

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт космических исследований  
Российской академии наук (ИКИ РАН)

**Техническое задание**

Разработка и изготовление лабораторного макета миниатюрного  
спектрометра энергичных частиц (СМЭЧ)

## **Оглавление**

1	Введение	3
2	Тактико-технические требования	3
2.1	Состав изделия	3
2.2	Требуемые характеристики	4
2.3	Сцинтилляционные шайбы (СШ) и SiPM	4
2.4	Монтажно-защитный корпус (МЗК) и температурный датчик (ТД)	5
2.5	Блок электроники (БЭ)	5
2.6	Режимы работы	6
2.7	Программное обеспечение (ПО)	7
2.8	Комплект документации	7
3	Порядок ведения разработки	8

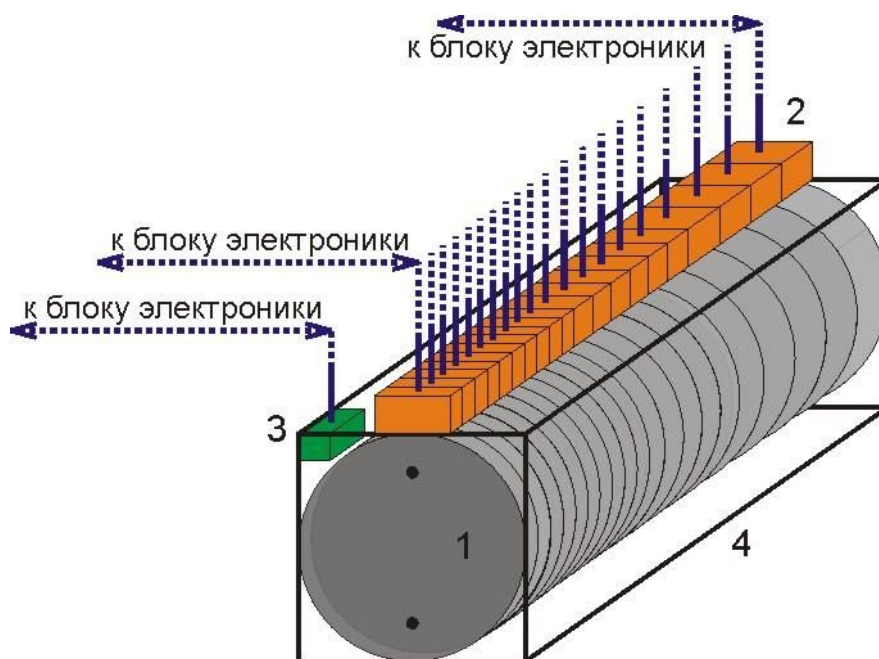
# 1 Введение

Лабораторный макет миниатюрного спектрометра энергичных частиц (далее макет), изготавливаемый в рамках выполнения работ по гранту РФФИ № 17-72-20134, предназначен для демонстрации достижимых измерительных характеристик предлагаемой детектирующей схемы в лабораторных условиях.

## 2 Тактико-технические требования

### 2.1 Состав изделия

2.1.1 Макет состоит из двух блоков: 1) блока детектирования (БД) и 2) блока электроники (БЭ). БД состоит из набора расположенных вдоль общей оси сцинтилляционных шайб (СШ), присоединенных к ним кремниевых лавинных фотодиодов (SiPM), температурного датчика (ТД), монтажно-защитного корпуса (МЖК). Схема устройства БД макета представлена на рис. 1.



**Рис. 1** Основные элементы детекторного блока макета: 1 – сцинтилляционные шайбы, 2 – кремниевые лавинные фотодиоды (SiPM), 3 – температурный датчик, 4 – монтажно-защитный корпус.

## **2.2 Требуемые характеристики**

2.2.1 Макет БД разрабатывается исходя из принципа минимизации массогабаритных характеристик, которые должны обеспечивать возможность установки макета на платформу стандарта “CubeSat”. Габариты (длина-ширина-высота) макета БД не должны превышать: 8 см х 6 см х 6 см. Масса макета БД не должна превышать: 700 г.

2.2.2 Диапазон энергий регистрируемых частиц: электроны – от 1 до 10 МэВ, протоны – от 10 до 100 МэВ.

2.2.3 Энергетическое разрешение ( $dE/E$ ) для обоих сортов частиц в рабочем диапазоне энергий не хуже 10%.

2.2.4 Концепция макета БД должна обладать модификационной гибкостью. В частности, она должна позволять увеличивать верхнюю границу энергии регистрируемых частиц путем добавления новых детектирующих элементов (СШ, просматриваемых SiPM), а также улучшать энергетическое разрешение посредством изменения толщины СШ.

2.2.5 Макет должен обеспечивать требуемые измерения при одновременных радиационных нагрузках потоками электронов с энергией выше 1 МэВ до  $10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  и протонов с энергией выше 10 МэВ до  $10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ; и при отношении потоков электронов и протонов обозначенных энергий до  $10^6$ .

2.2.6 Составные элементы макета БД должны быть съемными и заменяемыми.

2.2.7 Макет должен быть работоспособным в лабораторных условиях.

2.2.8 Концепция макета БД должна обеспечивать измерения энергичных частиц при окружающем давлении, характерном для околоземного космического пространства – от  $\sim 100$  нПа (в ионосфере на высоте около 400-500 км) до  $\sim 1$  нПа (в солнечном ветре на 1 А.Е.) и ниже.

2.2.9 Макет БД должен штатно функционировать при рабочих температурах от  $-30^\circ\text{C}$  до  $+60^\circ\text{C}$ .

## **2.3 Сцинтилляционные шайбы (СШ) и SiPM**

2.3.1 Общее количество СШ не должно превышать 32 штук.

2.3.2 СШ имеют форму цилиндров одного диаметра не более 4 см. Толщины СШ могут меняться в диапазоне от 1 до 10 мм.

2.3.3 СШ располагаются друг за другом вдоль общей оси, проходящей через их центр, без зазора или с минимально возможным зазором не более 3 мм. Толщина зазора согласуется дополнительно.

2.3.4 В СШ могут быть проделаны сквозные отверстия для обеспечения их соосности и фиксации.

2.3.5 На СШ могут быть сделаны технологические скосы и/или вырезы для их крепления к корпусу, а также для крепления к ним SiPM. Возможно соединение SiPM с СШ посредством оптоволокну. Типы и способы крепления согласуются дополнительно.

2.3.6 Светосбор с каждой СШ должен осуществляться не более чем тремя SiPM. Общее количество SiPM не должно превышать 32 штуки.

2.3.7 СШ должны быть покрыты/обернуты светоотражающим материалом (за исключением мест крепления к ним оптоволокну/SiPM). Тип и материал покрытия согласуются дополнительно.

2.3.8 Тип сцинтиллятора и SiPM согласуются дополнительно.

## **2.4 Монтажно-защитный корпус (МЗК) и температурный датчик (ТД)**

2.4.1 МЗК предназначен для монтажа и фиксации СШ, а также для пассивной защиты СШ и SiPM от проникающего излучения.

2.4.2 В МЗК могут иметься окна, соосные СШ, для обеспечения беспрепятственного входа частиц и входы/выходы для каналов питания SiPM и ТД и их связи с БЭ.

2.4.3 Материал и характеристики МЗК согласуются дополнительно.

2.4.4 ТД предназначены для диагностики температуры в области СШ и SiPM, с целью чего ТД крепятся к внутренним поверхностям МЗК максимально близко к СШ. Тип и количество ТД согласуются дополнительно.

## **2.5 Блок электроники (БЭ)**

2.5.1 БЭ состоит из источника(ов) питания, усилителей SiPM, АЦП, каКС. Состав БЭ согласуется дополнительно.

2.5.2 БЭ должен обеспечивать питание всех входящих в состав БД SiPM и ТД, снятие с них сигналов, их оцифровку и передачу в ПЭВМ.

2.5.3 Для связи БЭ с SiPM и ТД БД используется КС. КС обеспечивает SiPM и ТД питанием, подаваемым с БЭ, и передачу с SiPM и ТД сигналов в БЭ. В КС БД должен также входить жгут для связи с ПЭВМ. Характеристики КС согласуются дополнительно.

2.5.4 Требования к массогабаритным характеристикам БЭ не предъявляются.

2.5.5 БЭ должен удовлетворять требованиям п.п. 2.2.7 - 2.2.9.

## 2.6 Режимы работы

2.6.1 Макет **может** функционировать в двух различных режимах: 1) в режиме поштучного счета частиц - одночастичный режим и 2) в интегральном режиме (**подлежит дополнительной проработке в рамках проекта**).

2.6.2 В одночастичном режиме, при потоке частиц, приходящих на входную СШ, не превышающем критическое значение  $F_c$ , определяются значения энергии каждой приходящей частицы, выделяемой в различных СШ. Информация записывается в память и обрабатывается с помощью программ на ПЭВМ. Исходя из измеренных значений выделенной энергии в различных СШ, определяются диапазоны возможных параметров частицы, а также отсекаются частицы, пришедшие под большими углами. В полученных диапазонах параметров определяется набор параметров, максимизирующий значение функции правдоподобия - произведения вероятностей наблюдать измеренное энерговыделение при данном наборе параметров. Таким образом определяется тип и энергия каждой детектируемой частицы.

2.6.3 **При превышении критического потока частиц  $F_c$  одночастичный режим работы сменяется интегральным режимом. (Удалил!)** В интегральном режиме определяются суммарные энерговыделения частиц в каждой СШ за фиксированный интервал времени  $\Delta t$ . Информация записывается в память и обрабатывается с помощью программ на ПЭВМ. Для анализа спектра в интегральном режиме используется методика регуляризации, позволяющая без потери точности строить решение обратной интегральной задачи – определение дифференциальных энергетических спектров электронов и протонов из интегрального спектра выделенной всеми частицами энергии в различных СШ. В качестве референтных кривых поглощения для восстановления могут использоваться как данные

компьютерного моделирования, так и экспериментально полученные калибровочные данные.

2.6.4 Максимальный объем целевой информации в единицу времени, обеспечивающей требуемые характеристики измерений, не должен превышать ~100 байт/с\*. Значение согласуется дополнительно.

\* Максимальный объем целевой информации в единицу времени, обеспечивающей требуемые характеристики измерений, определяется исходя из ограничений (для малых КА типа “CubeSat”) на объем телеметрии  $I_{\max} \sim 1\text{--}10$  МБ/сутки ( $1 \text{ МБ} = 10^6$  байт), время интегрирования сигнала  $\Delta t$  (в диапазоне от 10 до 300 с), количество СШ и SiPM.

## 2.7 Программное обеспечение (ПО)

2.7.1 ПО должно позволять с помощью ПЭВМ выполнять обработку экспериментальных данных, полученных с помощью макета в различных режимах работы, для демонстрации достижимых измерительных характеристик макета.

2.7.2 ПО должно обеспечивать сохранение и визуализацию результатов эксперимента и их обработки (в частности, темпы счета детекторов, определенные дифференциальные энергетические спектры частиц и пр.) в различных форматах. Требования к ПО уточняются дополнительно.

## 2.8 Комплект документации

2.8.1 В комплект документации макета входят:

- Комплект КД;
- Документация на СШ, SiPM, усилители, АЦП, кабели/разъемы и другие закупаемые/изготавливаемые компоненты;
- Краткое описание реализованной функциональной схемы макета;
- Краткое описание режимов работы макета;
- Описание ПО
- Компьютерная 3D модель (Geant4) БД макета и ее краткое описание
- Отчет о выполнении лабораторного тестирования макета на пучках энергичных частиц





### 3 Порядок ведения разработки

3.1.1 Работы по разработке макета финансируются из средств гранта РНФ № 17-72-20134.

3.1.2 Требования к разрабатываемому макету могут изменяться по согласованию.

3.1.3 Все отступления от требований настоящего документа должны согласовываться с его разработчиком.

3.1.4 Примерный график работ по разработке макета представлен в Таблице 1.

**Таблица 1**

Вид работы	Ответственный исполнитель	Сроки	Примечание
1. Разработка прототипа макета	МФТИ, ИЯИ	02.2018 02.2019	
2. Проработка элементной базы для создания макета (выбор типа и геометрических характеристик СШ, SiPM, усилителей, АЦП, ТД, КС, МЗК, разъемов и пр.)	ИЯИ, МФТИ (согласуется с ИКИ)	09.2018 06.2019	
3. Проработка технических решений для создания макета (выбор типа отражающего покрытия СШ, способа фиксации СШ и светосбора с них посредством SiPM, расположение и фиксация SiPM и пр.)	ИЯИ, МФТИ (согласуется с ИКИ)	09.2018 06.2019	
4. Сборка и лабораторные испытания прототипа макета (для проверки элементной базы и технических решений)	ИЯИ	12.2018 06.2019	
5. Определение перечня необходимых покупных изделий и материалов для изготовления макета	ИЯИ, ИКИ	06.2019 08.2019	
6. Выпуск комплекта КД для прототипа макета в соответствии с ЕСКД (без нормоконтроля);	ИКИ	02.2019 04.2019	
7. Закупка изделий и материалов для изготовления макета	ИКИ	06.2019 08.2019	
8. Сборка макета	ИЯИ	08.2019 10.2019	
9. Разработка методологии для обработки экспериментальных данных и графика лабораторных испытаний	МФТИ, ИЯИ	08.2019 10.2019	
10. Лабораторные испытания макета	ИЯИ	11.2019 01.2019	
11. Подготовка отчетных материалов	ИЯИ, МФТИ	02.2020 04.2020	

