

9. Методы исследований Солнечной системы

Координаторы: М.В. Герасимов (ИКИ), Г.К. Боровин (ИПМ), В.Ф. Гальченко (ИНМИ)

- 9.1. Новые дистанционные и контактные методы и приборы для научных исследований
- 9.2. Перспективные аппараты для солнечных, гелиосферных и планетных исследований
- 9.3. Баллистические сценарии и необходимые характеристики новых проектов.
- 9.4. Бортовые приборы ориентации, управления, сбора и обработки научной информации
- 9.5. Наземные системы обработки и распределения научной информации
- 9.6. Методы обнаружения биологических и палеобиологических объектов, а также их биомаркеров
- 9.7. Устойчивость земных биоформ в космической и инопланетной среде

9.1. Проект: Радиолокационное зондирование планет и объектов Солнечной системы

Руководитель: Смирнов В.М., ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН

Научная проблема, на решение которой направлен проект:

Исследование поверхности, внутренней структуры грунта и ионосферы космических тел дистанционными методами

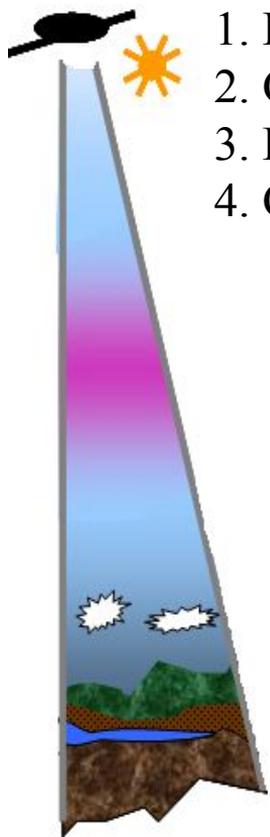
Задача проекта

Разработка принципов функционирования и оценка оптимальных параметров радиолокационного комплекса для проведения планетных исследований

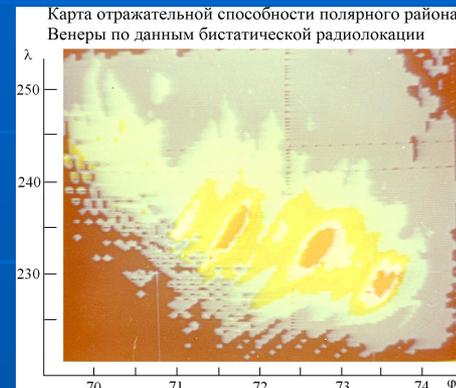
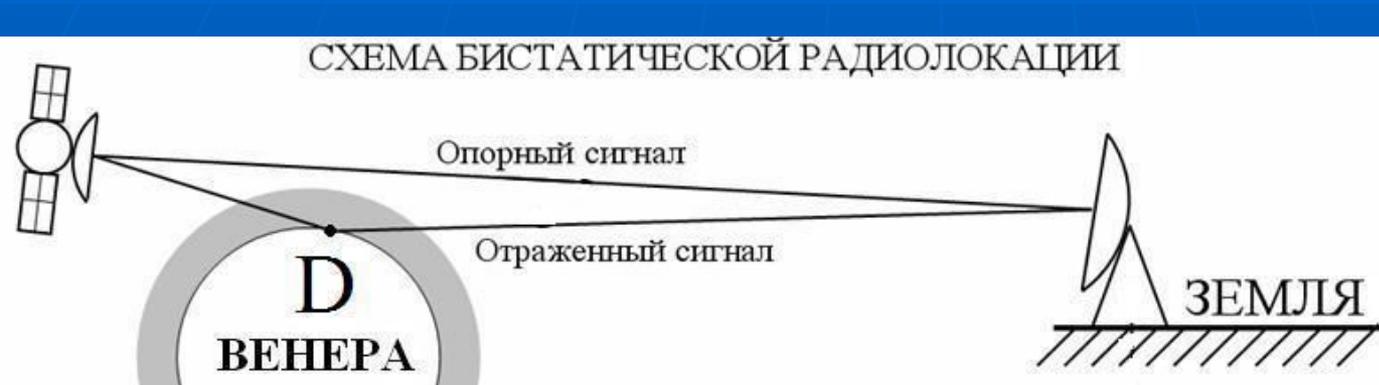
Факторы, влияющие на результаты радиолокационного зондирования

1. Параметры приемопередаточного тракта прибора
2. Состояние ионосферы (зенитный угол Солнца)
3. Рельеф поверхности
4. Строение грунта и его диэлектрические свойства

В рамках проекта предполагается разработать эмуляционный макет широкополосного радара для исследования ионосферы и грунта практически в одной и той же подспутниковой точке. Для оптимизации характеристик радара частотный диапазон работы прибора предполагается разбить на несколько поддиапазонов, ориентированных для исследования определенных сред (ионосфера, рельеф, грунт). Для каждого из поддиапазонов будет выбран оптимальный тип сигнала с наиболее приемлемыми параметрами. Для получения научной информации предполагается совместный анализ принятых сигналов всех диапазонов.



9.2. Зондирование грунта и радиопросвечивание атмосферы Венеры методом бистатической локации. ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. Научн. рук. зав. лабораторией А.Г. Павельев



1. Цель: Исследование грунта и нижних слоев атмосферы Венеры

2. План 2012 г. Обоснование метода бистатической радиолокации для исследования грунта и нижних слоев атмосферы Венеры с помощью мощного наземного передатчика и спутника планеты.

3. Ожидаемые результаты 2012 г. Будут обоснованы технические решения для осуществления радиозондирования грунта Венеры и радиопросвечивания нижних слоев атмосферы планеты с помощью мощного наземного передатчика и спорадических излучений Земли и Солнца, проведен теоретический анализ радиофизических закономерностей и структуры отраженных сигналов.

Применение для зондирования мощных наземных передатчиков с использованием приемника на спутнике Венеры позволит существенно повысить глубину зондирования до нескольких десятков метров. Будет обоснована возможность изучения нижних слоев атмосферы Венеры, недоступных для исследования методом радиопросвечивания из-за наличия уровня критической рефракции.

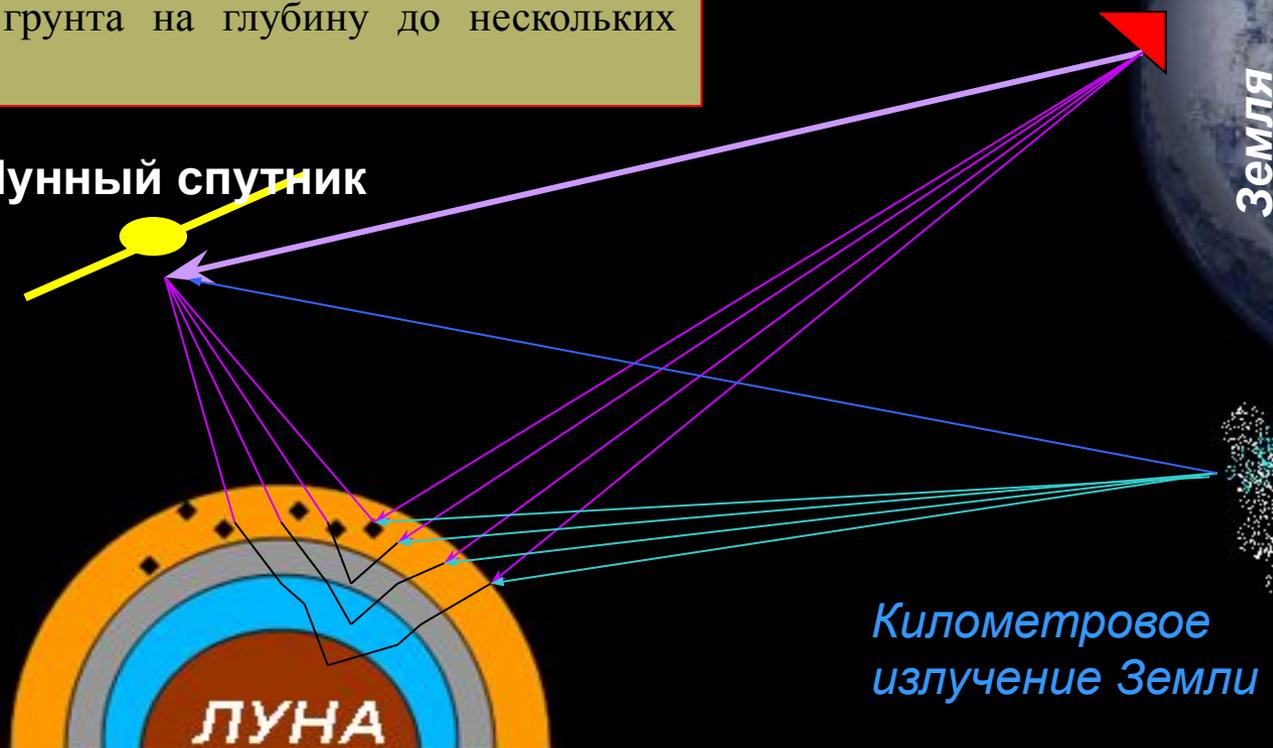
9.3. «Глубинное зондирование грунта и радиопросвечивание окололунной плазмы методом бистатической локации» ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН Рук. проф. О.И. Яковлев

Цель работы: Развитие метода бистатической радиолокации Луны и окололунной плазмы с помощью мощного наземного передатчика, спорадического излучения Земли и спутника Луны.

Ожидаемые результаты в 2012 г.: Обоснование способов зондирования лунного грунта и окололунной плазмы с помощью мощных наземных передатчиков и спорадического излучения Земли в диапазоне километровых длин волн. Выбор оптимального диапазона частот, поляризации, а также вида модуляции для определения свойств лунного грунта на глубину до нескольких километров.

*Мощный передатчик
декаметровых волн*

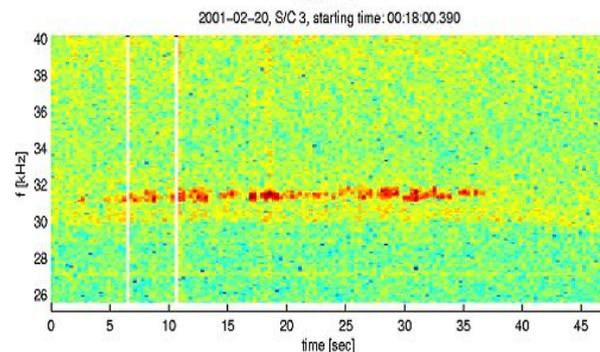
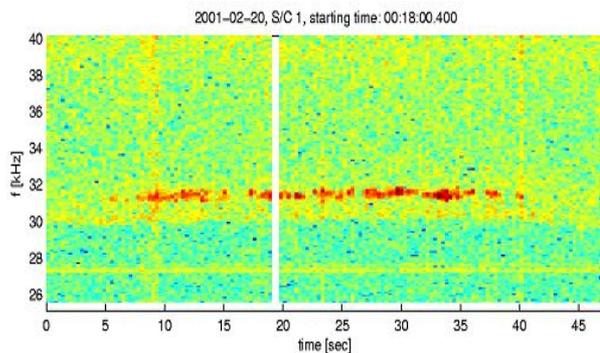
Лунный спутник



*Километровое
излучение Земли*

9.4. Проект: «Активные и пассивные методы антенной и зондовой диагностики неравновесных процессов в космической плазме». Руководитель Чугунов Ю.В. ИПФ РАН. Тема проекта: Антенные и зондовые методы диагностики электромагнитных излучений (генерации, распространения и регистрации шумовых и регулярных излучений) в плазме солнечного ветра, в магнитосфере и ионосфере Земли и других планет солнечной системы. Предложение новых методов диагностики параметров неравновесной космической плазмы.

Пример: Приемная антенна как частотно-угловой фильтр и новые методы диагностики параметров плазмы (пример для плазмы солнечного ветра)



- Данная картинка есть спектры электромагнитных сигналов, принимаемых антеннами на двух спутниках Кластер в одно и тоже время.
- В данной реализации на фоне шумового спектра видна интенсивная узкая линия на частоте 31,5 кГц, которая соответствует регулярному (не шумовому) излучению в солнечном ветре.
- Эта линия соответствует **локальной плазменной частоте электронов**, так как эффективная длина приемной антенны резко возрастает на этой частоте для направлений приема вдоль скорости ветра, т.е. антенна является эффективным частотно-угловым фильтром, «вырезающим» из частотно-углового спектра излучения частоты, близкие к плазменной частоте и углы приема, близкие к направлению скорости потока.
- Это свойство антенны в движущейся среде позволяет также диагностировать **величину скорости ветра** по временному сдвигу принимаемого излучения на разных спутниках (см., приведенные пример спектров) и известному расстоянию между ними.

9.5. **Создание высокотемпературных радиационно-стойких Карбид кремниевых детекторов для регистрации и спектрометрии высокоэнергетичных частиц и ультрафиолетового излучения**

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, руководитель проекта в.н.с., д.ф.-м.н. Калинина Е.В.

Ожидаемые в конце 2012 года научные результаты:

- Приборное исполнение SiC спектрометров ядерных излучений с высокой разрешающей способностью ($\leq 1\%$) и рабочей температурой до 500°C.
- Приборное исполнение SiC солнечно-слепых селективных УФ фотоприемников (200 - 400 нм), в том числе канцерогенного излучения (240 - 270 нм) с рабочей температурой до 500°C.
- Улучшение параметров исходного материала и контролируемое изменение электрофизических характеристик приборных структур (время жизни носителей, процессы деградации, пробивное напряжение) при облучении высокоэнергетичными частицами.
- Новые данные о дефектообразовании в SiC в зависимости от сравнительного уровня ядерных и ионизационных потерь энергии при облучении тяжелыми ионами, что позволит судить о радиационной стойкости материала в условиях, моделирующих воздействие тяжелоионной компоненты спектра космического излучения.
- Определение значений предельно-допустимых флюенсов различного вида облучений при различных температурах для SiC детекторов.

9.6. Новые методы и инструменты для проведения солнечных и гелиофизических исследований

рук. С.В.Кузин (ФИАН), секция 9 «Методы исследования солнечной системы»

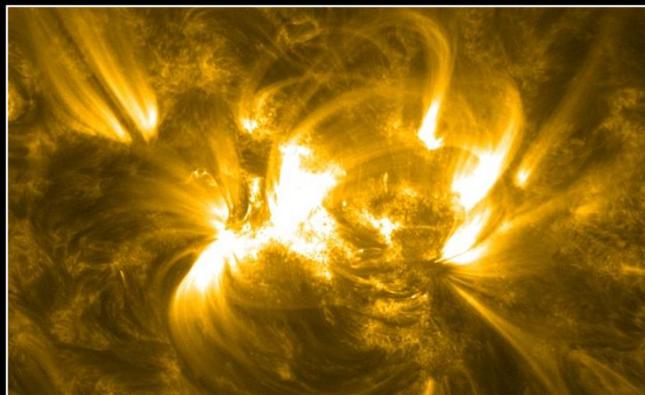
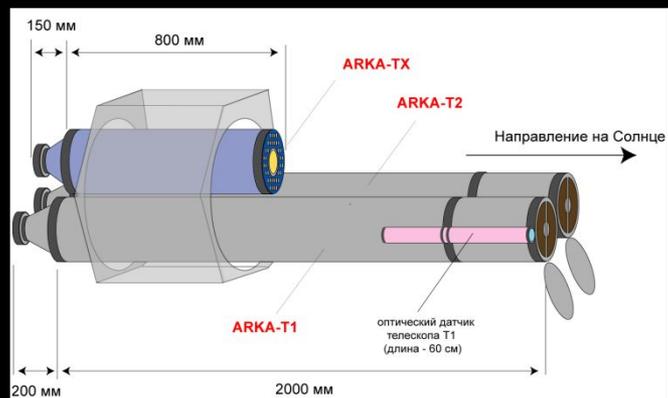


Рис.1. Структурная схема научной аппаратуры ФИАН для МКА-5 (Арка) и пример изображения солнечной короны в ВУФ диапазоне, недоступном для изучения с Земли (линия FeIX 171 А; температура ~ 1 млн. К).

Краткое описание исследования:

Исследование носит экспериментально-теоретический характер и направлено на **разработку новых методов получения и обработки научной информации в ходе солнечных и гелиофизических космических экспериментов**. Актуальность исследования связана с тем, что в настоящее время в России создается несколько комплексов изображающих солнечных инструментов. В ФИАН в настоящее время ведутся работы над тремя проектами: разрабатываются комплексы аппаратуры для спутников «Ионозонд/Зонд», «МКА-5/Арка» и «Интергелиозонд». В ходе данного проекта предполагается **уточнить целевые программы наблюдений** этих проектов, **разработать единые форматы** предоставления гелиофизической информации различным группам целевых потребителей, а также выработать конкретные **предложения по перспективным приборам и космическим аппаратам** для исследования Солнца на 2015–2025 годы.

Ожидаемые в конце 2012 года научные результаты:

1. Предполагается провести **сравнительный анализ структуры космической информации зарубежных проектов SDO, STEREO, Hinode и SOHO** и сформировать на этой основе **предложения по форматам гелиофизических данных с российских космических солнечных телескопов**.
2. В части отработки процедур унификации научной гелиофизической информации планируется переформатировать архив данных телескопа ТЕСИС/КОРОНАС-Фотон под стандарты **Виртуальной солнечной обсерватории (VSO)** и сделать его доступным через эту базу данных.

9.7. Разработка и создание стенда для исследования быстрых нейтральных атомов.

Рук. Вайсберг О.Л., ИКИ РАН

Задача: отработка конвертера нейтральных атомов

План работы:

▪1й год

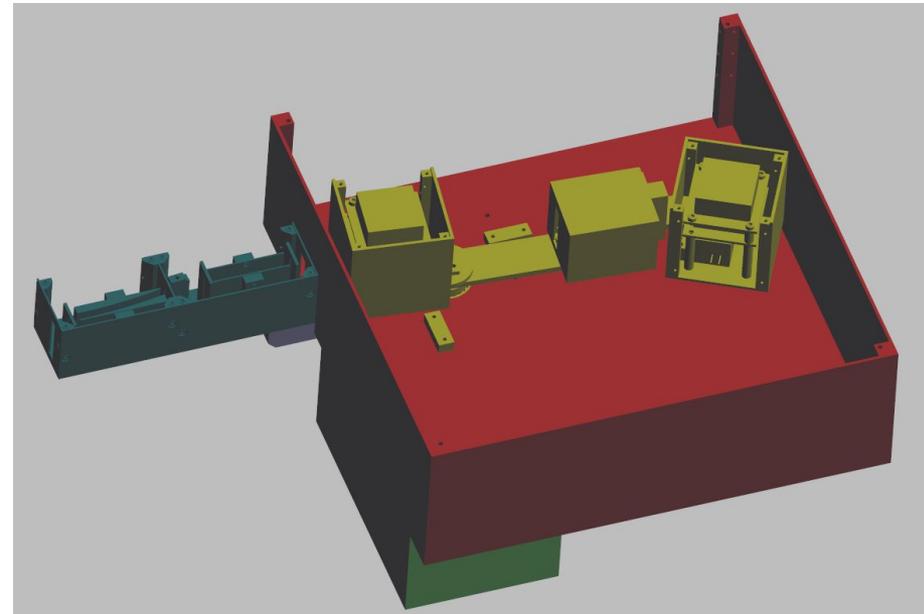
- Разработка механических и электронных компонентов стенда.
- Изготовление стенда.

▪2й год

- Исследование взаимодействия пучка нейтральных частиц с различными материалами.
- Выбор оптимального материала в качестве активной поверхности при исследовании лунного реголита.
- Выбор оптимальной геометрии мишени.

▪3й год

- Моделирование работы конвертера.



9.8. Проект «Радиофизические исследования на поверхности Луны»

Программа Президиума РАН №22, подраздел 9

Рук. А.А. Скальский, ИКИ РАН

Цель проекта

- Изучение возможности реализации низкочастотной приемной системы, расположенной на поверхности Луны
- Проработка научных задач исследований

Исследование особенностей радиоизлучений, которые могут быть зарегистрированы антеннами приемной системы, расположенной на лунной поверхности, но не могут наблюдаться на Земле (ионосфера).

- Рассмотрение возможных антенных систем,
- Требования к чувствительности и временному разрешению измерений для исследования различных источников;
- Влияние окололунной среды на низкочастотные измерения.

Ожидаемые результаты (2012г)

- обзор основных источников низкочастотного радиоизлучения, постановка задач по их дальнейшим исследованиям;
- обзор методик регистрации низкочастотного радиоизлучения низкой интенсивности, определение возможности их приложения к задачам изучения низкочастотных источников радиоизлучения.

9.9. Исследование атмосфер и летучих компонент вещества планет и малых тел методом диодно-лазерной спектроскопии.

(Рук. И.И. Виноградов, ИКИ РАН).

- **Научной задачей** проекта является экспериментальное исследование *in-situ* газового молекулярного и изотопного состава атмосфер планет и летучих компонент вещества планет и малых тел Солнечной системы.
- **Физическая основа** – методика диодно-лазерной спектроскопии (ДЛС) – измерение поглощения монохроматического излучения диодного лазера, прошедшего заданный оптический путь в исследуемой газовой среде. Обширный перечень измеряемых газовых молекул определяется доступностью прецизионно перестраиваемых по длине волны излучения лазерных модулей **ИК-диапазона**.
- **Компактные и информативные приборы**, реализующие методику ДЛС, предполагается размещать **на борту атмосферных зондов, посадочных модулей, роверов** и т.д., доставляемых непосредственно в место проведения измерений.

• **Ожидаемые в 2012 году результаты:**

- Математическая обработка и анализ данных физических калибровок **многоканального ДЛС**, проведенных в составе резервного комплекта научной аппаратуры газового аналитического комплекса миссии **Фобос-Грунт** для различных тестовых газовых смесей и моделей сыпучих грунтов.
- Разработка методов измерений состава атмосфер и летучих компонент вещества планет на основе **многоканальных ДЛС** для миссий: **Луна-Ресурс** и **Луна-Глоб**, **ЕхоMars-2018**, **Венера-Д** и др.

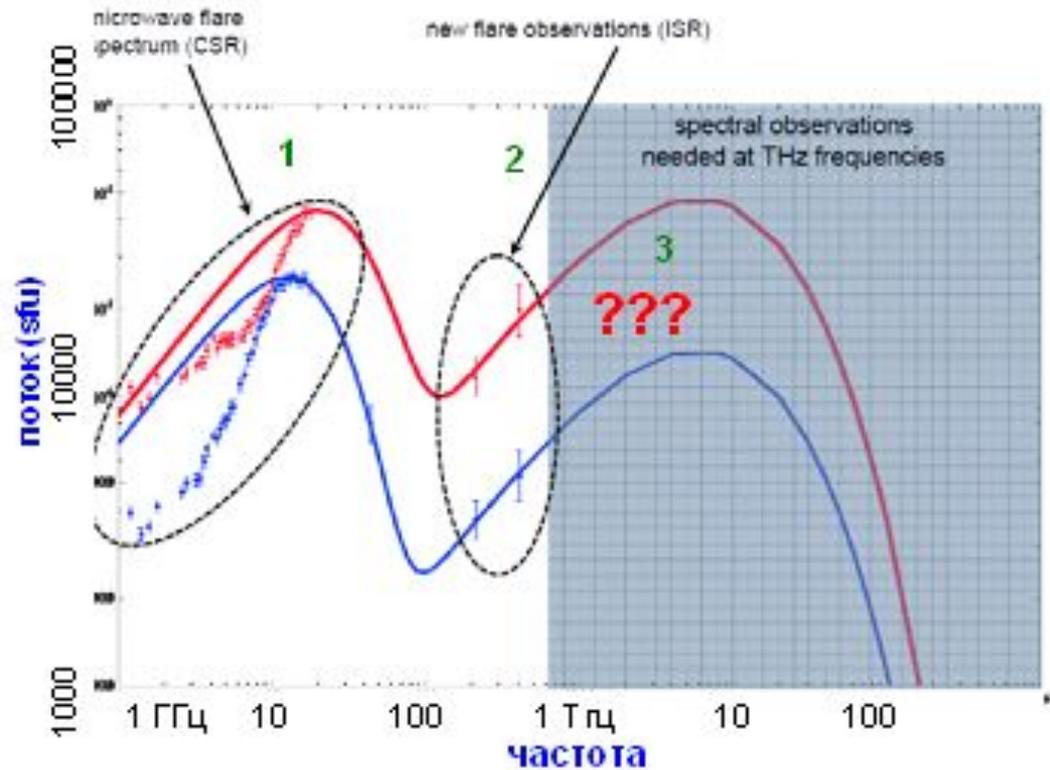


Изучение физической природы процессов ускорения заряженных частиц в солнечных активных областях по радиоизлучению в диапазоне 10^{11} - 10^{12} Гц (ФИАН)

Рук. Базилевская Г.А., Махмутов В.С.

Разработка состава и конструкции научной аппаратуры для внеатмосферных измерений солнечного излучения в диапазоне частот $(3-7) \cdot 10^{12}$ Гц.

Радиоизлучение в диапазоне 200-400 ГГц надежно обнаружено недавно и до настоящего времени не нашло однозначного объяснения.



Спектр радиоизлучения солнечных вспышек

1. известная область микроволнового излучения
2. новые данные о субмиллиметровом излучении (~ 200 и 400 ГГц; SST)
3. неисследованная ТГц-область излучения

9.11. Термодетектор-Л

Задача: *Определение теплофизических характеристик лунного грунта:* температуры, теплоёмкости, теплопроводности.

На основе данных измерений попытка восстановления теплового режима: теплового потока и глубины проникновения тепловой волны в толщу грунта.

Состав и характеристики прибора

Рук. М.Я. Маров, ГЕОХИ РАН

- семь термодатчиков (4 поверхностных ПТД и 3 глубинных ГТД);
- блок электроники БЭ.

Масса и размеры

ПТД: 0,080 кг, диаметр 62 мм, высота 43 мм.

ГТД: 0,140 кг, диаметр 20 мм, высота 50 мм.

БЭ: $1,3 \pm 0,13$ кг, габаритные размеры 181 x 164 x 100 мм.

Общая масса прибора (включая межблочные кабели) 2,2 кг.

Энергопотребление

- Блок электроники БЭ – 3,4 Вт;
- ПТД и ГТД (кроме нагревателей) – практически отсутствуют;
- По цепям питания нагревателей в термодатчиках – 1,2 Вт;
- Максимальное энергопотребление всего прибора – 4,6 Вт.

Предварительная циклограмма эксперимента:

- Пассивное измерение температуры грунта в течение всего времени функционирования посадочного модуля;
- Проведение нескольких сеансов измерений теплоёмкости и теплопроводности в разное время лунных суток;
- Включение во время сеанса нагревателей на ~3000 сек., затем выключаются.
- Измерение температуры грунта с частотой 1 Гц во время работы нагревателей и в течение ~3000 сек. после их выключения; в остальное время – 1 раз в час.

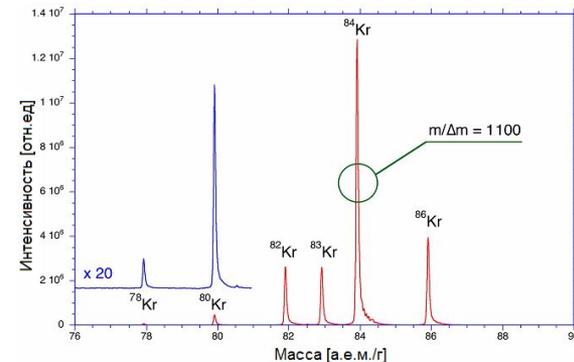


9.12. Нейтральный газовый масс-спектрометр (НГМС)

Рук. Л.П. Москалева, ГЕОХИ РАН

Технические характеристики

- Предполагаемые размеры
 - Анализатор: \varnothing 100 mm x 365 mm
 - Блок электроники: 300 x 130 x 65 mm
- Потребление
 - Рабочий режим: 25 W
 - Ждущий режим: 3 W
- Масса
 - Анализатор: 1,5 кг
 - Блок электроники: 1,5 кг
- Диапазон масс – 1 – 300 а.м.е.
- Время развертки спектра – 0,1 – 1 сек
- Разрешение – $M/\Delta M = 300 - 1100$
- Чувствительность
- $\approx 10-14$ мбар (время накопления спектра 60 сек)



Получение предварительных лабораторных оценок качественного состава газосодержания лунного вещества в месте посадки космического аппарата с учетом чувствительности выбранного типа масс-спектрометра и особенностей характеристик источника ионов, масс-анализатора и детектора.

Методические исследования данных измерений характеристических пиков ионов, анализ массовых спектров в комбинации масс-спектрометра с газовым хроматографом.

9.13. Детализация модели гравитационного поля Земли с использованием спутниковой градиентометрии

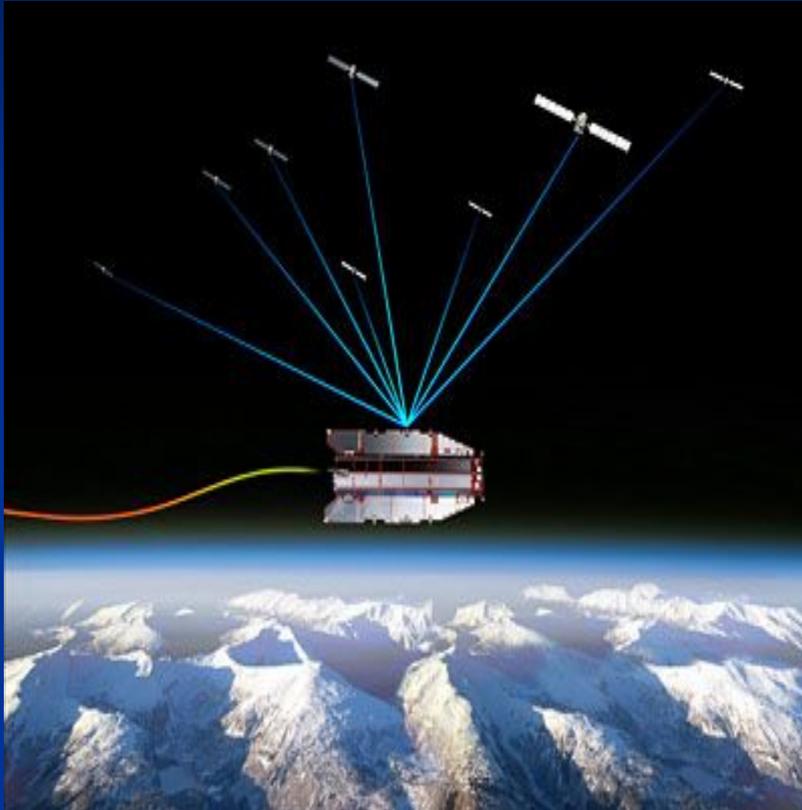
**Рук. С. К. Татевян,
А.А. Ключиков, С.П. Кузин, Н.А. Сорокин, К. В. Эбауер**
Институт Астрономии РАН

1 этап. Разработка стратегии и математического аппарата для уточнения тонкой структуры геопотенциала с использованием градиентометрических измерений.

2 этап. Экспериментальные вычисления по данным Европейского проекта GOCE. Разработка предложений по использованию данной технологии для изучения гравитационных полей планет земной группы.

Детализация модели гравитационного поля Земли с использованием спутниковой градиентометрии

Для решения целевой задачи используются измерения гравитационных градиентов по трем пространственным направлениям, полученные трехосным гравитационным градиентометром, который установлен на борту спутника, и определение орбиты спутника посредством аппаратуры спутниковой навигации.



Конечными результатами работы будут методика, алгоритм и ПМО уточнения тонкой структуры гравитационного поля Земли на основе математической обработки спутниковых градиентометрических измерений европейского спутника GOCE.



9.14. Определение орбиты космического аппарата бортовой аппаратурой на перелетных траекториях к Луне и отлетных траекториях к планетам и малым телам Солнечной системы

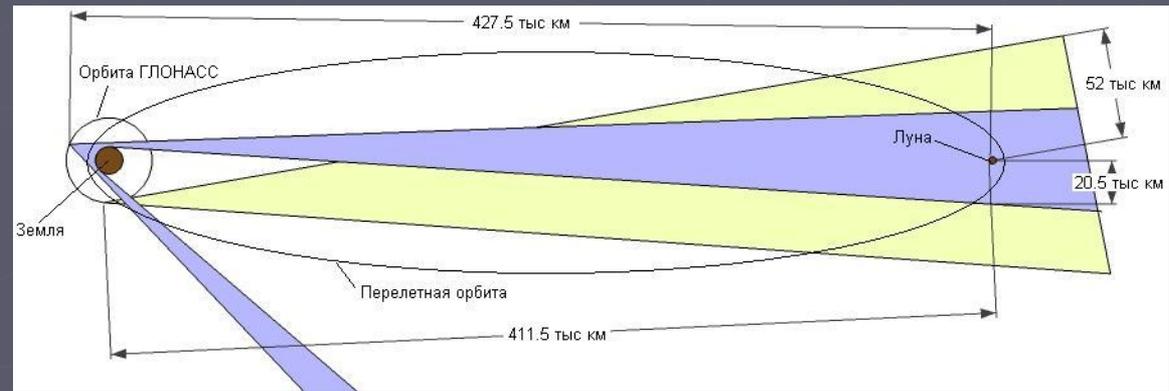
**Рук. Г.К. Боровин,
А.Г. Тучин, Д.А. Тучин, В.С. Ярошевский**

**Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН
г. Москва, Россия**



Предлагается излучать существующие сигналы ГЛОНАСС не только в сторону Земли, а дополнительно в сторону от Земли.

Это позволит проводить автономные навигационные определения орбиты космического аппарата независимо от зон радиовидимости наземных средств траекторных измерений



Ожидаемые научные результаты

- Количество необходимых навигационных КА, оснащенных дополнительными антеннами
- Угловые параметры излучения навигационных КА для обеспечения задач баллистики и навигации на перелетных траекториях к Луне и отлетных траекториях к планетам и малым телам Солнечной системы.
- Оценка получаемой точности определения параметров орбиты космического аппарата

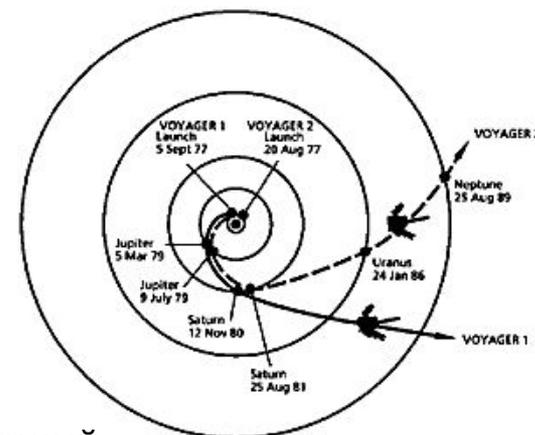
9.15. Метод виртуальных траекторий для проектирования межпланетных миссий

Руководитель проекта – заведующий сектором д.ф.-м.н. М.Ю.Овчинников
Организация – Институт прикладной математики им. М.В.Келдыша РАН
Коллаборатор – Институт космической физики (IRF), Кируна, Швеция

Цели: Изучение принципиальной осуществимости миссий (feasibility study) ;
Формирование приближенного баллистического сценария миссий

Задача: разработка и реализация метода быстрого и эффективного проектирования межпланетных траекторий с большим количеством гравитационных маневров

Задел: Предложен оригинальный метод проектирования межпланетных перелетов с большой тягой и использованием гравитационных маневров



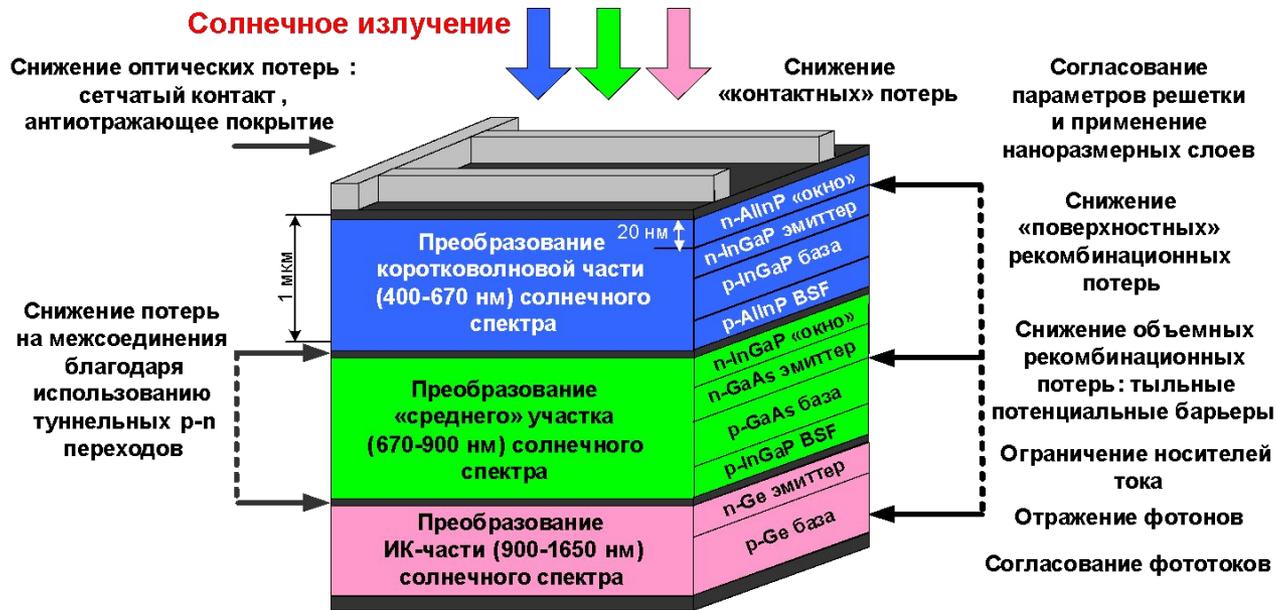
Ожидаемые результаты: программный продукт, позволяющий быстро без подробного динамического анализа с привлечение трудоемких методов осуществлять формирование баллистического сценария миссии; постановка тестовых задач будет осуществляться с использованием актуальных проектов миссий с участием IRF.

<p>9.16. ИКИ РАН Рук. Назиров Р.Р.</p> <p>Создание программно-аппаратного комплекса архива научных космических данных</p> <p>Создание отказоустойчивого, высокодоступного и масштабируемого программно-аппаратного комплекса архива научных космических данных.</p>	<p>Предполагается использование платформы облачных вычислений для решения проблем, связанных с обеспечением отказоустойчивости, масштабируемости и высокой доступности архива научных данных.</p> <p>Создание отказоустойчивого и высокодоступного архива данных завершенных космических проектов Интербол, Прогноз 7, Прогноз 8, Прогноз 9 (Реликт), Прогноз 10, Аркад-3, Активный, Интеркосмос-Болгария 1300, Космос-900 и данных эксперимента «Плазма-Ф» проекта «Радиоастрон».</p>
---	--

9.17 Проект: «Повышение энергоэффективности и радиационной стойкости бортовых солнечных батарей на основе каскадных фотопреобразователей»

Организация-исполнитель проекта: *ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург, В.М. Андреев*
Проект направлен на повышение КПД и срока активного существования космических солнечных батарей.

Реализуемые методы и подходы:



Структура высокоэффективного каскадного солнечного элемента и реализуемые в проекте методы снижения оптических, рекомбинационных и омических потерь и пути увеличения КПД и радиационной стойкости

Фотоэлектрический модуль (21см x 32см x 3,5см) на основе линеек из каскадных фотопреобразователей, расположенных в фокусе линейных линз Френеля

Ожидаемые в конце 2012 года научные результаты:

- создание каскадных фотоэлектрических преобразователей с КПД > 30% при 5-50 «солнцах».
- создание фотоэлектрических модулей на основе каскадных ФЭП и линзовых концентраторов солнечного излучения, обеспечивающих снижение площади и стоимости каскадных ФЭП, увеличение удельного энергопотребления и радиационной стойкости бортовых батарей.

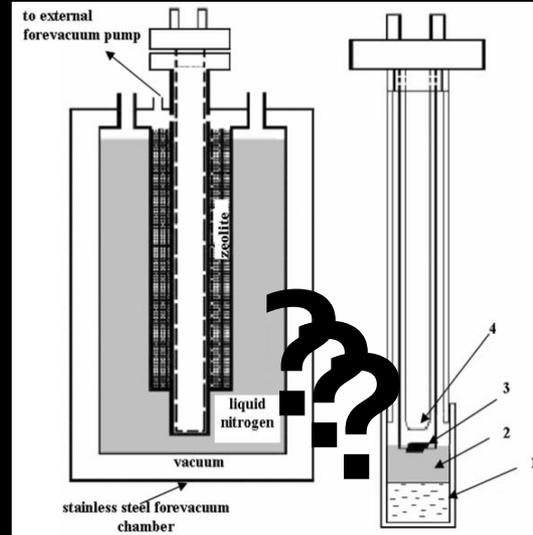
9.18. УСТОЙЧИВОСТЬ БИОФОРМ И БИОМАРКЕРОВ В КОСМИЧЕСКОЙ И ИНОПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ

ИКИ РАН, ФТИ РАН им. А.Ф. Иоффе, МГУ

Рук. Е.В. Воробьева

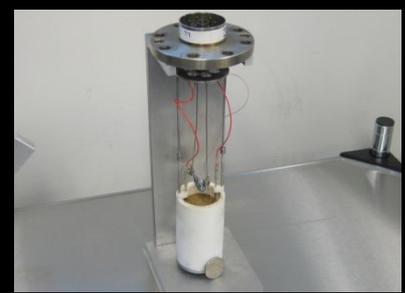
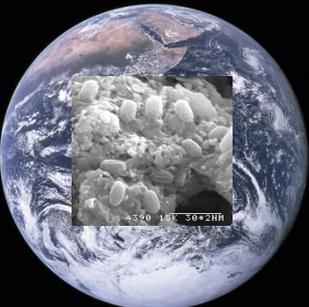
Цель проекта Оценка возможности обнаружения биоформ и биомаркеров на планетах и малых телах Солнечной Системы

задача проекта в 2012:



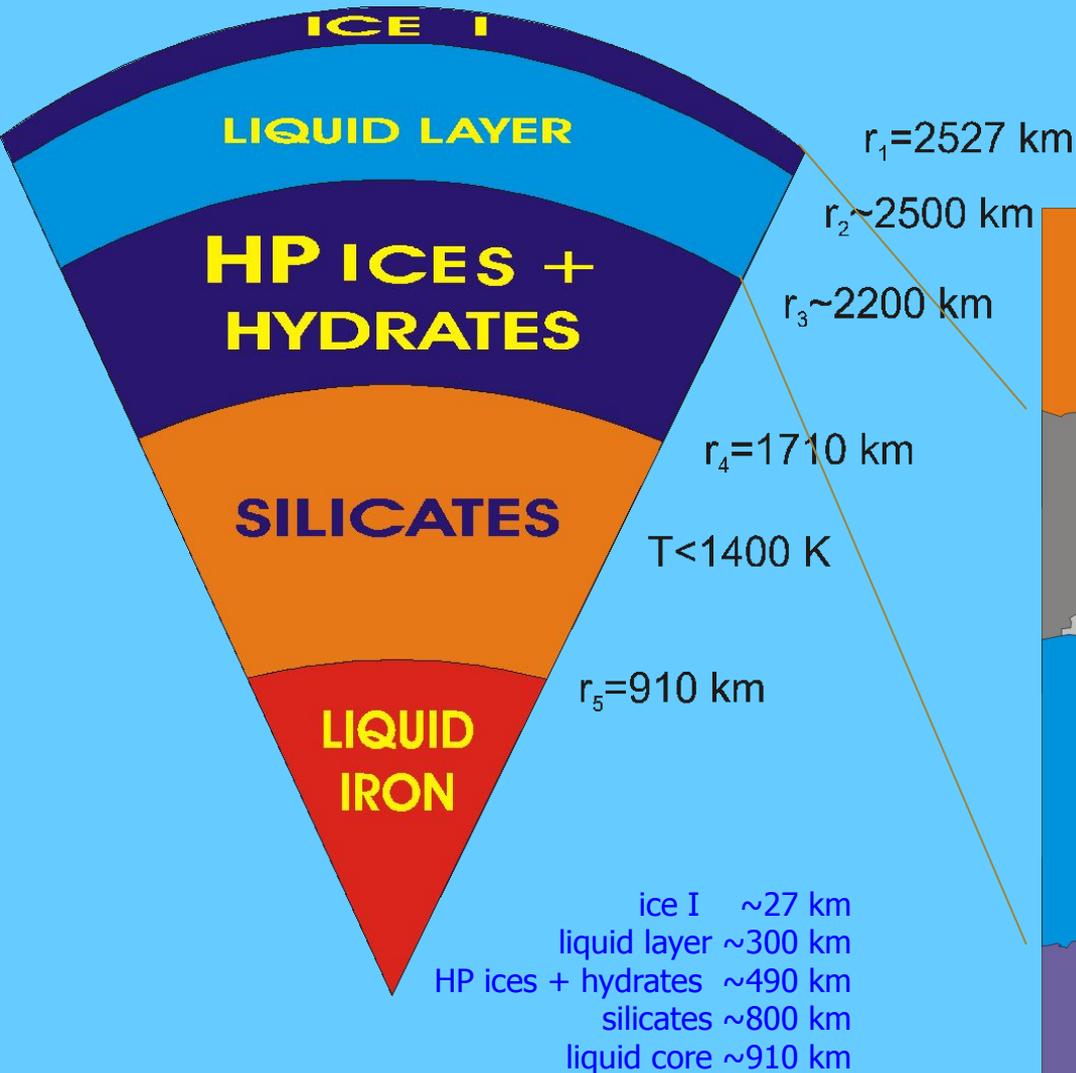
Основной ожидаемый результат: определение возможного диапазона условий, пригодных для выживания земных микроорганизмов и сохранения биомаркеров в поверхностном слое Марса

Условия марсианского грунта будут смоделированы в вакуумной климатической камере (ФТИ РАН им. А. Ф. Иоффе), позволяющей поддерживать пониженное давление, заданный состав атмосферных газов, а также характерный для поверхности Марса суточный температурный цикл. Высокие дозы радиации будут моделироваться путем внешнего облучения камеры с использованием источника гамма излучения К-120000 (радиоактивный изотоп ^{60}Co) с интенсивностью облучения 1-100 рад/сек.



Изучение экзобиологического потенциала Титана

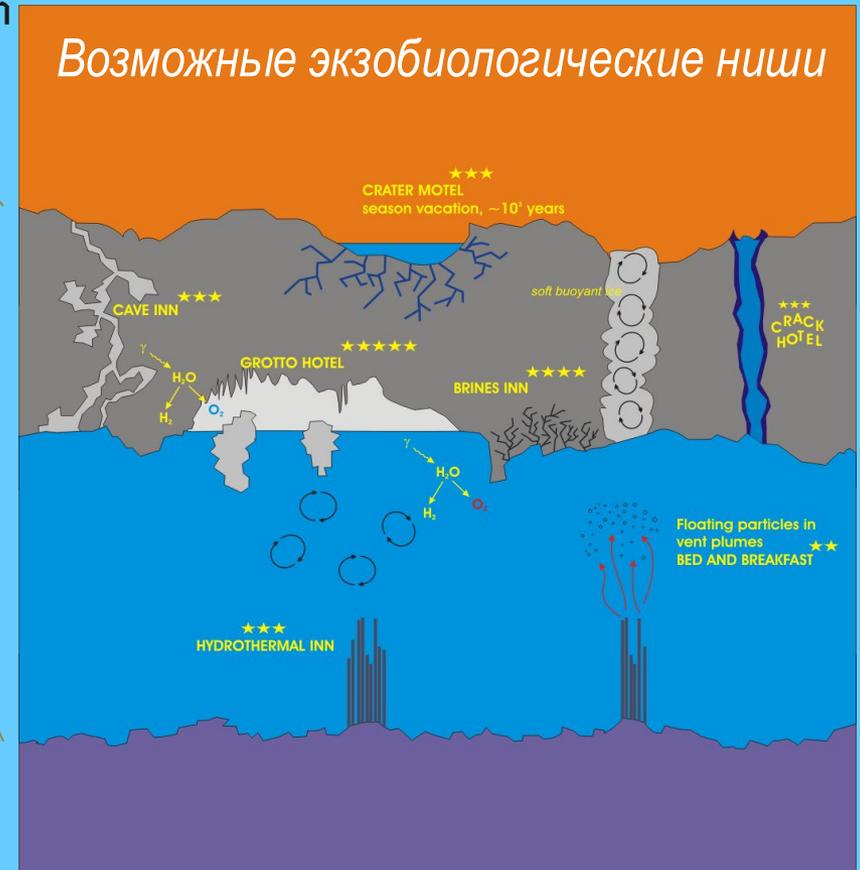
Внутреннее строение Титана



на Титане выполняются три основных условия, необходимые для существования жизни:

1. Наличие жидкой воды в течение длительного (геологического) периода времени;
2. Существование широкого набора химических элементов и сложных органических соединений;
3. Наличие источников энергии.

Возможные экзобиологические ниши



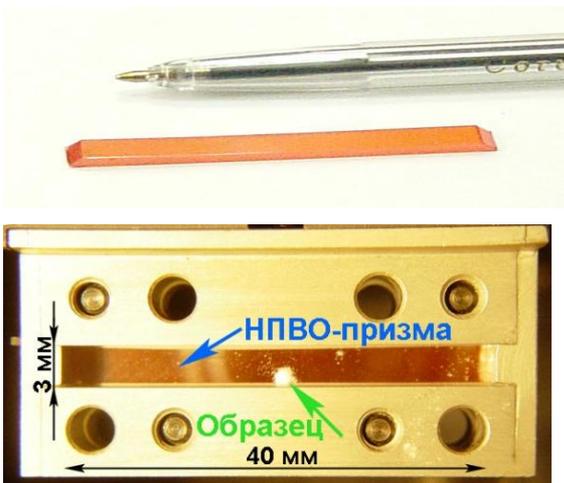
9.20. РАЗРАБОТКА МЕТОДА НПВО-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ АСТРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

ИКИ РАН (Рук. Григорьев А.В., Воробьева Е.А.)

Цель проекта: разработка спектрального метода *in situ* обнаружения клеток в инопланетной среде с оценкой их физиологического состояния (активное, покоящееся)

В 2012 г. предполагается определить чувствительность НПВО-метода по градиенту титра суспензий клеток (т.е. определить минимальное количество клеток выявляемое на НПВО-призме).

На НПВО-призму предполагается поместить слой биоматериала с заданным содержанием (титром) клеток. Будет определено время накопления сигнала, дающее приемлемое отношение сигнал/шум в спектральных полосах поглощения белков и ДНК.



**Вверху: НПВО-призма
Внизу: она же в держателе**

**Справа:
НПВО-приставка
к лабораторному
Фурье-спектрометру**

**1 – держатель
НПВО-призмы
2...5 – фокусирующая
оптика**

