

УДК 520.626

ЭКСПЕРИМЕНТ “СИГНАЛ” НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ “ИНТЕРГЕЛИО-ЗОНД”

С. Е. Улин¹, В. В. Дмитренко¹, Н. Г. Полухина^{1,2}

Дано описание рабочей орбиты космического аппарата (КА) “Интергелио-Зонд”. Сформулированы основные цели и задачи эксперимента “Сигнал”. Приведено описание научной аппаратуры “Сигнал”, входящей в состав данного КА. Представлен перечень ее основных физико-технических характеристик. Рассмотрены режимы работы данной аппаратуры на борту данного КА.

Ключевые слова: ксенон, гамма-детектор, линейчатое гамма-излучение, солнечные вспышки, ядерные реакции.

Введение. Проводимые в настоящее время солнечные космические миссии (SOHO, STEREO, SDO, HINODE и др.), а также ранее выполненные эксперименты (YONKON, КОРОНАС-Ф), дают важную информацию о физических процессах, происходящих на Солнце, и солнечно-земных связях. Однако для дальнейшего изучения физики Солнца необходимо проведение новых исследований.

КА “Интергелио-Зонд” обеспечит возможность проведения дистанционного зондирования Солнца с близких расстояний и из внеэклиптических положений, что позволяет проводить изучение околополярных областей Солнца.

Орбита КА “Интергелио-Зонд”. Баллистическая схема движения КА, рассчитанная в ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”, показана на рис. 1. КА “Интергелио-Зонд” выводится на систему гелиоцентрических рабочих орбит. Первая рабочая орбита имеет небольшое наклонение к плоскости эклиптики. На траектории перелета Земля – Земля есть несколько пассивных и активных участков, на которых работает электроракетная двигательная установка (ЭРДУ).

Первый участок гелиоцентрического перелета активный. Последний участок (участок при подлете к Земле для гравитационного маневра) пассивный. В конце первой

¹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), 115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31; e-mail: seulin@gmail.com.

² ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53.

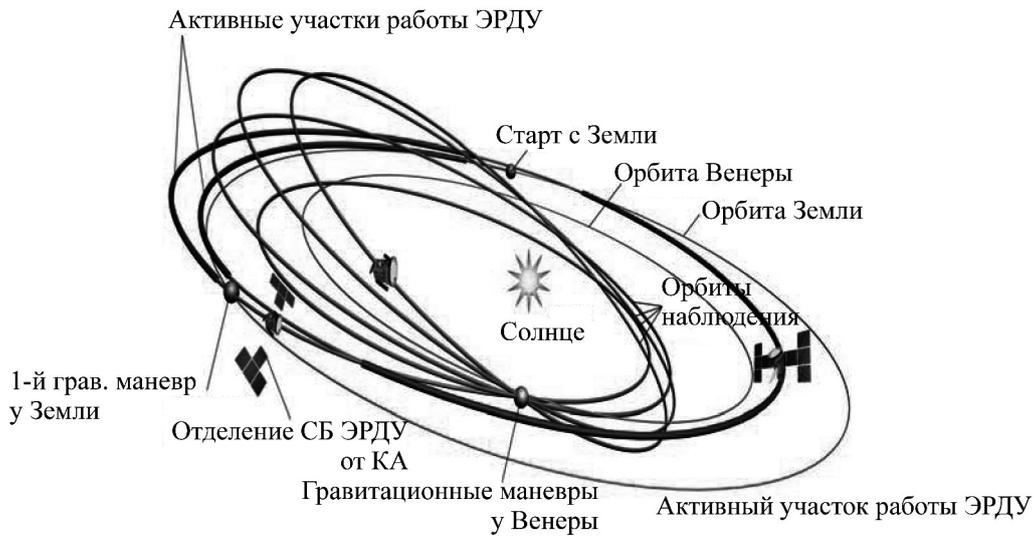


Рис. 1: Баллистическая схема движения КА “Интергелио-Зонд”.

гелиоцентрической рабочей орбиты КА встречается с Венерой для выполнения вблизи неё гравитационного маневра. Затем реализуется такая последовательность гравитационных маневров у Венеры, при которой КА переводится на последовательность рабочих орбит с увеличивающимся наклоном к плоскости эклиптики. Наклонение последней рабочей орбиты, после которой КА удаляется от Солнца, составляет более 30 градусов. Время от старта КА (апрель-май 2022 года) до последнего гравитационного маневра у Венеры не превышает пяти лет.

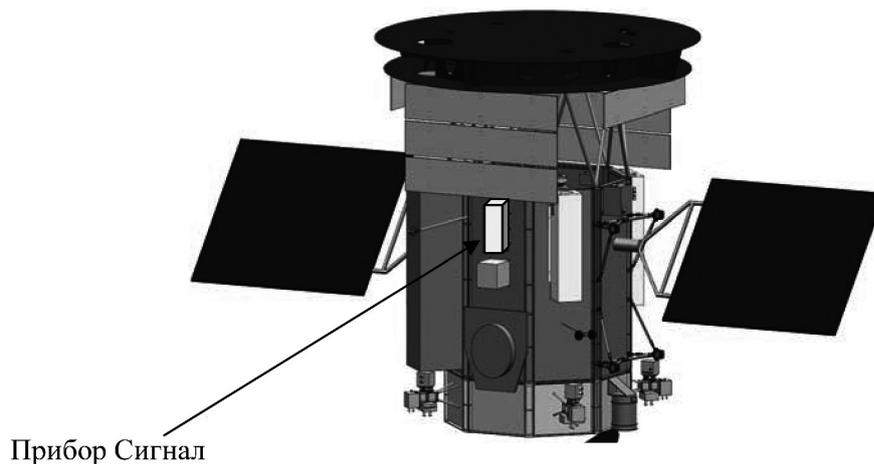


Рис. 2: Предварительная компоновка космического аппарата “Интергелио-Зонд”.

КА “Интергелио-Зонд”. Этот КА, обеспечивающий функционирование комплекса научной аппаратуры, в состав которой входит ксеноновый гамма-спектрометр “Сигнал”, находится в стадии разработки в НПО им. С.А. Лавочкина. Предварительная компоновка КА “Интергелио-Зонд” с указанием места установки прибора “Сигнал” показана на рис. 2.

Во время полета продольная ось КА должна быть ориентирована на Солнце. Для защиты от потоков солнечного излучения на КА предусмотрена установка комбинированного теплового экрана с небольшими отверстиями для оптических приборов.

Цели и задачи эксперимента “Сигнал”. Особенности траектории КА “Интергелио-Зонд” и возможности, предоставляемые установленным на борту этого КА ксеноновым γ -спектрометром (КГС), определяют цели и научные задачи эксперимента “Сигнал”:

1. Исследование линейчатого γ -излучения и непрерывной части спектра в диапазоне энергий 30 кэВ – 5 МэВ, возникающего во время солнечных вспышек. В результате будут получены:

– количественные соотношения ядер ${}^7\text{Be}$ и ${}^7\text{Li}$, образующихся в ядерных реакциях ${}^4\text{He}(\alpha, n){}^7\text{Be}^*$, ${}^4\text{He}(\alpha, p){}^7\text{Li}^*$, величина потоков ускоренных α -частиц в атмосфере Солнца, степень угловой анизотропии движения α -частиц;

– интенсивность отдельных γ -линий для определения в солнечной атмосфере количественного состава различных ядер, в частности, ${}^{56}\text{Fe}$ (0.84 и 1.24 МэВ), ${}^{24}\text{Mg}$ (1.37 МэВ), ${}^{20}\text{Ne}$ (1.63 МэВ), ${}^{28}\text{Si}$ (1.78 МэВ), ${}^{12}\text{C}$ (1.99 и 4.43 МэВ), ${}^{14}\text{N}$ (2.31 МэВ);

– интенсивность γ -линии с энергией 2.22 МэВ, что позволит изучить процессы синтеза легких элементов на Солнце. Эта гамма-линия излучается при захвате тепловых нейтронов протонами либо ${}^3\text{He}$ с генерацией дейтерия и трития соответственно. Ее интенсивность содержит уникальную информацию о концентрации ${}^3\text{He}$, что позволяет “заглянуть” в подфотосферную область Солнца;

– значение температуры солнечной атмосферы по ширине γ -линии 0.511 кэВ, поскольку ее ширина зависит от температуры как $T^{1/2}$;

– информация о процессах ускорения частиц во время вспышек путем измерения их временных профилей и соотношения интенсивности γ -линий в различных диапазонах энергий;

– концентрации ядер ${}^3\text{He}$ во время солнечных вспышек по данным измерения интенсивности γ -линий, образующихся при взаимодействии нейтронов с ${}^3\text{He}$ (0.937, 1.04 и 1.08 МэВ);

– результаты измерения γ -излучения от слабых солнечных вспышек классов В и С,

что позволяет детально изучить форму спектра и определить энергетический диапазон, в котором начинает превалировать нетепловая компонента.

2. Исследование γ -всплесков (GRB) галактического и метagalктического происхождения. В результате будут получены:

– величины потоков и спектры γ -излучения в межпланетном космическом пространстве на различных расстояниях от Солнца;

– энергетические спектры, временные профили и динамика развития космических γ -всплесков (GRB) для изучения процессов ускорения и взаимодействия частиц во время всплесков, что позволит уточнить модели этих явлений;

– временные флуктуации фоновых потоков γ -излучения вдоль орбиты КА “Интергелио-Зонд”, что позволит оценить общую радиационную обстановку в различных областях межпланетного пространства.

3. Регистрация потоков заряженных частиц вдоль траектории КА. Будут получены:

– данные о заряженной компоненте космических лучей вблизи Солнца, что имеет большое значение для анализа движения солнечного ветра в окосолнечном пространстве и для прогнозирования космической “погоды”.



Рис. 3: Общий вид прибора “Сигнал”.

Описание прибора “Сигнал”. На рис. 3 и 4 показаны общий вид прибора “Сигнал” и расположение его блоков. Он состоит из ксенонового гамма-детектора (КГД) (1), основой которого является импульсная цилиндрическая ионизационная камера, наполненная сжатым ксеноном [1–4], и сцинтилляционных детекторов (АСД) (2), со всех сторон окружающих КГД для обеспечения антисовпадательной защиты от заряженной компоненты космического излучения.

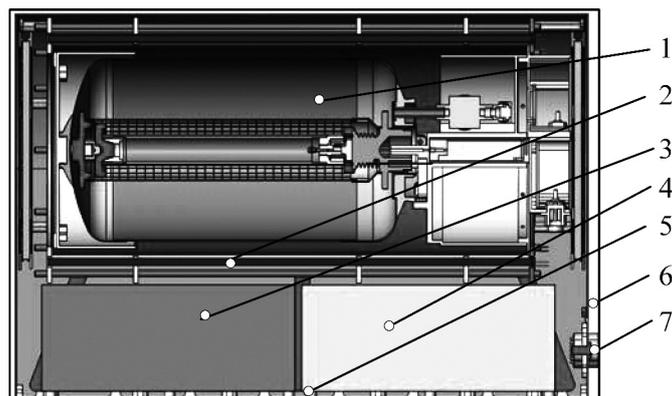


Рис. 4: Расположение основных блоков прибора “Сигнал”. 1 – ксеноновый гамма-детектор (КГД), 2 – антисовпадательные сцинтилляционные детекторы (АСД), 3 – блок стабилизации и преобразования напряжения электропитания, 4 – блок цифровой электроники, 5 – основание, 6 – защитный кожух, 7 – выходные разъемы.

Прибор “Сигнал” сконструирован в виде моноблока. В его нижней части расположены блок преобразования и стабилизации напряжения электропитания (3) и блок цифровой электроники (4), который осуществляет накопление и предварительную обработку информации, контроль и управление работой прибора “Сигнал”, а также связь с бортовой телеметрией КА.

Все блоки прибора “Сигнал”, размещенные на основании (5), закрыты общим защитным кожухом (6). Крепление прибора к одной из боковых граней КА осуществляется с помощью шести приливов, имеющих на основании.

Т а б л и ц а 1

Основные физико-технические характеристики прибора “Сигнал”

Энергетический диапазон регистрируемых γ -квантов, МэВ	0.03–5
Энергетическое разрешение на γ -линии 662 кэВ, кэВ	1.7 ± 0.3
Эффективность регистрации γ -квантов 662 кэВ, %	2.0 ± 0.5
Масса, кг	5.0 ± 0.5
Габариты, мм	$362 \times 223 \times 248 \text{ мм}^3$
Напряжение питания, В	+ (24 – 27)
Потребляемая мощность, Вт	15 ± 5
Рабочий температурный диапазон, °С	(0 – 80)

Для защиты от воздействия солнечной радиации вся научная аппаратура на КА накрывается специальным светоотражающим экраном.

Прибор “Сигнал” устанавливается на КА таким образом, чтобы в его поле зрения попадало минимальное количество различных конструктивных элементов КА (рис. 2).

Основные физико-технические характеристики прибора “Сигнал” приведены в таблице 1.

Типичные энергетические спектры гамма-источников ^{137}Cs и ^{133}Ba , измеренные с помощью прототипа КГД, показаны на рис. 5 и 6.

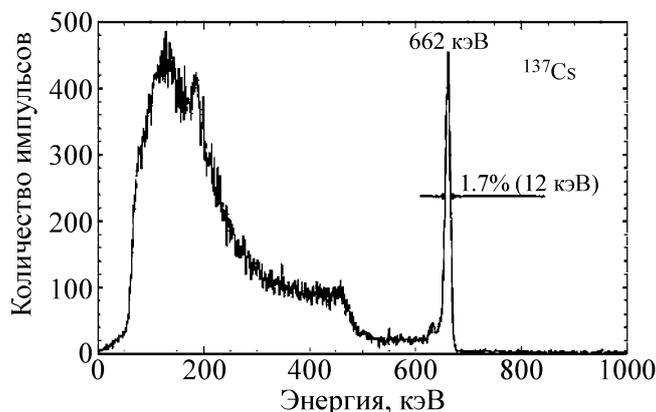


Рис. 5: Энергетический спектр γ -источника ^{137}Cs , измеренный прототипом КГД.

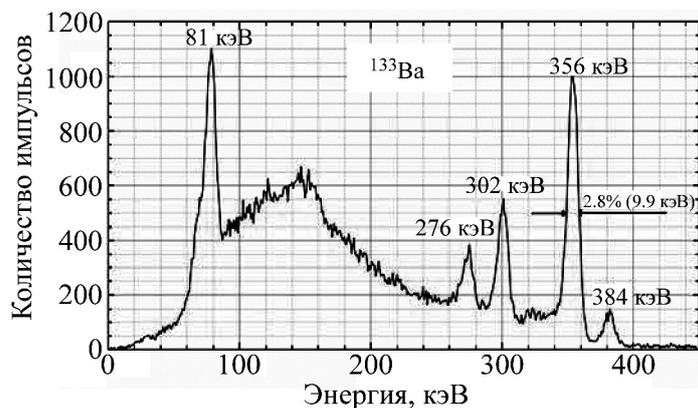


Рис. 6: Энергетический спектр γ -источника ^{133}Ba , измеренный прототипом КГД.

Следует отметить, что данный прибор имеет хорошее энергетическое разрешение (1.7 ± 0.3) кэВ для γ -линии 662 кэВ, которое, по крайней мере, в 5-6 раз лучше, чем у сцинтилляционных детекторов NaI(Tl).

Планируется, что прибор “Сигнал” будет работать непрерывно в двух режимах. Первый (ждуций режим) предусматривает набор гамма-спектров в течение каждой секунды на протяжении 1 минуты. Эти спектры будут анализироваться на предмет обнаружения γ -вспышек. В том случае, если гамма-вспышка не обнаружена, то данные суммируются в единый спектр до регистрации очередной γ -вспышки и далее вместе со вспомогательной информацией записываются в промежуточную память для подготовки к передаче по телеметрии на Землю.

Второй (режим регистрации γ -вспышек) предусматривает набор гамма-спектров в течение одной секунды на протяжении всей вспышки. Этот режим предназначен для работы во время солнечных вспышек или космических γ -всплесков. Переход от первого режима ко второму осуществляется автоматически на основании анализа загрузки детекторов.

После вывода КА на орбиту Земли и проверки функционирования его систем будет осуществлено включение прибора “Сигнал”. Он будет работать практически непрерывно в течение всего полета КА.

В штатном режиме работы для записи информации, поступающей с прибора “Сигнал”, требуется около 20 Мбайт/сутки.

Заключение. γ -спектрометрическая научная аппаратура “Сигнал” разрабатывается в НИЯУ МИФИ на основе ранее созданных прототипов. В настоящее время ее разработка находится на стадии подготовки конструкторской документации и изготовления макетов прибора “Сигнал”, создание которых будет завершено в 2015 г.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] С. Е. Улин, В. В. Дмитренко, В. М. Грачев и др., Экологические системы и приборы, № 7, 3 (2010).
- [2] С. Е. Улин, В. В. Дмитренко, В. М. Грачев и др., Вопросы электромеханики **114**, 43 (2010).
- [3] K. F. Vlasik, V. M. Grachev, V. V. Dmitrenko, et al., Nuclear measuring information technology, № 2 (10), 45 (2004).
- [4] S. E. Ulin, V. V. Dmitrenko, V. M. Grachev, et al., Hard X-Ray and Gamma-Ray Detectors Physics VI. Proc. SPIE **5540**, 248 (2004).
- [5] A. P. Elokhin, V. A. Safonenko, S. E. Ulin, et al., Nuclear Measurement & Information Technologies, № 3 (23), 42 (2007).

Поступила в редакцию 1 апреля 2015 г.