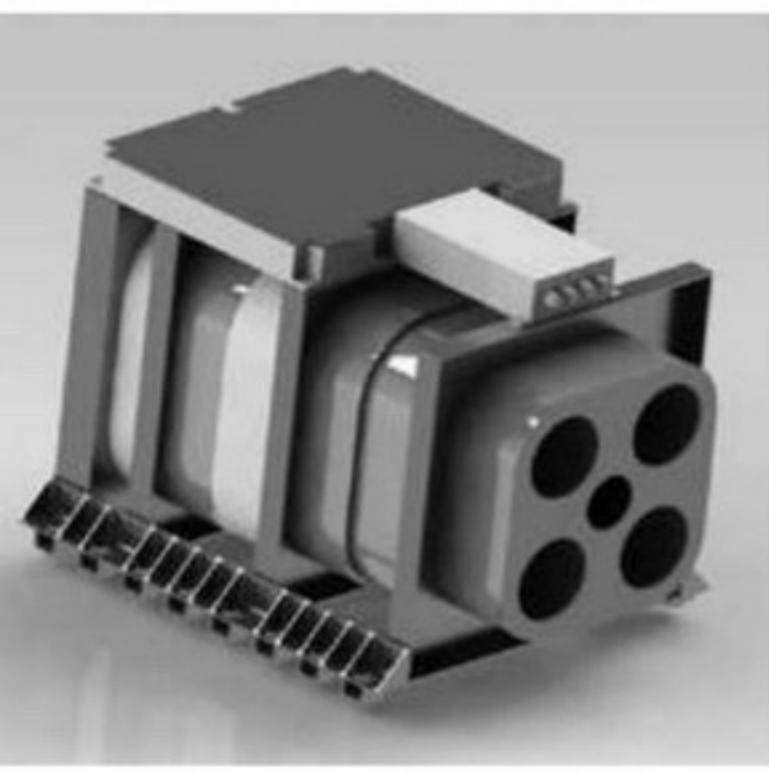




Летим на Марс ?



Прибор FRENDA (нейтронный детектор с высоким пространственным разрешением)

Уровень усилий, которые вкладывает общество в решение тех или иных научных задач, зависит от многих факторов. Тут и предполагаемый эффект для практики (мирной или военной), и важность для социума в целом (вспомните — запуск первого в мире спутника, полет Юрия Гагарина, высадка человека на Луну), и, наконец, чисто научная привлекательность. Эти факторы не складываются арифметически, а действуют сложно.

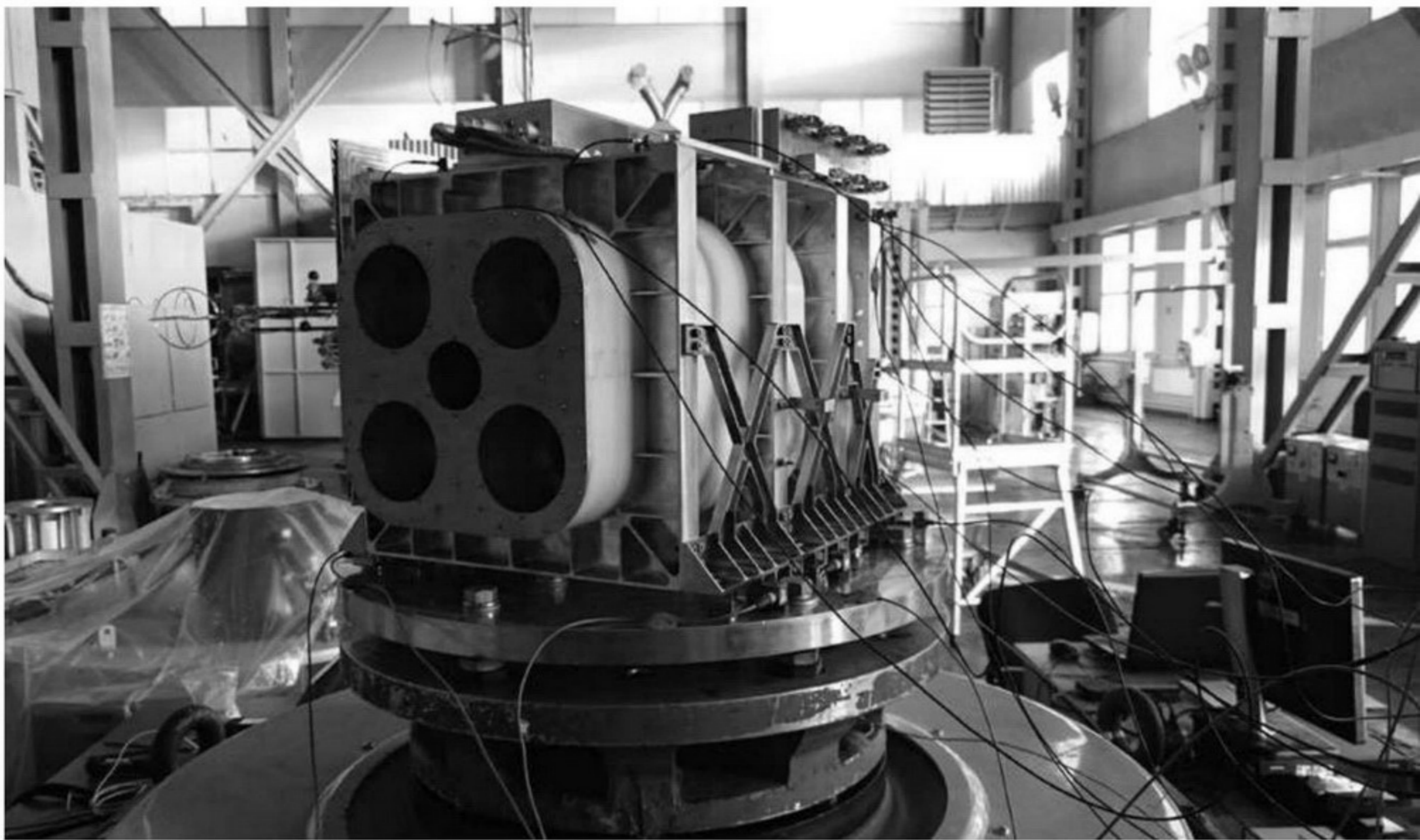
Можно уверенно сказать, что в смысле важности для общества полет человека на Марс крайне важен: люди хотят гордиться тем, что сделала их страна, их поколение. А вот с чисто научной привлекательностью все сложнее, поскольку не всегда можно предсказать, какое продвижение в понимании законов природы произойдет, если немалая сумма будет потрачена на тот или иной проект. Ведь порой одно число, одна линия в спектре, одна элементарная частица, прилетевшая издалека, изменяют наше понимание мира. Но в любом случае, экспедиция на Марс интереснее экспедиции на Луну.

Современное общество понимает, что наука — это важно, и выделяет для нее силы и ресурсы. Но оно хочет разъяснений, что именно важно и почему? Если говорить об исследовании Марса: почему важно установить, есть ли там вода и в каких количествах, каковы условия на поверхности планеты или почему, например, важно поднять пространственное разрешение с 300 до 40 километров? Какими способами это можно сделать, и почему выбран какой-то из них? С этими и другими вопросами мы обратились к доктору физико-математических наук, заведующему отделом ядерной планетологии Института космических исследований Российской академии наук, Игорю Георгиевичу Митрофанову.

При подготовке экспедиции на Марс важно знать, каким воздействиям мы подвергнемся по дороге и что найдем на месте — там, где приземлимся. (Кстати, интересно, как мы будем говорить через 10–20 лет — примарсианиться или примарситься? Пока на 30% популярнее второе — оно короче; хотя на порядок чаще пишут незатейливо «приземлиться на Марсе». Слово «прилуниться» тоже было когда-то чем-то раздражающим, а сейчас вошло в словари и почти догнало «приземлиться на Луне». Англоговорящим

ния, так что надо знать, что происходит на поверхности планеты. Помимо прочего, участникам экспедиции важно знать, есть ли на Марсе вода, где она находится, каковы ее запасы?

Проект FRENД — Fine Resolution Epithermal Neutron Detector, то есть детектор эпитепловых (то есть с энергиями от 0,5 эВ до 0,5 МэВ) нейтронов высокого разрешения — это один из четырех научных инструментов орбитального модуля TGO (Trace Gas Orbiter) международного проекта «Экзомарс» (ExoMars). Основная задача инструмента — регистрация



Физическая калибровка прибора FRENД в ОИЯИ (Дубна)

проще — to land можно на любое небесное тело).

Во время полета к Марсу мы подвергнемся воздействию космических лучей — протонов и ядер атомов, прежде всего ядер гелия (альфа-частиц), обладающих высокими энергиями. Поэтому нам надо исследовать их потоки: что летит, сколько, с какой энергией? А по прибытии на Марс мы тоже будем подвергаться действию излуче-

и картографирование потоков нейтронов, исходящих с поверхности Марса. FRENД разработан у нас в Отделе ядерной планетологии Института космических исследований.

Инструмент FRENД предназначен для регистрации потоков нейтронов, исходящих с поверхности Марса. Из этих данных мы узнаем, сколько водорода содержится на Марсе в поверхностном слое до одного метра, то есть, попросту говоря, сколько там воды или льда. И если мы хотим иметь воду на месте, а не везти ее с собой, то — где нам лучше высадиться.

Естественно, что полученные данные будут сопоставляться с данными других приборов, в том числе и полученными аппаратами, которые исследуют планету, находясь на его поверхности. Научные данные всегда анализируются в комплексе. Другая задача эксперимента FRENД — раз уж аппарат летит в ту сторону — разведать дорогу, то есть радиационную обстановку в окрестности Марса и потоки частиц по дороге. Потому что все это будет влиять на приборы и людей, и надо знать, как их от этого вредного влияния защищать и как выбирать время полета. Защититься стенками в данном случае невозможно — металлические стенки достаточной толщины будут, в свою очередь, производить вторичные нейтроны, которые также представляют радиационную опасность, и для которых такие стенки прозрачны. Придется дополнительно создавать экраны защиты от нейтронов, которые имеют гораздо большую массу. Таким образом, основной массой космического аппарата станет масса радиационной защиты. Принципиальным решением проблемы радиации является максимальное сокращение времени перелета — тогда накопленная доза станет вполне приемлемой с точки зрения медицинских ограничений.

Важную роль играет пространственное разрешение приборов — чем оно выше, тем точнее данные в привязке к конкретным районам на поверхности планеты. Для повышения пространственного разрешения инструмента FRENД до 40 километров использована схема, раньше отработанная на инструменте LEND (Lunar Exploration Neutron Detector), решавшем похожую задачу для Луны. Нейтронный детектор помещен внутри толстостенной трубы, стенки которой поглощают нейтроны, летящие с других направлений, кроме нужного. А нужное — это строго вниз, на поверхность Марса. Для картографирования поверхности орбитальные аппараты обычно переводят на полярную орбиту, или, по крайней мере, орбиту с большим на-

клонением, и ориентируют их с осью полей зрения приборов направленной в нади́р. В полете происходит сканирование поверхности. Горючее расходуется только на поддержание орбиты и заданной ориентации — это относительно небольшие затраты по сравнению с затратами при переходе с орбиты межпланетного полета на орбиту вокруг планеты.

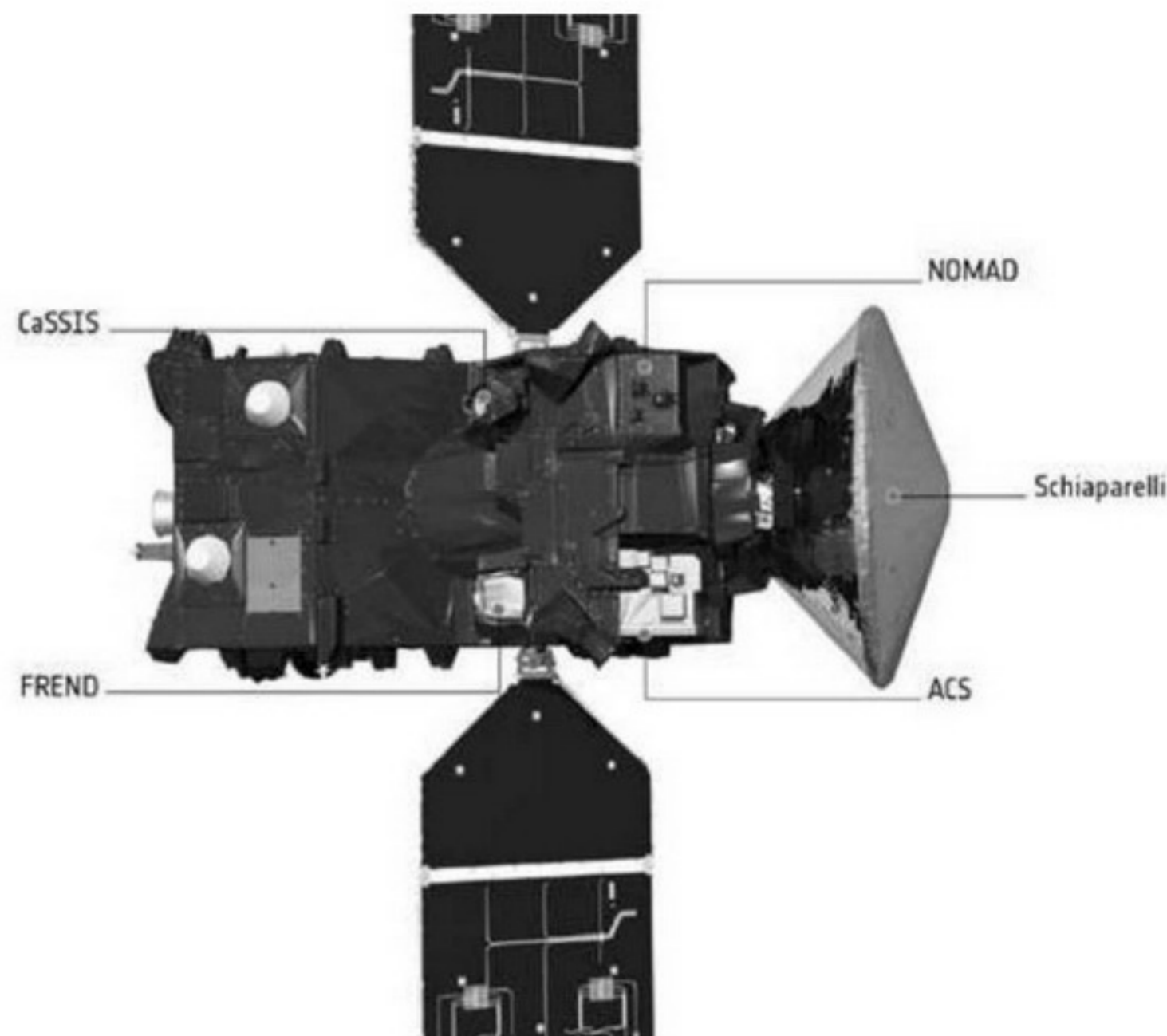
Внутри трубы находятся четыре детектора, они работают независимо, это увеличивает надежность — дорога на Марс дальняя, мало ли что случится. Счетчики нейтронов наполнены изотопом гелия, а именно гелием-3 при давлении 6 атмосфер. Изотоп гелия-3 представляет собой ядро, у которого не хватает одного нейтрона по сравнению с основным изотопом этого элемента, поэтому у него очень большое сечение реакции «захвата нейтрона» для превращения в основной изотоп. Давление увеличивают, чтобы повысить эффективность детектора. Прибор детектирует нейтроны с энергией от 0,4 до 500 КэВ. Внешний слой трубы-коллиматора изготовлен из полиэтилена высокой плотности, он замедляет нейтроны, внутренний — из порошка бора, обогащенного изотопом ^{10}B , который замечательно их поглощает. Как видим, это похоже на логику работы атомного реактора.

Кроме четырех пропорциональных счетчиков в инструменте функционирует пятый, сцинтилляционный, счетчик. Он сделан на основе кристалла стильбена и детектирует нейтроны и другие высокоэнергетические частицы с энергиями от 0,5 до 10 МэВ. При попадании нейтрона в кристалл он выбивает из одного из ядер протон, который ионизирует атомы вдоль траектории своего движения, и возникающие электроны излучают оптические фотоны, сцинтилляционную вспышку от которых регистрирует фотоумножитель. У этого счетчика, кроме нейтронного картографирования, есть и другая задача — он также следит за общей радиационной обстановкой. Через сцинтилляционный кристалл из стильбена также проле-

тают заряженные частицы космических лучей, которые тоже вызывают в нем сцинтилляционные вспышки. Для отличия этих событий от вспышек при регистрации нейтронов кристалл стибьена окружен другим кристаллом, который регистрирует частицы космических лучей и не срабатывает при прохождении через них нейтронов. Используя логику антисовпадений для срабатываний во внутреннем и внешнем кристаллах, мы можем отделить отсчеты от нейтронов от отсчетов от внешних протонов и альфа-частиц.

Шестым прибором инструмента FRENД является дозиметрический модуль «Люлин-МО». Модуль предназначен для отслеживания радиационной обстановки на марсианской орбите. «Люлин-МО» состоит из пары телескопов. Каждый телескоп содержит два полупроводниковых детектора из кремния. Прибор изготовлен в Болгарии. Этот прибор регистрирует заряженные частицы галактических и солнечных космических лучей.

Предшественниками FRENД являются инструменты HEND (проект Mars Odyssey) и LEND (проект Lunar Reconnaissance Orbiter). Благодаря многолетней работе прибора HEND на марсианской орбите уже было проведено картографирование нейтронных потоков. На основе этих данных построены глобальные карты содержания водорода в приповерхностном слое Марса. Однако пространственное разрешение HEND, составляющее порядка 300 километров, не позволяло производить детальную локализацию приповерхностного водорода. Прибор LEND был создан для нейтронного картографирования Луны и имел примерно такой коллиматор, какой впоследствии был применен для прибора FRENД. Прибор LEND был установлен на лунном орбитальном аппарате НАСА LRO, высота орбиты которого составляла всего около 50 километров. Это позволило получить разрешение на поверхности Луны 5 километров. На основе обработки данные нейтронного картографирования Луны прибором LEND



Расположение FRENД и трех других приборов на орбитальном аппарате TGO

были получены карты распространённости водорода в полярных районах. Учитывая, что водород является компонентом молекул воды, по данным прибора LEND на Луне были обнаружены полярные районы вечной мерзлоты с высокой массовой долей водяного льда.

Остался один маленький вопрос — как, «не слезая с орбиты», определить, что на поверхности. Само по себе это удивлять нас не должно. Мы, «не слезая с орбиты», видим, что происходит на Солнце — потому, что оно излучает. Но мы видим и то, что происходит на Луне — хотя она излучает в далекой инфракрасной части спектра, а в видимой части спектра благополучно отражает излучение Солнца. То есть, мы изучаем Луну, используя в качестве «того, что влияет», некий внешний фактор. Этот фактор — видимое излучение Солнца, но в космосе есть и другие внешние факторы, например, космические лучи. В основном это протоны, немного альфа-частиц и совсем немного других атомов. Протоны, попав в грунт Луны или Марса, порождают там нейтроны высоких энергий. Некоторые из них уходят вглубь пла-

нет, а некоторые, испытав несколько столкновений с ядрами вещества, в том числе с ядрами водорода (опять же, как в некоторых атомных реакторах) уменьшают свою энергию, выползают из приповерхностного слоя небесного тела и долетают до детекторов на орбите.

Работа прибора FRENД началась еще во время перелета к Марсу (апрель—сентябрь 2016 года) — измерялся уровень радиации на всех этапах полета. Затем он включался на этапе высокоэллиптических орбит аэроторможения, то есть торможения за счет сопротивления верхних слоев атмосферы (ноябрь 2016 — март 2017 года), проводя калибровки детекторов. С апреля 2018 года, после выхода аппарата на рабочую орбиту, начались наблюдения поверхности по научной программе исследований Марса.

Наблюдения с рабочей орбиты идут, но для того, чтобы построить карты с высоким пространственным разрешением, необходима большая статистика отсчетов нейтронов, которую прибор непрерывно накапливает прямо сейчас. Однако, даже спустя относительно небольшое время работы на орбите (около 120 дней, что составляет всего 15% от планируемой продолжительности основной научной миссии), в возникающей карте уже начали проследиваться характерные черты распространенности воды в веществе верхнего слоя поверхности Марса и границы сезонных полярных шапок из сухого снега углекислоты. Обнаружена сезонная переменность нейтронного потока на южном полюсе, где сейчас наступает весна и испаряются сезонные полярные шапки из замерзшей углекислоты.

Ближе к экваториальным областям наблюдаются районы повышенного содержания воды, которые ранее не были выявлены прибором FRENД за примерно 16 лет. Этот прибор имел пространственное разрешение около 300 километров. При накоплении данных за все время основной научной миссии прибор FRENД сможет уточнить картину распределения грунтовой воды на Марсе. Районы

с максимально высоким содержанием воды станут наиболее перспективными для поиска признаков жизни или палеожизни.

Вторая задача — оценка дозы радиации, которую могут получить участники пилотируемых экспедиций во время перелета к Марсу и на орбите около планеты. Как показали данные «Люлин-МО», за пять месяцев полета средний поток галактических космических лучей составил 3,1—3,3 частиц на квадратный сантиметр в секунду, поглощенная в кремний доза составила 370—390 микрогрей в день (доза 1 грей соответствует поглощенной энергии 1 Джоуль на 1 килограмм массы). Эти числа можно перевести в эквивалентную дозу радиации ионизирующего излучения, которую используют применительно к живым системам. За время пилотируемого перелета от Земли к Марсу и обратно (6 месяцев в один конец) его участники могут получить дозу примерно 60% от полной величины, допустимой для космонавта за всю его жизнь при условии, что стенки космического аппарата аналогичны тем, которые закрывают «Люлин-МО». Надо учитывать, что измерения проводились во время понижения солнечной активности, когда поток высокоэнергичных галактических космических лучей во внутренней области Солнечной системы достигает своего максимума. Солнце создает гелиосферу из замагниченной плазмы солнечного ветра, которая рассеивает поток галактических космических лучей, и тем самым влияет на величину этого потока внутри гелиосферы. В минимуме солнечной активности область гелиосферы сжимается, и поток галактических космических лучей внутри нее возрастает. Напротив — в максимуме солнечной активности область гелиосферы увеличивается, и поток космических лучей уменьшается.

Так что шансы слетать на Марс есть. И вполне реальные.

*Материал подготовил к публикации
Леонид Ашкинази.*