



**ИКИ**  
ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
РАН



**ЗАКАЗЧИК**  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
**РОСКОСМОС**

**РАЗРАБОТЧИКИ И СОИСПОЛНИТЕЛИ**

ГОЛОВНОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬ —

Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

Научный руководитель эксперимента ФРЕНД — д.ф.-м.н.  
**Игорь Георгиевич Митрофанов**, заведующий отделом  
ядерной планетологии ИКИ РАН

В КОМПЛЕКСЕ АЦС ИСПОЛЬЗОВАНЫ КЛЮЧЕВЫЕ  
КОМПОНЕНТЫ И РАЗРАБОТКИ СЛЕДУЮЩИХ  
ОРГАНИЗАЦИЙ:



Институт космических исследований и технологий  
Болгарской академии наук (ИКИТ БАН)



ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский  
институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского»  
(ФГУП «ВИАМ», г. Москва)



ОАО «Государственный научный центр —  
Научно-исследовательский институт атомных  
реакторов» (ОАО «ГНЦ НИИАР», г. Димитровград-10)



Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт машиноведения  
им. А.А. Благонравова Российской академии наук  
(ИМАШ РАН, г. Москва)



Объединенный институт ядерных исследований  
(ОИЯИ, г. Дубна)



Институт медико-биологических проблем  
Российской академии наук  
(ГНЦ РФ ИМБП РАН, г. Москва)

Страница эксперимента ФРЕНД  
<https://np.cosmos.ru/FREND.html>  
Дополнительная информация  
[press@cosmos.ru](mailto:press@cosmos.ru)



ЕВРОПЕЙСКОЕ  
КОСМИЧЕСКОЕ  
АГЕНТСТВО



РОСКОСМОС  
ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
КОРПОРАЦИЯ  
ПО КОСМИЧЕСКОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



ИКИ  
ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
РАН



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ  
ОБЪЕДИНЕНИЕ  
ИМЕНИ  
С.А. ЛАВОЧКИНА

**ФРЕНД**

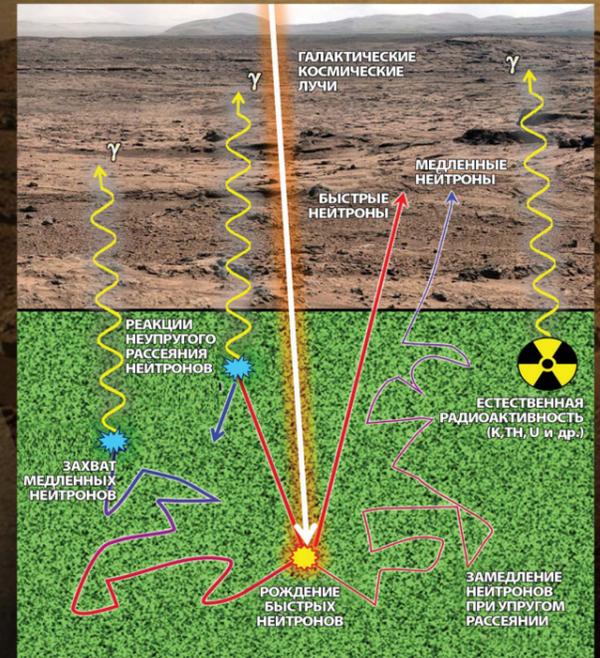
ДЕТЕКТОР  
ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ  
ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Trace Gas Orbiter

**ЭкзоМарс-2016**

РОССИЙСКО-ЕВРОПЕЙСКИЙ ПРОЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ МАРСА

Прибор ФРЕНД (FREND, Fine Resolution Epithermal Neutron Detector) для аппарата Trace Gas Orbiter (проект «ЭкзоМарс-2016») предназначен для регистрации и картографирования потоков нейтронов от поверхности Марса с высоким пространственным разрешением.



Космические лучи проникают в марсианский грунт на глубину до 1 метра и взаимодействуют с веществами, составляющими его. По энергетическому распределению нейтронов, вышедших из-под поверхности, можно судить о том, какие элементы содержатся в приповерхностном слое грунта. Потоки нейтронов от поверхности планеты позволяют судить о содержании водорода и, как следствие, воды и водяного льда в приповерхностном слое глубиной до одного метра. Карты распространения водорода необходимы, чтобы более точно выбирать места посадки будущих марсианских миссий.

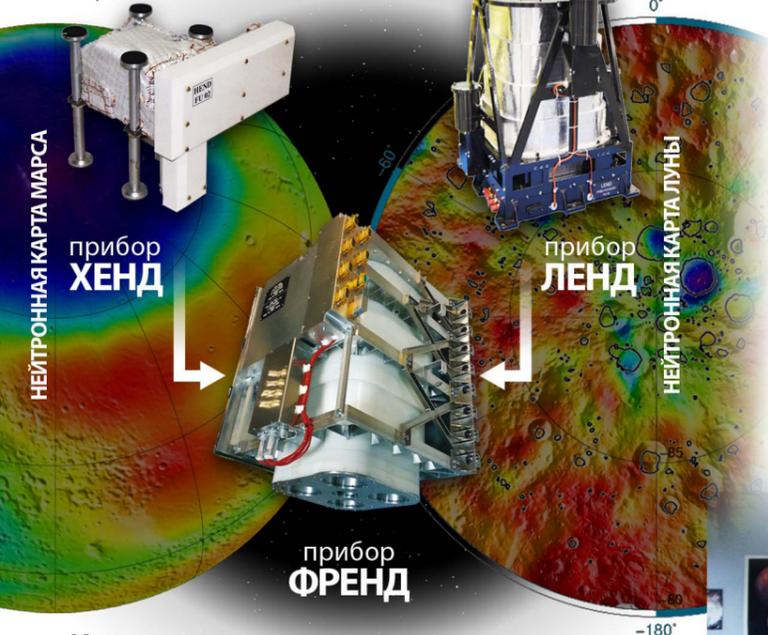
- Основные параметры ФРЕНД:**  
 Масса — 36 кг  
 Потребление — 14 Вт  
 Размеры — 465 x 380 x 370 мм  
 Диапазон энергий — 0,4 - 500 кэВ (нейтроны) и 0,5 - 10 МэВ (частицы)  
 Разрешение по времени — от 1 с  
 Разрешение на поверхности ~ 40 км  
 Разрешение по глубине ~ 1 м  
 Энергетическое разрешение дозиметра не хуже — 100 кэВ (диапазон энерговыделений в детекторе — 100 кэВ÷8 МэВ) и не хуже — 350 кэВ (диапазон — 8 МэВ÷70 МэВ)  
 Объем телеметрии — 50 Мбит в день

**Цели эксперимента ФРЕНД**

- Построить карты потоков нейтронов от поверхности Марса с пространственным разрешением 40 км.
- Построить карты содержания водорода в приповерхностном грунте Марса глубиной до 1 м с разрешением в 40 км.
- Сравнить потоки нейтронов от поверхности Марса в зависимости от сезона.
- Сопоставить данные орбитальных измерений с данными аналогичных приборов других миссий, орбитальных и посадочных.
- Провести мониторинг потоков нейтронов и заряженных частиц в периоды активного и спокойного Солнца.
- Провести мониторинг радиационной обстановки на орбите вокруг Марса, изучить состояние гелиосферы на трассе перелета «Земля-Марс» и на марсианской орбите, исследовать вклады разных типов частиц (электронов, протонов и других) в радиационную дозу на орбите вокруг Марса.

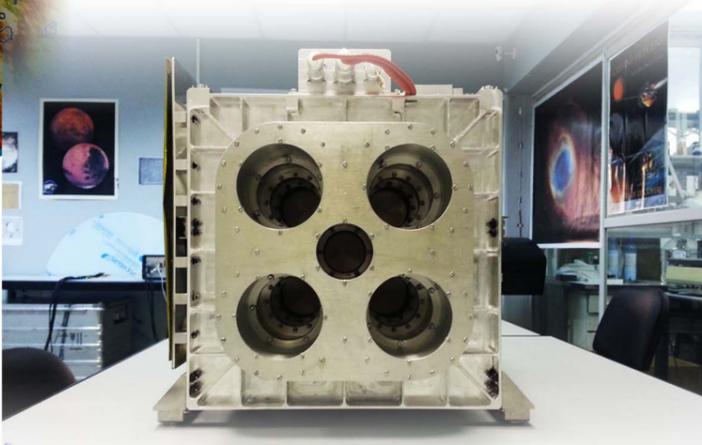
**Конструкция прибора**

- 1. Детекторы** для создания карт нейтронного излучения Марса: — четыре пропорциональных счётчика, наполненных гелием-3 (<sup>3</sup>He) под давлением в 6 атм, регистрирующих нейтроны с энергиями в диапазоне 0,4 - 500 кэВ. Каждый из детекторов ведет независимое накопление отсчетов нейтронов, что улучшает статистику измерений и повышает отказоустойчивость прибора, — сцинтилляционный счётчик на основе кристалла стибьена для регистрации высокоэнергетических нейтронов с энергиями 0,5-10 МэВ. Предусмотрена антисовпадательная защита, чтобы отделить полезный сигнал нейтронов от сигналов высокоэнергетических заряженных частиц.
- 2. Коллимационный модуль** — полностью пассивный элемент конструкции, внутри которого располагаются все пять детекторов прибора. Наружный слой коллиматора выполнен из полиэтилена высокой плотности, внутренний — из порошка обогащённого бора (<sup>10</sup>B). Нейтроны, попадающие на стенки коллиматора, сначала затормаживаются в полиэтилене, содержащем большое количество атомов водорода. Далее замедленные нейтроны попадают в слой <sup>10</sup>B и поглощаются. Благодаря коллиматору поле зрения детекторов прибора сужается до пятна диаметром 40 км на поверхности Марса с круговой орбиты в 400 км. В результате пространственное разрешение нейтронных карт Марса будет в 7,5 раз выше по сравнению с картами прибора ХЕНД.
- 3. Дозиметрический модуль «Люлин-МО»** для мониторинга радиационной обстановки на орбите планеты (разработчик — Институт космических исследований и технологий Болгарской академии наук). «Люлин-МО» измеряет поток, поглощенную дозу и мощность поглощённой дозы заряженных частиц космического излучения, спектр их ионизационных потерь и спектры энерговыделений в детекторах прибора. Модуль состоит из двух телескопов, каждый из которых содержит по два кремниевых полупроводниковых детектора (чувствительная площадь 2 см<sup>2</sup>). Измерения дозиметра необходимы для изучения радиационной обстановки во время перелета и работы на околомарсианской орбите, в том числе чтобы оценить радиационную опасность для перспективных космических аппаратов и выработать системы защиты от неё.

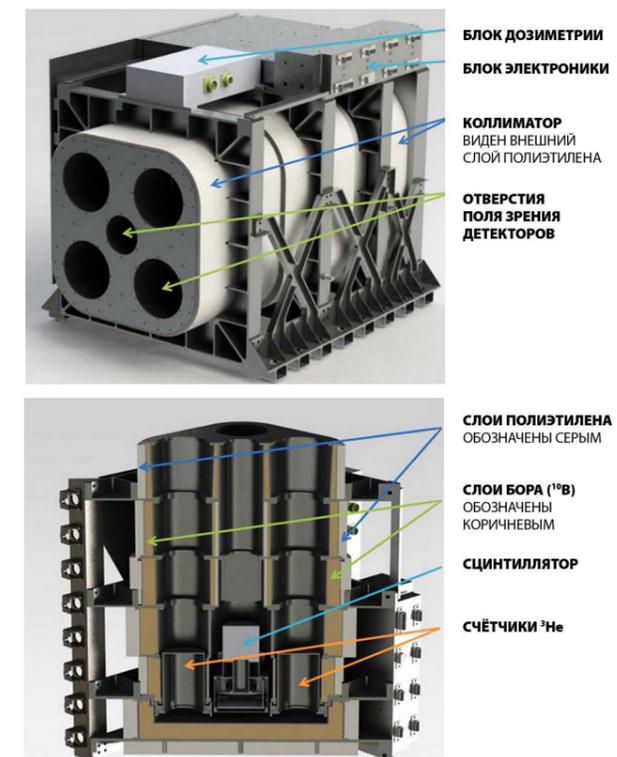


**Идеология**

Нейтронный телескоп ФРЕНД создаётся по образу и подобию двух своих предшественников, приборов ХЕНД и ЛЕНД, созданных в отделе ядерной планетологии для миссий НАСА Mars Odyssey (запуск 2001, исследования Марса) и Lunar Reconnaissance Orbiter (запуск 2009, исследования Луны). За 13 лет работы ХЕНД на орбите Марса были построены подробные карты нейтронных потоков и, как следствие, содержания водорода в приповерхностном слое. Но пространственное разрешение ХЕНД составляет порядка 300 км, что недостаточно для подробного и детального изучения распределения приповерхностного водорода. Чтобы сузить поле зрения нейтронного детектора, необходимо поместить его внутрь коллиматора — экрана, который будет поглощать нейтроны, прилетающие из направлений, отличных от надиря. Такой коллиматор был использован в приборе ЛЕНД. С его помощью были созданы карты нейтронных потоков Луны с пространственным разрешением всего 5 км. ФРЕНД максимально использует отработанные и проверенные технологии этих приборов.



**ФРЕНД, вид спереди.**  
В четыре угловых отверстия коллиматора находятся пропорциональные <sup>3</sup>He-счётчики. Посередине — отверстие для сцинтилляционного детектора  
© ЕКА/Роскосмос/ЭкзоМарс/ФРЕНД/ИКИ



Научный руководитель эксперимента ФРЕНД — д.ф.-м.н.  
**Игорь Георгиевич Митрофанов**  
(ИКИ РАН)



**ИКИ**  
ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
РАН