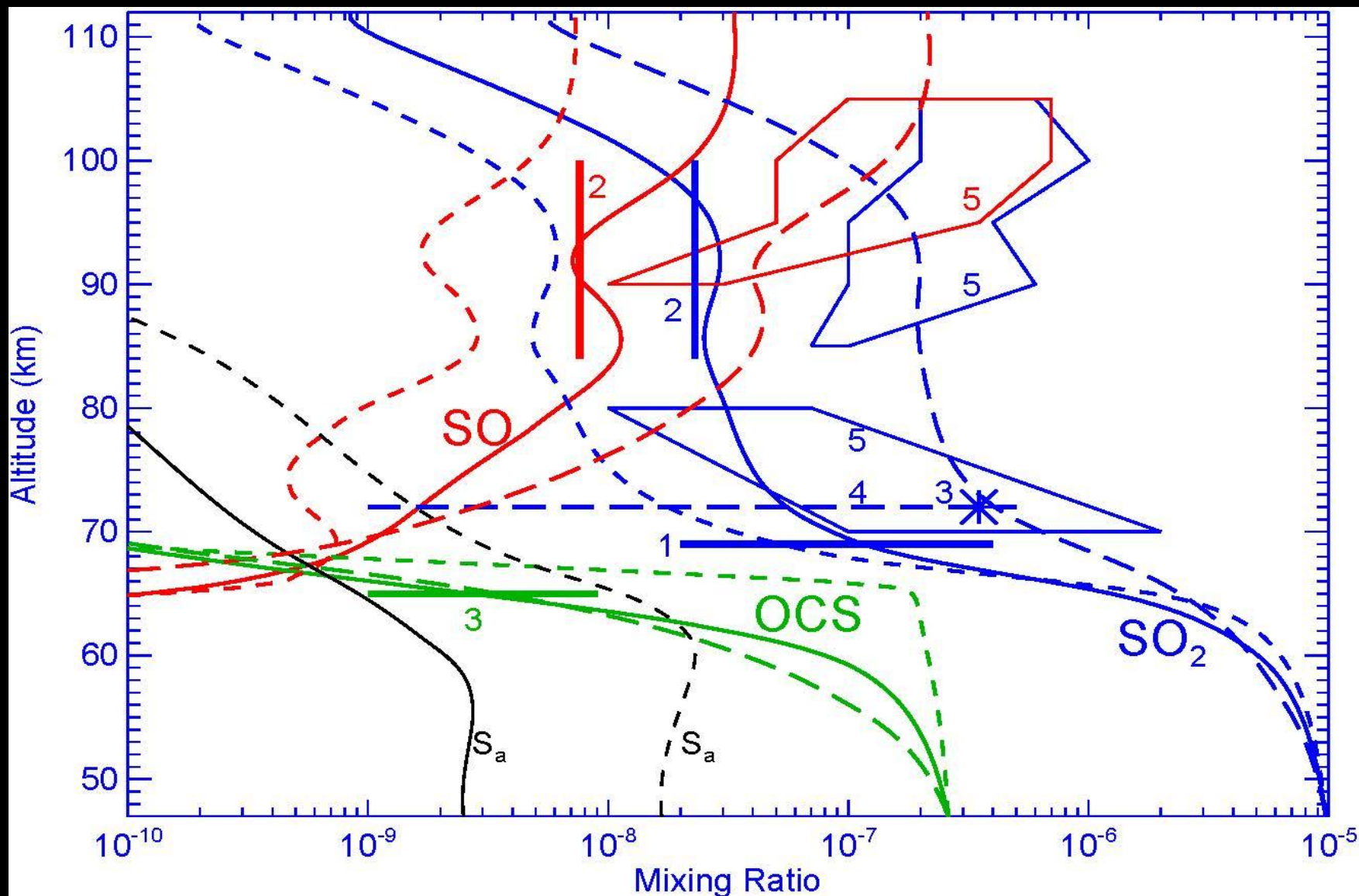
### Венера

### Титан

суперротация и полярные вихри  
атические модели

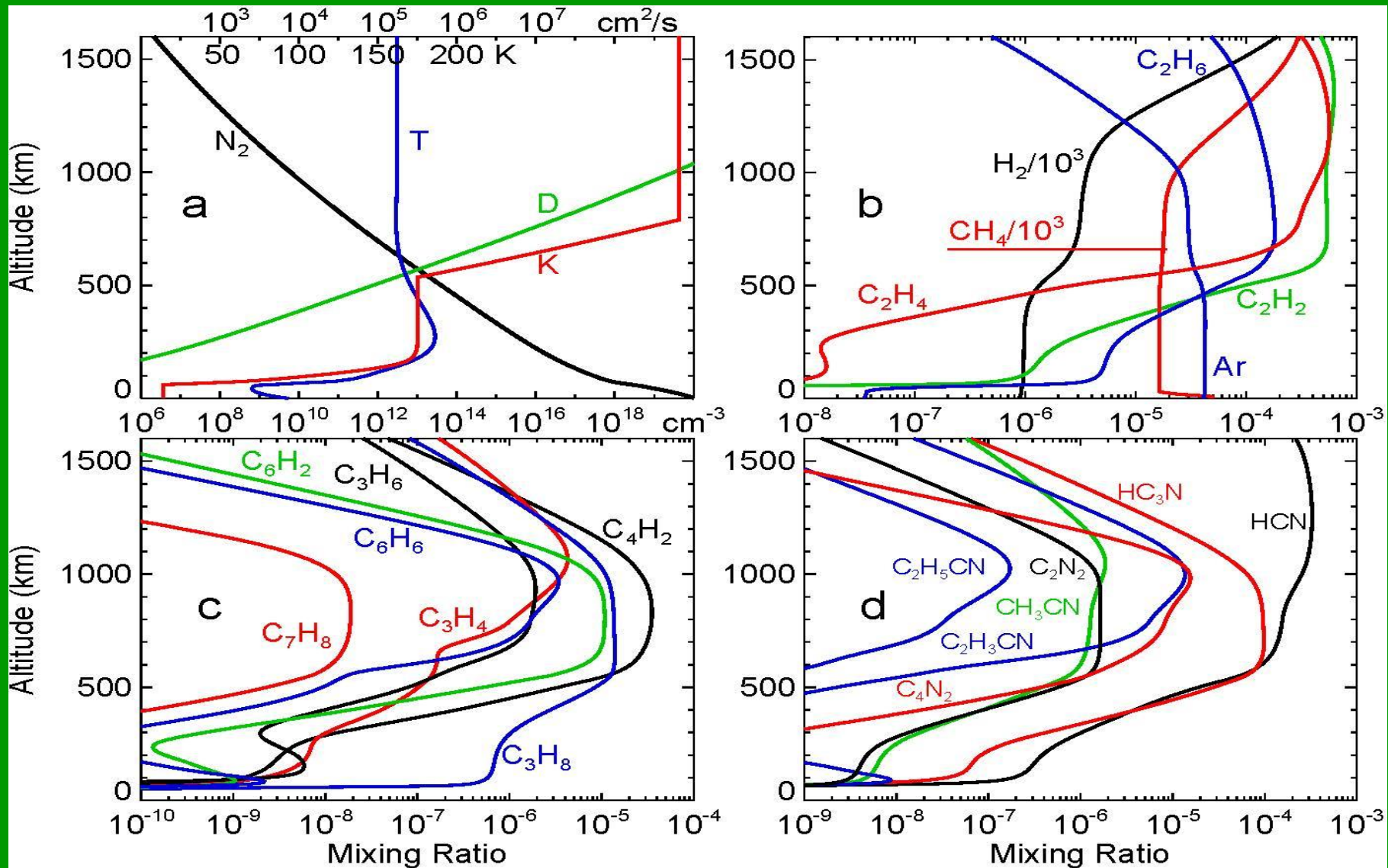


Photochemical model for Venus middle atmosphere (Krasnopolsky 2012c): calculated and observed variations of  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}$ ,  $\text{OCS}$ , and  $\text{S}_a$

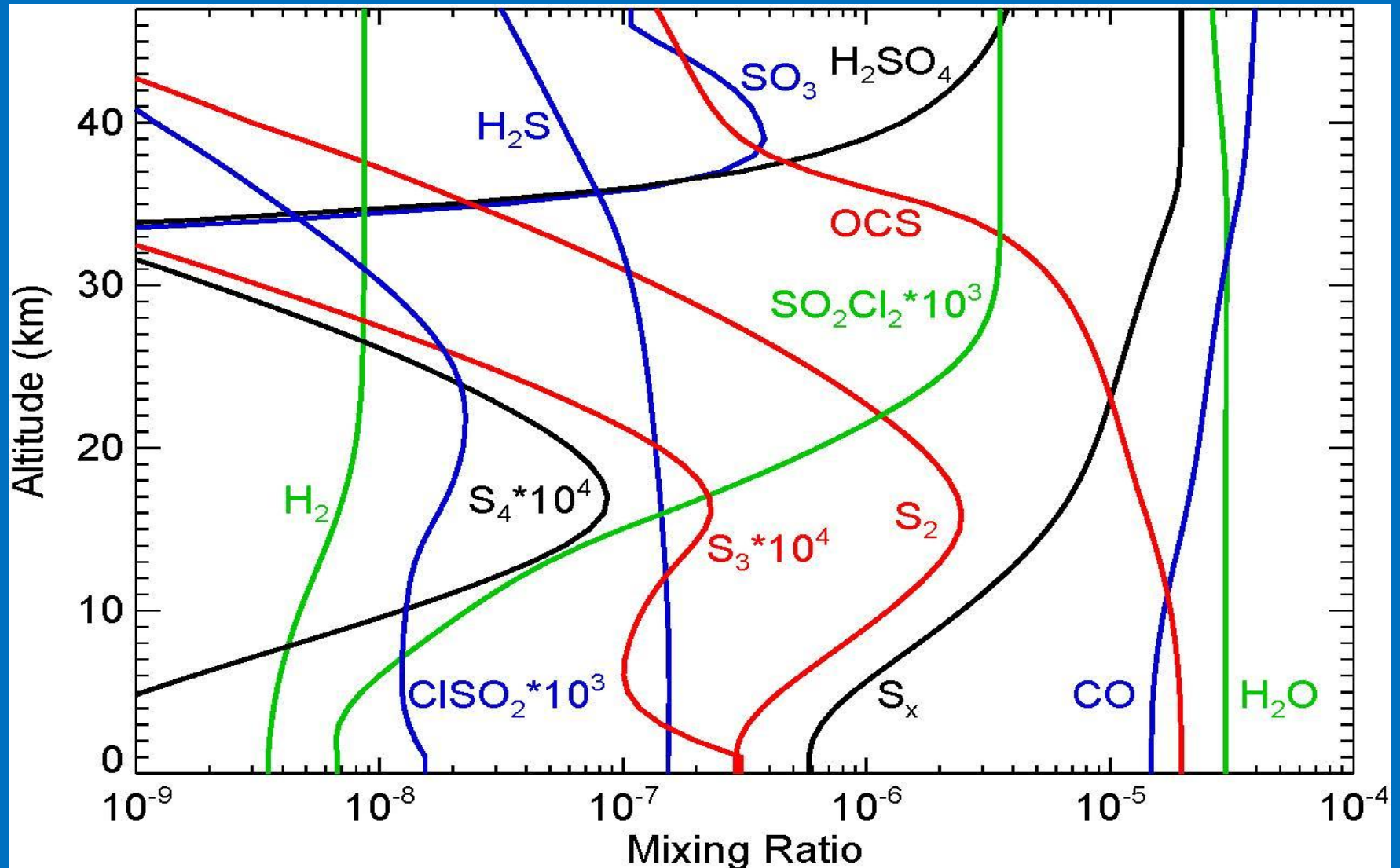




# Photochemical model for Titan: 83 neutral and 33 ion species (Krasnopolsky 2012d)



# Chemical kinetic model for Venus lower atmosphere (Krasnopolsky 2012e)



# Гетеродинный спектрометр сверхвысокого разрешения

## Научные задачи

- Анализ атмосферных примесей с малыми концентрациями.
- Изотопный анализ планетных атмосфер
- Восстановление вертикальных профилей давления.
- Доплеровские измерения поля скоростей.

## Методы измерений

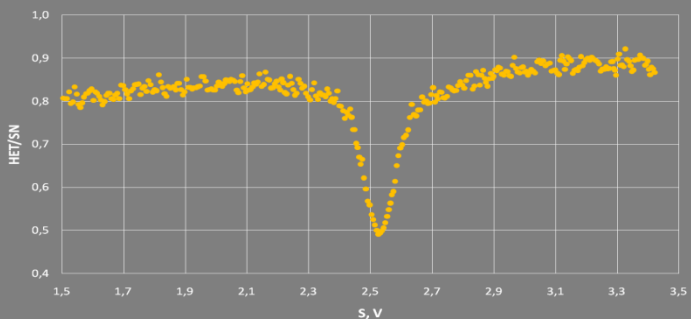
- Дистанционное зондирование с борта КА
- Наблюдения Солнца с поверхности планеты
- Наблюдения на наземных обсерваториях

*Криогенный  
сверх-  
проводящий  
смеситель  
на основе  
оптических  
антенн*



Гетеродинное детектирование - единственный способ получить приемлемое отношение сигнал/шум при сверхвысоком ( $\sim 10^7$ ) спектральном разрешении

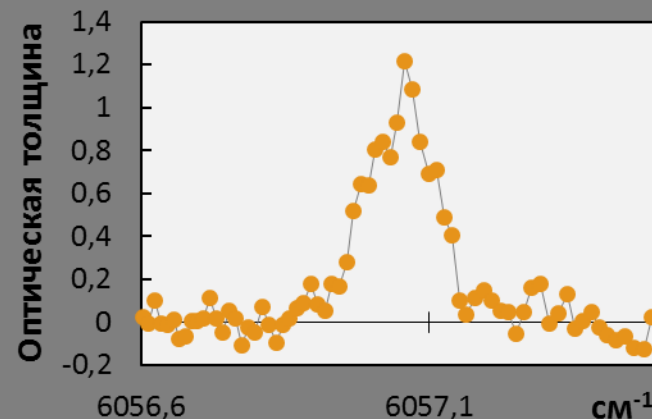
*Измерения линии  $H_2O$   
в лаборатории*



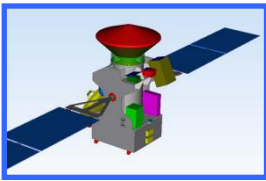
*Прототип  
для полевых измерений*



*Измерения линии  $CH_4$   
в атмосфере*



В планах – бортовые приборы для МКС и микроспутников

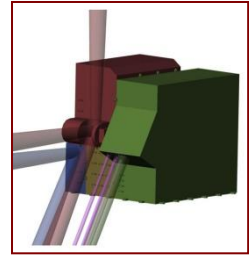


# ЭкзоМарс: Trace Gas Orbiter

## Российские приборы: ACS



**Atmospheric Chemistry Suite (ACS)** – Комплекс приборов для изучения химического состава атмосферы и климата. Состоит из трех спектрометров и системы сбора научной информации. Масса: 33.3 кг.



Название	Описание прибора	Прототип
<b>ACS-NIR</b>	Эшелле-спектрометр (ближний ИК: 0.7-1.7 мкм, R~20000) для мониторинга и измерения вертикальных профилей CO, H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , исследования дневного свечения O <sub>2</sub> , поиска ночных свечений. Масса: 3.5 кг. Энергопотребление: 15 Вт.	Русалка (МКС) 
<b>ACS-MIR</b>	Эшелле-спектрометр (средний ИК: 2.2-4.4 мкм, R>50000). Измерения метана, отношения D/H, поиск малых составляющих, исследования аэрозоля. Масса: 12 кг. Энергопотребление: 20 Вт.	ТИММ (Ф-Г) 
<b>ACS-TIRVIM</b>	Фурье-спектрометр (2-25 мкм, 0.2 см <sup>-1</sup> ). Мониторинг трехмерных полей температуры, аэрозоля, картирование и детектирование малых составляющих. Масса: 12 кг. Энергопотребление: 20 Вт.	АОСТ (Ф-Г) 

- Ремонт и оснащение помещений лаборатории на ФизТехе
- Подготовка и чтение первой части курса лекций «Спектроскопия и фотохимия планетных атмосфер»
- Наземные наблюдения Марса (в январе и мае) и Венеры (в марте и августе) на NASA IRTF