

III. РАБОТЫ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПО ПРОЕКТАМ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Проекты в стадии реализации

1. Детектор нейтронов высоких энергий ХЕНД для КА НАСА «2001 Марс Одиссей» (шифр – МСП-2001).

Заказчик – Федеральное космическое агентство.

Цель проекта: Детектор быстрых нейтронов ХЕНД является российским экспериментом в составе гамма спектрометрического комплекса GRS космического аппарата НАСА «Марс Одиссей» (США). Научная цель эксперимента ХЕНД – исследование потоков нейтронов образующихся в верхнем слое грунта Марса под действием космических лучей для поиска воды и обеспечения обработки данных гамма спектрометра GRS. Космический аппарат «Марс Одиссей» запущен 7 апреля 2001 г.

Руководитель: д.ф.м.н. Митрофанов И.Г., тел.: (495) 333-3489, imitrofa@space.ru

Выполнено: Обеспечено управление экспериментом ХЕНД и обработка данных измерений. После 11 лет непрерывной работы в космосе все системы аппаратуры ХЕНД работают штатно. После официального окончания срока 3-й продленной миссии работа прибора ХЕНД продлена «до отказа». Данные измерений обрабатываются и размещаются в базе данных «Планета» ИКИ РАН и также в международный архив данных PDS.

2. Бортовой телескоп нейтронов БТН-М1 на борту Международной космической станции (шифр БТН-НЕЙТРОН).

Заказчик – РКК «Энергия» им. С.П. Королева. Работы по изготовлению аппаратуры БТН-М1 для эксперимента были выполнены в ИКИ РАН по контракту с РКК «Энергия» № 828 от 15.03.2002 г. в рамках темы Роскосмоса «МКС-Наука». Работы по сопровождению эксперимента, управлению аппаратурой БТН-М1 и обработке данных выполнялись в ИКИ РАН по контракту с РКК «Энергия» № 1173 от 15.10.2007 г. в рамках темы Роскосмоса «МКС-Эксперименты».

Цель проекта: Целями этого эксперимента «БТН-Нейтрон» являются исследование с борта Служебного Модуля Российского Сегмента Международной Космической Станции вторичного нейтронного излучения верхней атмосферы Земли под воздействием энергичных заряженных частиц в магнитосфере; исследование нейтронной компоненты солнечных вспышек; исследование нейтронной компоненты радиации на борту МКС.

Руководитель: д.ф.м.н. Митрофанов И.Г., тел.: (495) 333-3489, imitrofa@space.ru

Выполнено: За весь период работы аппаратура БТН-М1 функционирует штатно без замечаний, все параметры находятся в допустимых пределах. Научные данные в сеансах связи с МКС поступают в базу данных наземного сегмента эксперимента «БТН-Нейтрон» в ЦУП-М и передаются в ИКИ РАН для обработки.

3. «Лунный исследовательский нейтронный детектор» (ЛЕНД) для орбитального КА НАСА «Лунный разведывательный орбитер» (шифр – МСП-2001).

Заказчик – Федеральное космическое агентство.

Цель проекта: Нейтронный телескоп «Лунный исследовательский нейтронный детектор» (ЛЕНД) является российским экспериментом в составе научной аппаратуры лунного орбитального КА НАСА «Лунный разведывательный орбитер» (ЛРО). Научная цель эксперимента ЛЕНД – исследование потоков нейтронов образующихся в верхнем слое грунта Луны под действием космических лучей для изучения распределения водяного льда и исследование радиационной обстановки на орбите около Луны.

Руководитель: д.ф.м.н. Митрофанов И.Г., тел.: (495) 333-3489, imitrofa@space.ru

Выполнено: Завершены разработка, изготовление, испытания и выполнена поставка в НАСА летного образца аппаратуры ЛЕНД для миссии ЛРО. После старта 18 июня 2009 года космического аппарата ЛРО с прибором ЛЕНД на борту к Луне по настоящее время

все системы аппаратуры ЛЕНД работают штатно. В настоящее время обеспечено управление прибором ЛЕНД и обработка данных научных измерений и мониторинга телеметрии. Данные телеметрии и научных измерений обрабатываются и размещаются в базе данных ИКИ РАН и НАСА PDS. На основе обработки данных эксперимента ЛЕНД совместно с данными других экспериментов установлены закономерности распределения водяного льда в приповерхностном слое грунта Луны в приполярных областях

4. Российский нейтронный детектор ДАН стартовал к Марсу 26 ноября 2011г. в 19-02 по московскому времени с космодрома на мысе Канаверал стартовала ракета-носитель Atlas V с научно-исследовательской автоматической станцией Mars Science Laboratory («Марсианская научная лаборатория», сокращенно MSL, НАСА). Станция должна доставить на поверхность Марса марсоход «Кьюриосити» (по-английски Curiosity – «любопытство»), в состав научной аппаратуры которого входит [российский прибор ДАН](#), разработанный в Институте космических исследований Российской академии наук по заказу Федерального космического агентства. Основная цель проекта MSL состоит в проверке гипотезы о возможности существования на раннем или современном Марсе примитивных форм жизни. Участие России в проекте предусмотрено Исполнительным соглашением между Федеральным космическим агентством (Роскосмосом) и НАСА.

6 августа 2012 года в 9:32 по московскому времени аппарат Mars Science Laboratory совершил успешную посадку и доставил на поверхность Марса в кратер Гейла марсоход «Кьюриосити» (Curiosity, НАСА), который уже передал на Землю первые изображения. На борту марсохода установлен российский нейтронный спектрометр ДАН. Нейтронный спектрометр ДАН (сокращение от «Динамическое альbedo нейтронов») разработан в лаборатории космической гамма-спектроскопии ИКИ РАН под руководством д.ф.-м.н. Игоря Митрофанова. Прибор предназначен для поиска залежей воды в приповерхностном слое марсианского грунта с помощью активного нейтронного «зондирования» поверхности. Информации, которую получит ДАН, поможет исследователям оценить содержание воды в веществе под колесами марсохода и разведать наиболее интересные для исследований районы с высоким содержанием воды в минералах. Именно такие районы представляют наибольший интерес для поиска признаков жизни. 17 августа 2012 года в 14:30 дня по московскому времени, на 11 марсианский день работы на Марсе (в 13 часов местного марсианского времени), на борту марсохода на поверхности Марса в кратере Гейла был включен российский прибор ДАН. Получена телеметрическая и научная информация, которая свидетельствует о штатной работе аппаратуры.

5. «ИНТЕГРАЛ» Международная обсерватория гамма-лучей

(<http://integral.rssi.ru/>)

Международная обсерватория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ была выведена на высокоапогейную орбиту в 2002 году российской ракетой-носителем ПРОТОН В обмен на запуск космического аппарата российские ученые получили право на ~25% научных данных миссии, доступность которых обеспечивает Российский Центр Научных Данных (РЦНД) проекта ИНТЕГРАЛ, организованный в Институте Космических Исследований. С момента создания РЦНД его сотрудники ведут активную работу по адаптации существующего и разработке нового математического обеспечения миссии, занимаются распространением информации о предстоящем проекте среди российской научной общественности.

За этот период работы на орбите космическая обсерватория ИНТЕГРАЛ накопила огромный массив наблюдательных данных, что позволило приступить к решению задач, требующих больших экспозиций.

В 2012 году было продолжено получение научных и калибровочных данных из Европейского центра научных данных обсерватории ИНТЕГРАЛ, их архивирование и распределение наблюдателям, поддержание необходимого интерфейса. Проведено дооборудование учебного класса и технической базы архива данных. Велось оказание помощи в работе с данными, организация широкополосных наблюдений, совместных с наблюдениями обсерватории ИНТЕГРАЛ.

6. Эксперименты ОМЕГА, СПИКАМ, ПФС на космическом аппарате ЕКА «Марс Экспресс»

6. 1. Функционирование аппаратуры, участие в проведении измерений и оперативной обработке данных приборов КА «Марс Экспресс»

КА Марс Экспресс вышел на орбиту планеты 25 декабря 2003г. В 2011г. КА «Марс-Экспресс» проработал на орбите Марса более 9 лет. Завершены 11300 витков на орбите. В 2012г работа КА проходила относительно спокойно практически без выходов в режим сохранения. В 2011 г вышли из строя канал прибора ОМЕГА –С и камера высокого разрешения SRC. В 2012г УФ канал прибора СПИКАМ сильно деградировал из-за радиационного повреждения детектора. Остальные приборы продолжают функционировать без замечаний. По положительным результатам проекта в 2012г ЕКА подтвердило решение о продлении проекта до 2014г для проведения совместных исследований с проектом НАСА MAVEN (запуск в 2013).

Россия, в рамках Федеральной космической программы, поставила важные элементы трех приборов спутника. В ИКИ РАН изготовлены входная оптика и сканер картирующего спектрометра ОМЕГА, детекторы и калибровочное оборудование для Фурье-спектрометра ПФС и инфракрасный канал универсального спектрометра СПИКАМ. Три эксперимента с российским участием функционируют номинально; констатирован естественный износ некоторых узлов:

Результаты экспериментов на КА Марс-Экспресс интенсивно обсуждались на международных конференциях. Научный выход проекта в России увеличился в связи с получением двумя учеными-планетчиками грантов Правительства РФ на создание специализированных лабораторий в российских университетах (Ю. Оберст в МИИГАИК и В.А. Краснопольский в МФТИ), а также учреждение Программы президиума РАН №22 по Солнечной системе под руководством акад. Л.М. Зеленого. В 2012г с участием российских участников проекта опубликовано 7 статей в рецензируемых рейтинговых научных журналах.

Некоторые результаты исследований Марса с орбитального космического аппарата «Марс-Экспресс» приборами с российским участием

Сезонные вариации водяного пара на Марсе

По данным спектрометра СПИКАМ создана база данных содержания водяного пара за 4 марсианских года для дальнейшего сравнения с моделью общей циркуляции Марса. Алгоритм восстановления включает точную модель расчета переноса излучения в атмосфере Марса в ближнем ИК диапазоне и возможные неопределенности калибровок, больше добавить в алгоритм обработки нечего. Карты водяного пара по данным Марс-Экспресс впервые пересчитана с учетом аэрозоля.

Вертикальное распределение водяного пара летом в южном полушарии на Марсе

По данным, полученным в 2009-2010 г. экспериментом СПИКАМ ИК восстановлено 120 вертикальных профилей распределения водяного пара летом для марсианского года 29. Профили показали сильные вариации водяного пара, а также значительные расхождения с предсказаниями модели общей циркуляции Марса летом в южном полушарии. Данные также указывают на существование слоя воды весной в южном полушарии, имеющего возможно динамическую природу. В то же время одновременные наблюдения вертикальных профилей аэрозоля ниже слоя водяного пара говорят о роли водяных

облаков как важном компоненте взаимодействия водяной пар-пыль. Перенасыщение водяного пара южным летом найдено не было.

Сезонные изменения вертикального распределения и оптических свойств аэрозоля в атмосфере Марса по данным солнечных затмений на КА Марс-Экспресс. По солнечным затмениям в эксперименте СПИКАМ были получены профили экстинкции аэрозоля в диапазоне от 1 до 1.7 мкм на высотах от 0 до 90 км с вертикальным разрешением от 2 до 10 км в зависимости от расстояния до лимба для 4-х марсианских лет. Рассмотрены также их сезонные и широтные вариации. Получен эффективный радиус частиц от 0.1 до 1.5 мкм, также получены широтные вариации. Одновременное восстановление экстинкций аэрозоля на разных высотах в УФ и ИК диапазоне позволило впервые напрямую детектировать бимодальное распределение частиц марсианской пыли, получены характерные размеры двух мод 0.06-0.09 мкм и 0.7-1 мкм.

Д. ф.-м.н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru

6.2. Эксперименты СПИКАВ–SOIR, ПФС на космическом аппарате ЕКА «Венера Экспресс»

Функционирование аппаратуры, участие в проведении измерений и оперативной обработке данных приборов КА «Венера Экспресс»

КА «Венера-Экспресс» запущен при помощи носителя «Союз-Фрегат» 9 ноября 2005 г. КА вышел на орбиту Венеры 11 апреля 2006г. С первого витка были начаты научные наблюдения Венеры. Сейчас КА Венера-Экспресс завершил 6.5 лет работы на орбите вокруг Венеры; КА находится в отличном состоянии получены более 4.7 терабайт данных. Проведены 2 кампании аэроторможения (опубликованы отчеты). Финансирование управление КА запланировано ЕКА до конца 2014г.

Россия, в рамках Федеральной космической программы, поставила важные элементы двух приборов спутника Венеры. В ИКИ РАН изготовлены детекторы и калибровочное оборудование для Фурье-спектрометра ПФС и инфракрасный канал универсального спектрометра СПИКАВ. Приборы являются аналогами приборов ПФС и СПИКАМ на КА «Марс-Экспресс», адаптированными для исследования Венеры. В дополнение к совместному прибору СПИКАВ (Россия, Франция, Бельгия) по предложению российских ученых установлен и успешно построен в кооперации с Бельгией и Францией новый прибор СУАР – эшелле-спектрометр высокого разрешения.

Прибор SPICAM-SOIR провел более 15700 измерений. Проведена архивация данных вплоть до середины 2012; обработанных и калиброванных данных до конца 2011. Проводится планирование наблюдений до марта 2013г.

На борту неисправны приборы ПФС (неисправен сканер, обнаружено на этапе перелета) и в 2011г вышел из строя картирующий канал спектрометра VIRTIS, VIRTIS-M. В приборе VIRTIS вышел из строя один из криогенных охладителей; для экономии ресурса второго измерения проводятся в ограниченном объеме. Остальные приборы продолжают функционировать без замечаний.

В процессе работы производилась оперативная оценка технического состояния и проверка функционирования научных приборов на КА «Венера Экспресс». Выполняется анализ спектральной информации полученной приборами, уточнены режимы и график их работы, проводились дополнительные калибровки. По результатам дополнительной калибровки аппаратной функции прибора СПИКАВ ИК в 2011г скорректированы режимы наблюдения и улучшено качество получаемых данных.

Результаты научных исследований по проекту докладывались на международных конференциях. В 2012г с участием российских участников проекта опубликовано 10 статей в рецензируемых научных журналах; 3 важные статьи находятся в процессе опубликования.

Некоторые результаты исследований Венеры с орбитального космического аппарата «Венера-Экспресс» приборами с российским участием

Динамика атмосферы по наблюдениям видимых движений облаков. По данным 2006-2012 гг. эксперимента VMC на КА Venus Express с беспрецедентной полнотой исследована динамика атмосферы на уровне верхней границы облаков, пространственное и временное поведение зональной и меридиональной скорости ветра. Впервые обнаружен долговременный тренд зональной компоненты скорости ветра, исследованы долго- и короткопериодические осцилляции, солнечно-связанные структуры в поле скоростей.

Распределение свечения молекулярного кислорода на ночной стороне Венеры. Новый анализ надирных данных гиперспектрометра VIRTIS –M позволил построить детальные карты горизонтального распределения свечения O₂ на ночной стороне Венеры. Распределения свечения O₂ определяется циркуляцией в верхней мезосфере и нижней термосфере. Анализ отдельных орбит показывает высокую переменность. Наблюдаются: 1) распределения свечения, соответствующие типу циркуляции термосферы - потоку от подсолнечной (SS) точки к антисолнечной (AS), SS–AS, с нисходящим потоком и максимумом свечения в AS, 2) максимум свечения может быть смещен в сторону утреннего терминатора, что свидетельствует о вкладе зональной суперротации (RZS), типичной для мезосферы ниже 80 км, 3) максимум смещен к вечернему терминатору, 4) наблюдаются максимумы симметрично относительно полуночи.

Исследование распределения малых составляющих мезосферы Венеры

Атмосфера над облаками Венеры, область мезосферы (70-120 км), содержит серо- и хлоро-содержащие газовые составляющие (SO, SO₂, HCl), которые, несмотря на их малую концентрацию (0,1-1 частиц на миллион), играют важную роль в фотохимических процессах, взаимодействуя, в частности, с парами H₂SO₄.

В 2012 году на основе данных спектрометров SPICAV и SOIR с борта орбитального аппарата «Венера Экспресс» были получены распределения содержания окисей серы (SO, SO₂) по высоте (70-110 км), географической широте и времени (2006-2012 гг.). По результатам солнечного просвечивания были восстановлены вертикальные профили содержания SO₂ и SO и установлена взаимосвязь с фотохимической моделью над облаками Венеры. По результатам измерений в надир прибора SPICAV были получены широтные вариации содержания SO₂ на уровне верхней границы облаков и установлена корреляция с высотой этого уровня. Также были выявлены годовые вариации содержания двуокиси серы на уровне ~70 км в период с 2006 по 2012 гг. Полученный тренд оказался схож с результатами советских и американских миссий 1980-1990 годов, что косвенно может подтверждать наличие многолетних циклов на Венере с периодом 10-25 лет.

Кроме того, по данным солнечного просвечивания SOIR были получены вертикальные профили содержания HCl для нескольких сеансов наблюдений. Исследования в этом направлении будут продолжены в следующем году.

Д. ф.-м. н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru

7. Мессбауэровский спектрометр. Работа по проекту «Mars Exploration Rovers»

Один из двух марсоходов НАСА («Opportunity») продолжает работу на поверхности Марса (Полуденная равнина) уже в течении почти девяти лет. Спектрометр, разработанный при участии специалистов ИКИ РАН, продолжает проводить измерения, несмотря на деградацию радиоактивного источника и проблемы с вибратором при низкотемпературных измерениях.

К. ф.-м. н. Родионов Д. С., rodionov@iki.rssi.ru

Iris Fleischer, Göstar Klingelhöfer, Richard V. Morris, Christian Schröder, Daniel Rodionov, □ Paulo A. de Souza, In-situ Mössbauer spectroscopy with MIMOS II, Hyperfine Interactions, March 2012, Volume 207, Issue 1-3, pp 97-105

8. Радиочастотный анализатор (РЧА). Участие в микроспутнике «Чибис-М»

За последние несколько лет ИКИ РАН с кооперацией разработал и создал микроспутник ЧИБИС-М для исследования физических процессов в грозовых разрядах и изучения космической погоды. 2 ноября 2011 г. спутник доставлен на Международную космическую станцию, а 25 января 2012 г. микроспутник начал автономную работу на орбите.

В составе научной аппаратуры ЧИБИС-М работает Радиочастотный анализатор диапазона 26...48 МГц разработки лаб.533 в кооперации с СКБ ИКИ РАН.

В течение февраля- марта 2012 г. были получены карты грозовой активности, в которых должен начать работу комплекса научной аппаратуры, и зоны, насыщенные техногенными помехами, которые исключались из дальнейших измерений, а также отработывался алгоритм регистрации событий.

За 9 месяцев работы на орбите прибор «Радиочастотный анализатор» (РЧА) проработал более 500 часов, получено более 1 Гбайта данных.

Прибор работал в режиме выделения молниевых разрядов при срабатывании 3 из 5 порогов и с интервалом фиксации событий 1, 3 и 50 мс при усилении 60 и 56 дБ.

Получено более 300 записей различных молниевых разрядов.

Есть записи, характеризующиеся общей грозовой активностью, без локальных разрядов. Есть множество записей мощных коротких (5...10 мкс) разрядов, по-видимому, высотных. Часть записей дают совпадение с вспышками в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазоне. Значимых совпадений с вспышками гамма квантов пока не обнаружено.

В настоящее время ведется анализ полученных записей с целью определения механизма возникновения коротких разрядов, привязки их к высоте, сопоставления с данными других приборов КНА. Продолжается набор статистики.

К. ф.-м. н. Готлиб, gotlib@mx.iki.rssi.ru

Л.М.Зеленый, В.М.Готлиб и др., тезисы «Исследование физических процессов при высотных грозовых разрядах», Всероссийская конференция по атмосферному электричеству (С-Петербург, 23-28 сентября 2012г.)

Л.М.Зеленый, В.М.Готлиб и др., Академический микроспутник «Чибис-М», Препринт ИКИ, М., 2012

9. Эксперимент Русалка на борту МКС

Основной задачей эксперимента <<РУСАЛКА>> является отработка методики космического мониторинга углекислого газа и метана в атмосфере. Измерения проводились в ближней инфракрасной области спектра от 0,73 до 1,68 мкм с высоким спектральным разрешением в четырех полосах атмосферных газов с борта МКС. Выбор спектрального диапазона обусловлен наличием слабых полос парниковых газов (СО₂ на 1,58 мкм и СН₄ на 1,65 мкм), двух полос поглощения атмосферного кислорода 1,27 мкм и 0,76 мкм, используемых в качестве каналов сравнения для определения эффективной воздушной массы при наличии аэрозоля, и доступностью высокоэффективных приемников ИК-излучения в этом диапазоне. Для проведения измерений оптическая ось спектрометра ориентировалась в (около-) надирном направлении и регистрировалось солнечное излучение, отраженное поверхностью и дважды прошедшее сквозь атмосферу Земли. Преимуществом метода является широкая свобода в выборе координат измерения и относительно высокое пространственное разрешение.

Аппаратура для эксперимента <<Русалка>> была доставлена на борт МКС 23 июля 2009 года. Сеансы проводились по конец марта 2012 года. Из-за загруженности космонавтов ежедневных наблюдений не планировалось. Запланированное количество сеансов составляло не менее одного в неделю.

Прибор успешно функционировал на борту МКС в течение запланированного цикла работ, доказав тем самым правильность выбранных технических и аппаратных решений. Качество полученных данных соответствует ожиданиям, и позволило сделать ряд важных выводов об особенностях регистрации спектров поглощения земной атмосферы в ближнем ИК-диапазоне. Были апробированы новые методики обработки данных и климатические базы данных. Разработана и отработана на экспериментальных данных <<РУСАЛКИ>> методика восстановления концентраций парниковых газов. Точность восстановления зависит от характеристик аппаратуры (свойств получаемых спектров) и качества входных данных. Описание разработанной методики, результатов КЭ и особенности выбора технических решения будущих экспериментов готовятся к публикации.

Подготовленные пакеты программ позволяют автоматически обрабатывать большие массивы данных, что может быть использовано в экспериментах по мониторингу. Подготовлены предложения и решения по дальнейшей работе в области исследований парниковых газов - эксперимент по мониторингу <<ДРИАДА>>: <<Измерения спектров поглощения земной атмосферы в ближнем ИК диапазоне и восстановление концентраций парниковых газов>>.

Д. ф.-м.н. Кораблев О.И., korab@iki.rssi.ru, к.ф.-м.н. Виноградов И.И., imant@iki.rssi.ru, Трохимовский А.Ю., a.trokh@gmail.com

10. Методика определения ориентации посадочного аппарата PHILAE на поверхности кометы Чурюмова-Герасименко.

Предварительно определена программа работы прибора РОМАП на поверхности кометы. Разработана программа (методика) определения ориентации посадочного аппарата PHILAE по показаниям плазменных спектрометров прибора РОМАП (Рис.) и дальнейшего корректирования этой ориентации для достижения максимальной освещенности солнечных панелей.

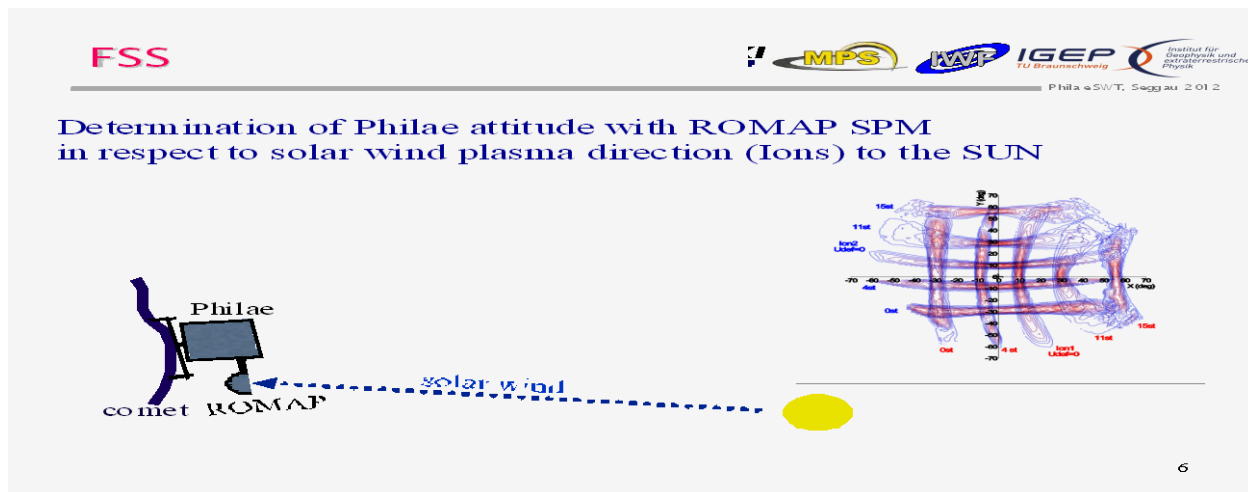


Рис. Схематическое представление положения эксперимента РОМАП и посадочного аппарата Philae на поверхности кометы, и диаграмма направленности различных секторов эксперимента, используемых для определения ориентации Philae.

I. Apáthy, U. Auster, G. Berghofer, A. Remizov, M. Hilchenbach, ROMAP post hibernation Operation, доклад на рабочей группе по проекту РОЗЕТТА Philae SWT October 29-31, 2012, Seggau Castle.

Ремизов А.П., с.н.с., remizov@iki.rssi.ru