

Измерение сернистых компонент разрезаемой атмосферы Венеры: эксперимент ИСКРА-В на посадочном аппарате миссии «Венера-Д»

*Виноградов И.И. imant@iki.rssi.ru ИКИ РАН, 117997, Москва, ул. Профсоюзная 84/32
Лаборатория Экспериментальной спектроскопии. Рабочая группа эксперимента ИСКРА-В*

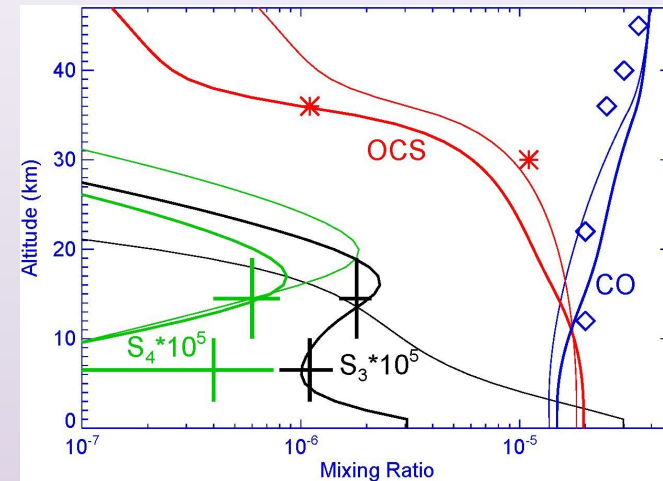


ВАК-2021
ГАИШ МГУ, Москва
23-28 августа 2021



Эксперимент ИСКРА-В на посадочном аппарате «Венера-Д»

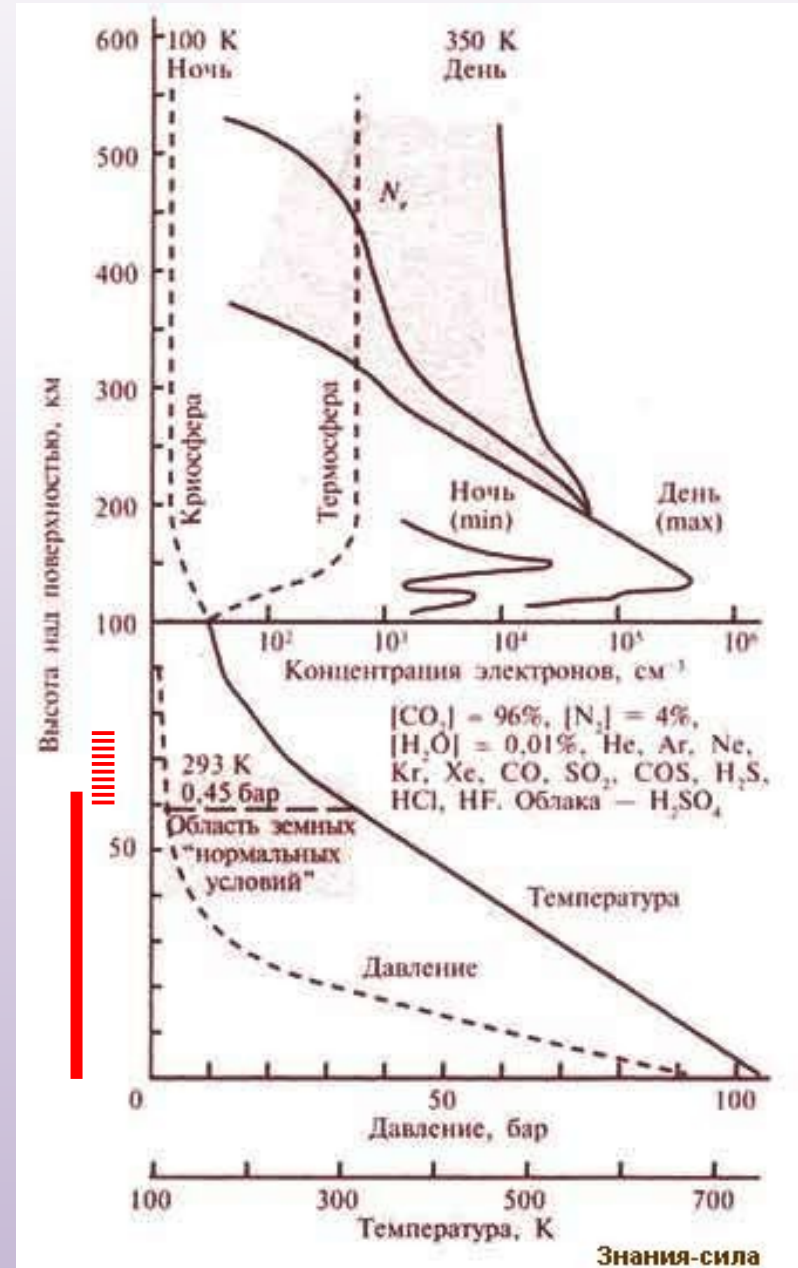
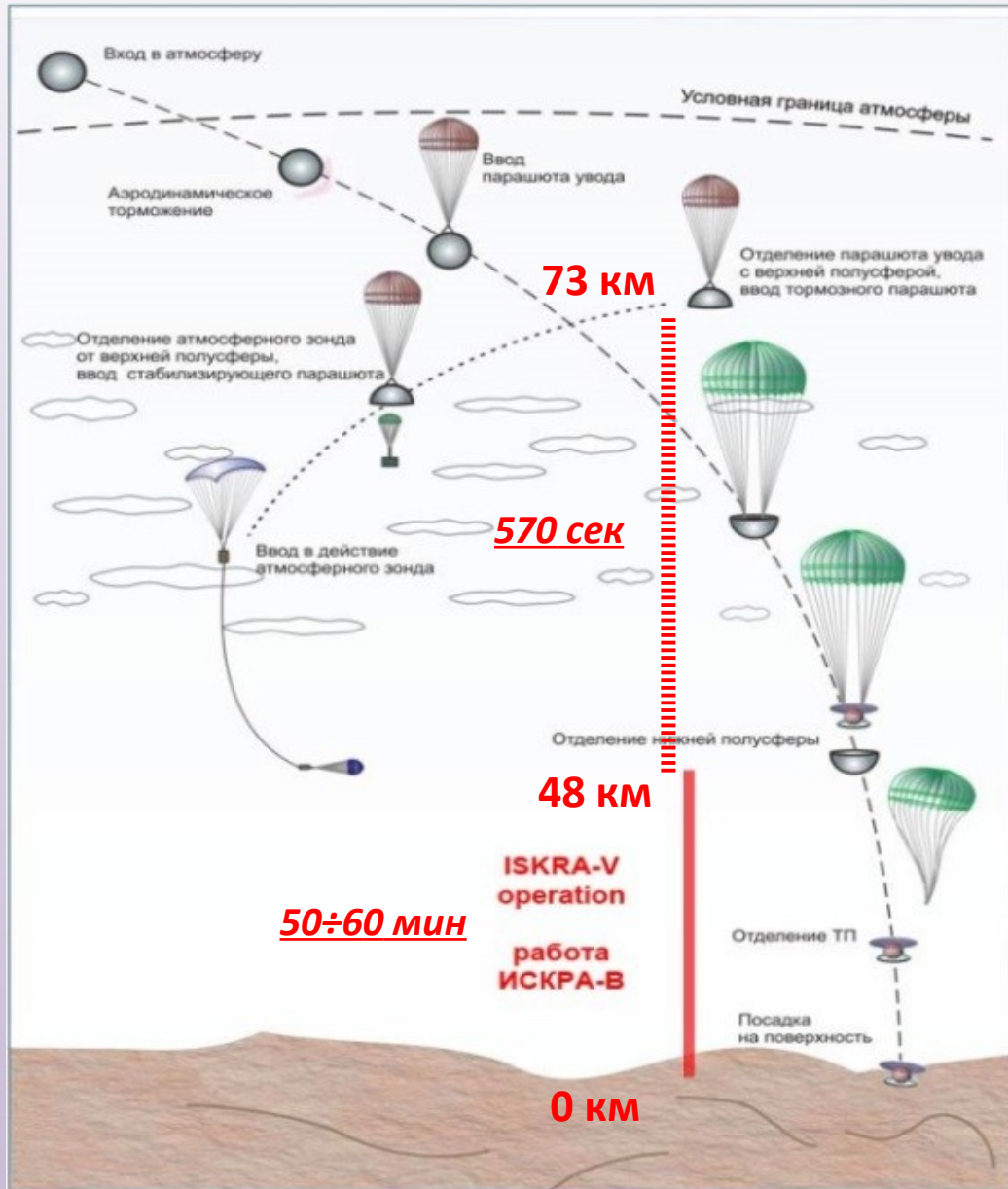
- В продолжение многолетних экспериментальных исследований фотохимии атмосферы Венеры предложен эксперимент ИСКРА-В, цель которого - определение вертикальных профилей состава атмосферы Венеры, её сернистых компонент и малых газовых составляющих на траектории снижения посадочного аппарата (ПА) отечественной миссии «Венера-Д».



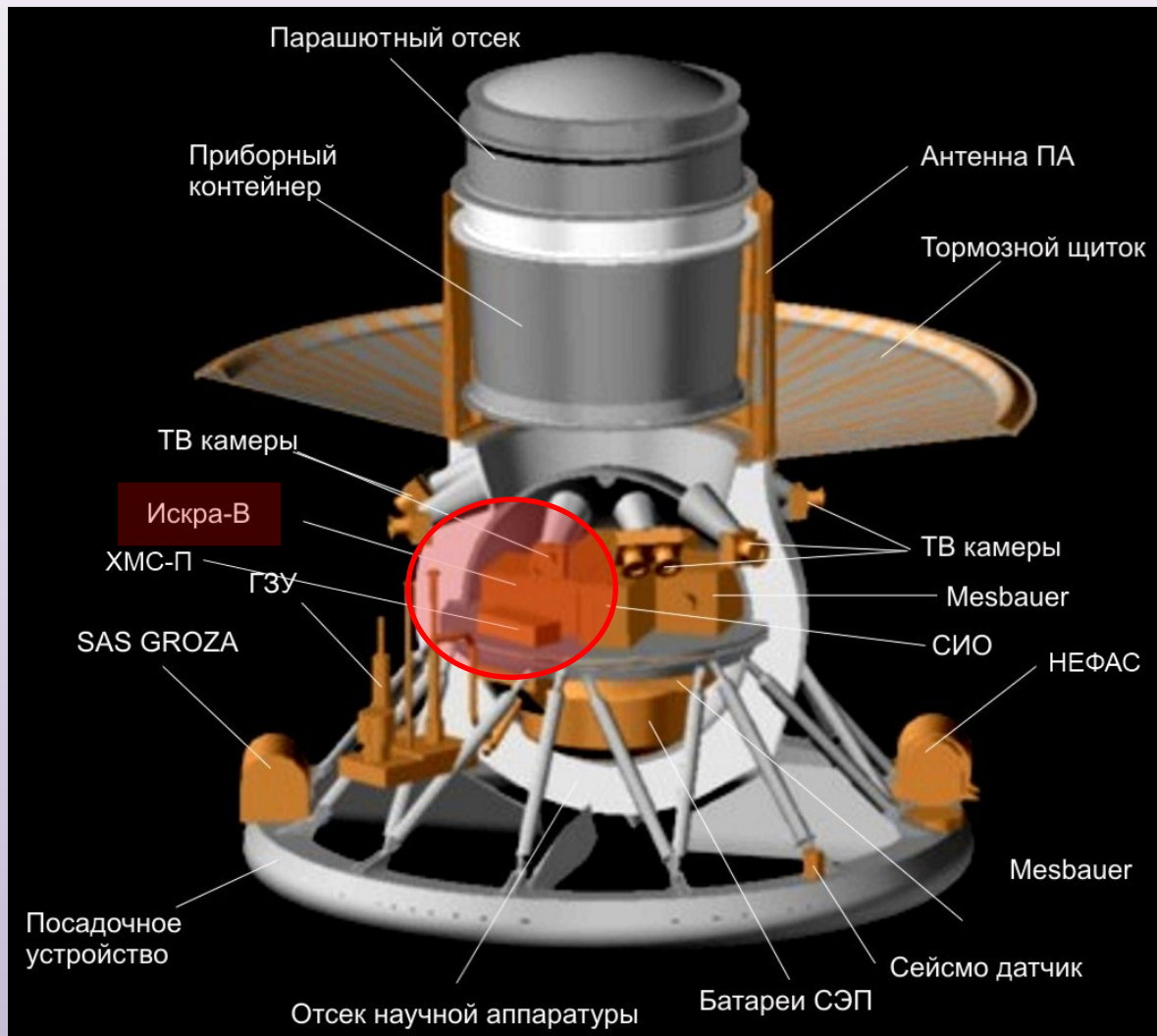
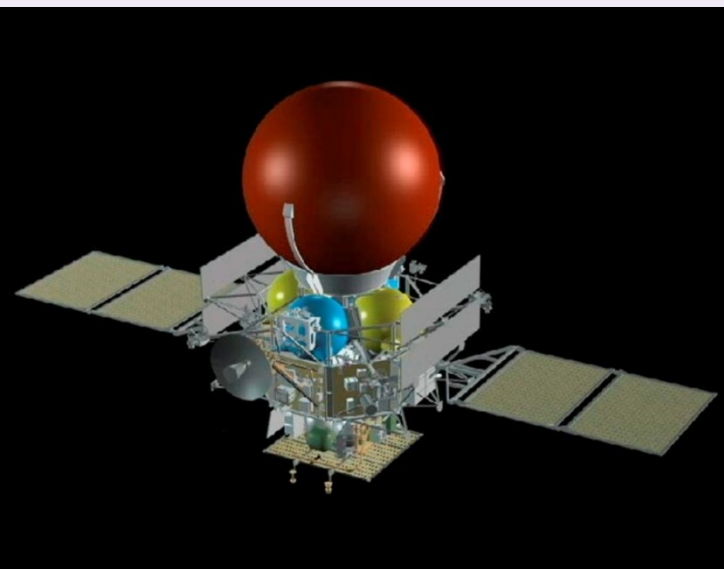
*Low atmosphere profiles example from:
Chemistry of Venus' Atmosphere.
Vladimir A. Krasnopolsky, 5M-S³,
15.10.2014, IKIRAS*

- Активная фаза эксперимента ИСКРА-В начнётся в момент сброса внешней защиты ПА на высоте около 73 км и продолжится вплоть до его касания поверхности Венеры. Продолжение измерений возможно и вблизи поверхности, в зоне посадки аппарата, вплоть до исчерпания его физических ресурсов.

Обстановка сеансов измерений



Прибор ИСКРА-В будет размещён внутри защищённого контейнера для научной аппаратуры на борту ПА



Экспериментальная методика

Многоканальный лазерный абсорбционный спектрометр (МЛАС) - основа прибора ИСКРА-В. Поочерёдное циклическое включение набора монохроматичных перестраиваемых **диодных и квантовых каскадных лазеров** обеспечит детальное изучение состава окружающей атмосферы. Зондирующее лазерное излучение будет просвечивать объём многопроходной аналитической оптической кюветы, периодически заполняемой газовой пробой атмосферы Венеры.

Система формирования атмосферных газовых проб (АГП) обеспечит быстрое обновление газовой пробы, разрежаемой в аналитическом объёме кюветы МЛАС до рабочего давления 50 мбар.

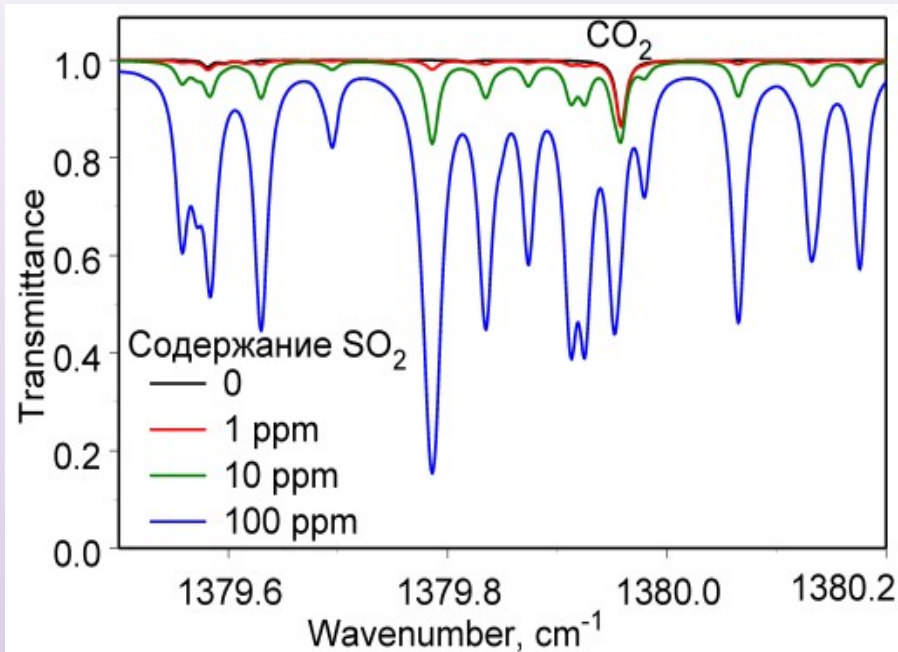
Планируются измерения содержания следующих основных молекул и их изотопных соотношений:

- диоксид серы SO_2 , монооксид углерода CO , углекислота CO_2 , карбонилсульфид OCS , вода H_2O , PH_3 опционально;*
- изотопные соотношения $^{13}C/^{12}C$ для CO и CO_2 , $^{16}O/^{17}O/^{18}O$ для CO_2 , D/H и $^{16}O/^{17}O/^{18}O$ для H_2O , $^{34}S/^{33}S/^{32}S$ для OCS .*

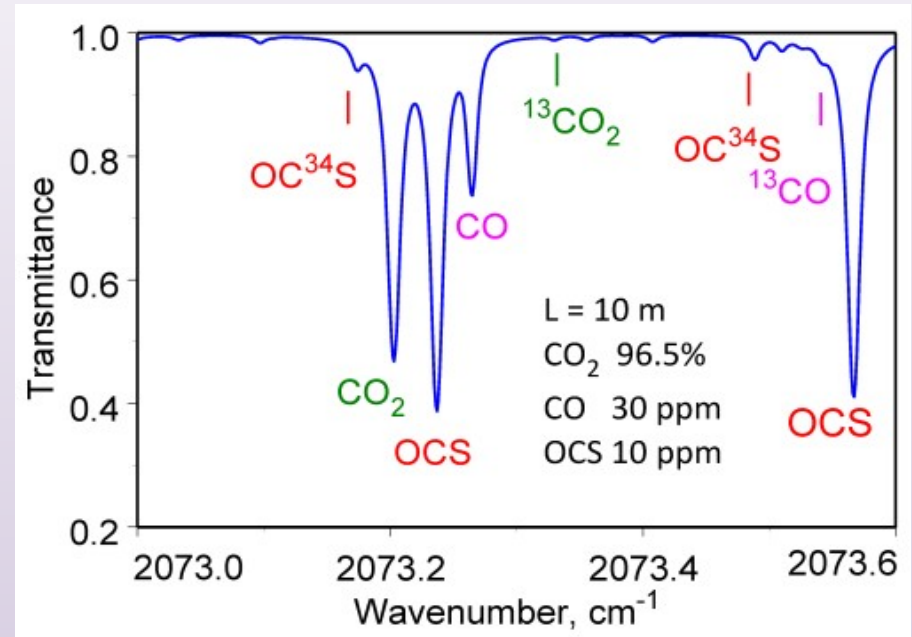
Присущее МЛАС высокое спектральное разрешение $\lambda / \Delta\lambda \sim 10^7$ способствует высокой чувствительности аппаратуры ИСКРА-В.

Расчётная аппаратная чувствительность к относительному поглощению - порядка $10^{-4...-5}$. Выбор спектральных линий с различной силой поглощения позволит расширить эффективный динамический диапазон для измерений выбранных молекул и их изотопологов.

Примеры модельных спектров для газовых проб



Модельный спектр газовой пробы атмосферы Венеры при 50 мбар, 300 К и эффективной длине оптического пути $L = 30$ м для различного содержания SO_2 в спектральном диапазоне максимального поглощения SO_2 около **7,2 мкм**.



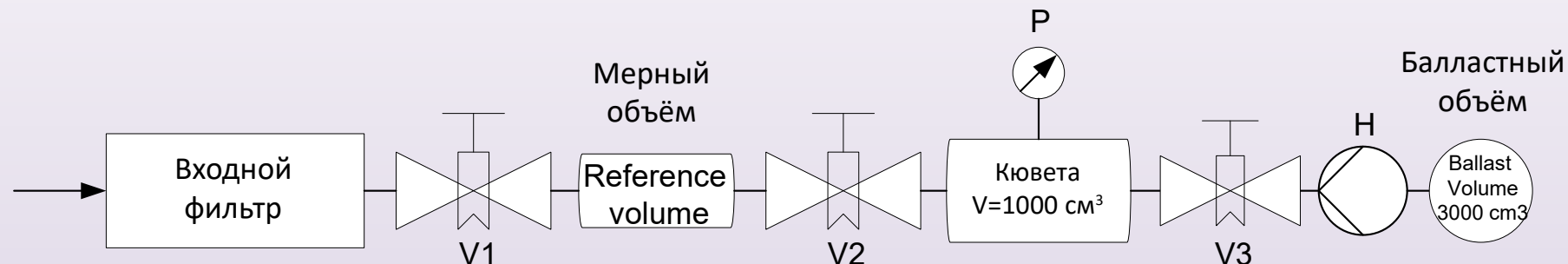
Модельный спектр атмосферной газовой пробы около **4,82 мкм** для $L = 10$ м и содержания газов:

- $\text{CO}_2 - 96,5\%$,
- $\text{CO} - 30$ ppm,
- $\text{OCS} - 10$ ppm.

Параметры прибора ИСКРА-В, предварительно

Параметр	Значения, свойства, комментарии
Форм-фактор	Два блока: МЛАС и АГП // <i>Либо моноблок (МЛАС + интерфейсы)</i>
Габариты	120 x 120 x 400 мм (5,8 дм ³) блок МЛАС; 90 x 110 x 400 мм (4,0 дм ³) блок АГП. Всего 9,8 дм³
Размещение на ПА	Внутри защищённого приборного отсека ПА
Масса	9,9 кг, включая: 6,3 блок МЛАС, 3,6 блок АГП // <i>Либо моноблок 7,0 кг</i>
Электропитание; потребляемая мощность	Бортсеть 28 В; 48 Вт пиковое, 35 Вт среднее, 5 Вт ожидание
Внешние интерфейсы	<ul style="list-style-type: none"> - Бортсеть электропитания ПА; - цифровой интерфейс обмена командами и данными с ЦМК КНА; - бортовые служебные системы, активация работы АГП; - внешняя атмосфера, отбор газовых проб, предварительная фильтрация газовой пробы от пыли и аэрозолей // <i>либо отдельная централизованная система подготовки проб атмосферы и грунта для научных приборов ПА</i>
Выполнение измерений	<ul style="list-style-type: none"> - Непрерывно при снижении ПА под облаками вплоть до посадки; - периодически возле поверхности после посадки
Точка отбора атмосферной пробы	<ul style="list-style-type: none"> - На боковой поверхности ПА; - или в сквозном канале набегающего атмосферного потока (<i>TBD</i>)
Спектральное разрешение ИК-диапазон // эффективный оптический путь в аналитической кювете	$\lambda/\Delta\lambda \sim 10^7$ 7,2 мкм для SO₂ // 30 м 4,82 мкм для CO, CO₂ и ¹³C/¹²C; OCS и ³⁴S/³³S/³²S // 17 м 2,8 мкм для CO₂ и ¹³C/¹²C, ¹⁶O/¹⁷O/¹⁸O; H₂O и D/H, ¹⁶O/¹⁷O/¹⁸O // ~ 1 м 4,2 мкм (или 8,6 мкм) для PH₃ - опционально
Аппаратный динамический диапазон // точность определения концентраций	10 ^{+4...+5} // ~ 0,1 %
Информационный поток // объём данных	30 кБ/мин макс. // 3,0 МБ (<i>TBD</i>)

Иллюстрация принципа забора атмосферной пробы, предварительно



- **V1, V2 – коммутируемые импульсные клапаны;**
- **Мерный объём (переключаемый: 50, 5 или 0,5 см³);**
- **Аналитическая многопроходная оптическая кювета 1000 см³ (стабилизированная, в пределах + 30...50 °C);**
- **P – датчик давления; V3 – регулируемый клапан; Н – откачной насос;**
- **Балластный объём 3000 см³ с поглотителем CO₂ .**

Особенности забора проб окружающей атмосферы

Может быть организован специальный воздушный канал для набегающего атмосферного потока (сбоку ПА или внутри ПА, по аналогии с предыдущими посадочными зондами). Такой канал может использоваться и для прибора ИСКРА-В, и для соседнего газового аналитического комплекса (газовый хроматограф – масс спектрометр). Газовая проба для прибора ИСКРА-В должна быть очищена от аэрозолей, капелек, пыли, льдинок и проч.

Рассматривается возможность забора проб атмосферы и грунта Венеры, их подготовки и раздачи научным приборам, в том числе и прибору ИСКРА-В, отдельной централизованной системой в составе полного комплекса научного оборудования посадочного аппарата.

Каждая атмосферная газовая проба будет разрежена до рабочего давления около **50 мбар** в аналитическом объёме оптической кюветы и будет откачана в конце каждого цикла измерений. Сопутствующий **коэффициент разрежения** будет сохраняться как необходимый параметр для восстановления действительного содержания измеряемых компонент.

Периодичность и продолжительность измерений будут соответствовать итоговой циклограмме спуска посадочного аппарата и результату оптимизации системы подготовки газовых проб, последовательности срабатывания клапанов, откачки рабочего объема, эффективности поглотителя обильного CO₂ и т.д.

Вертикальное разрешение до 2 км для измеряемых высотных атмосферных профилей может быть достигнуто при продолжительности одного полного цикла спектральных измерений МЛАС не более 1...2 мин.

Литература

Jean-Loup Bertaux, Thomas Widemann, and Alain Hauchecorne, V. I. Moroz and A. P. Ekonomov, VEGA 1 and VEGA 2 entry probes: An investigation of local UV absorption (220-400 nm) in the atmosphere of Venus (SO₂, aerosols, cloud structure). JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 101, NO. E5, PAGES 12,709-12,745, MAY 25, 1996.

Виноградов И.И., Д.А.Беляев, Эксперимент «ИСКРА-В» (Измерение сернистых компонент разрежаемой атмосферы Венеры) отечественного проекта «Венера-Д». 23-й Общероссийский семинар по диодной лазерной спектроскопии им. А.М.Прохорова (ДЛС-23), 27 октября 2015, ИОФАН, Москва, приглашённый доклад, Программа семинара, стр. 3; <http://www.dls.gpi.ru/rus/sem/23/1.pdf>

Rodin Alexander, Imant Vinogradov, Sergei Zenevich, Maxim Spiridonov, Iskander Gazizov, Viktor Kazakov, Vyacheslav Meshcherinov, Ilya Golovin, Tatyana Kozlova, Yuri Lebedev, Svetlana Malashevich, Artem Nosov, Oksana Roste, Alla Venkstern, Artem Klimchuk, Vladimir Semenov, Viktor Barke, Elena Tepteeva, Georges Durry, Mélanie Ghysels-Dubois, Oleg Korablev, Martian Multichannel Diode Laser Spectrometer (M-DLS) for In-situ Atmospheric Composition Measurements on Mars onboard ExoMars-2022 Landing Platform. APPLIED SCIENCES, 09 Dec 2020, 10(24), 8805; <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/8805>; doi:10.3390/app10248805

Alfredo Bismuto, Stéphane Blaser, Romain Terazzi, Tobias Gresch and Antoine Muller, High performance, low dissipation quantum cascade lasers across the mid-IR range. OPTICS EXPRESS, 5477, Vol. 23, No. 5, 9 Mar 2015, DOI:10.1364/OE.23.005477; https://www.alpeslasers.ch/fichier/papiers/oe_23_5_5477.pdf

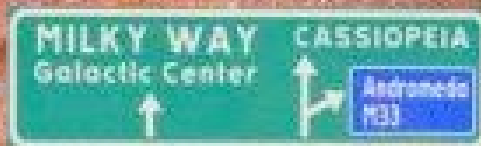
Ruyue Cui, Lei Dong, Hongpeng Wu, Weidong Chen, and Frank K. Tittel, Generalized optical design of two-spherical-mirror multi-pass cells with dense multi-circle spot patterns. Appl. Phys. Lett. 116, 091103, 4 March 2020; doi: 10.1063/1.5145356

Проект «Венера-Д» на сайте ИКИ РАН:
http://www.iki.rssi.ru/annual/2020/R-Venera-D_2020_all.pdf
<http://venera-d.cosmos.ru/index.php?id=658>

Проект DAVINCI+ на сайте NASA:
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2021/nasa-to-explore-divergent-fate-of-earth-s-mysterious-twin-with-goddard-s-davinci>



Many thanks for your attention!



Спасибо за внимание!

