ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

### ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### МОНИТОРИНГ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ БЛИЖНЕГО КОСМОСА

Под редакцией профессора А.М. Гальпера

Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений

Москва 2008

УДК 520(075) ББК 22.63я7 Л 12

Лабораторный практикум «Мониторинг радиационной обстановки ближнего космоса»: учебное пособие / А.М. Гальпер, А.Г. Батищев, Ю.В. Бородачев, С.А. Воронов, В.М. Грачев, С.В. Колдашов, М.Ф. Рунцо, С.Е. Улин, Ю.Т. Юркин; под ред. проф. А.М. Гальпера. М.: МИФИ, 2008. – 104 с.

Лабораторный практикум сопровождает курс «Прикладная ядерная космофизика» (М.: МИФИ, 2007) и предназначен для ознакомления и обучения студентов старших курсов с современными методами этапов инженерной и научно-исследовательской деятельности от момента проектирования аппаратуры до анализа получаемой информации.

Отдельные лабораторные работы практикума могут быть полезны при изучении методов регистрации частиц, обработки физических результатов.

Практикум подготовлен и реализован в рамках Инновационной образовательной программы МИФИ.

Рецензент канд. физ.-мат. наук, доц. Шилов В.А.

ISBN 978-5-7262-1015-5

© Московский инженерно-физический институт (государственный университет), 2008

### ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие
Лабораторная работа № 1 МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ БЛИЖНЕГО КОСМОСА6
Лабораторная работа № 2 ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КОМПОНОВКА КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ11
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРНЫХ СИСТЕМ КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ
Лабораторная работа № 4 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
Лабораторная работа № 5 ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВДОЛЬ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА (ЭКСПЕРИМЕНТ "ПАМЕЛА")
Лабораторная работа № 6 ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ (ЭКСПЕРИМЕНТ АРИНА) 80
Список рекомендованной литературы

### Предисловие

Предлагаемый лабораторный практикум сопровождает новый курс «Прикладная ядерная космофизика», разработанный по программе «Мониторинг радиационной обстановки ближнего космоса».

Цель лабораторного практикума – ознакомить и научить студентов старших курсов проведению на современном уровне ряда этапов инженерной и научно-исследовательской деятельности от момента проектирования научной аппаратуры до анализа получаемой информации. Практикум состоит из трех групп работ.

Первая группа лабораторных работ – этап разработки и конструирования аппаратуры: «Моделирование физических характеристик космофизической аппаратуры для мониторинга радиационной обстановки ближнего космоса» – автор Ю.Т. Юркин, «Трехмерное моделирование конструкции и компоновка космофизической аппаратуры» – авторы А.Г. Батищев, Ю.В. Бородачев.

Вторая группа лабораторных работ – этап определения характеристик разработанной и изготовленной аппаратуры: «Изучение амплитудных и временных характеристик детекторных систем космофизической аппаратуры. Программирование логических интегральных схем» – авторы С.А. Воронов, М.Ф. Рунцо, «Изучение физических характеристик гамма-спектрометрических детекторов для космофизических измерений» – авторы В.М. Грачев, С.Е. Улин.

Третья группа лабораторных работ – этап обработки и анализа результатов измерений: «Измерение потока заряженных частиц вдоль орбиты космического аппарата (эксперимент "ПАМЕЛА")» – авторы С.А. Воронов, А.М. Гальпер, А.А. Леонов, Ю.Т. Юркин, «Изучение радиационных условий в околоземном космическом пространстве (эксперимент АРИНА)» – автор С.В. Колдашов.

В лабораторных работах используются в основном научноисследовательская аппаратура, созданная в Институте космофизики МИФИ, а научная информация, с которой работают студенты, поступает в МИФИ практически в режиме реального времени.

Естественно, что в этом случае рабочее место студента, выполняющего лабораторную работу, не отличается от рабочего места дипломированного сотрудника Института космофизики МИФИ. В свободное от учебного времени рабочее место может быть использовано дипломниками и аспирантами.

Каждая лабораторная работа-практикум имеет два уровня по сложности поставленной задачи. Первый, более простой, выполняется всеми студентами слушающими курс «Прикладная ядерная космофизика», второй – студентами, желающими совершенствовать свои знания и выполнять научно- исследовательскую работу по этой тематике. В этом случае осуществляется естественный переход от лабораторной работы к НИРСу.

Выполнение представленных лабораторных работ требует от студентов знания (прослушивания соответствующих курсов): физики космических лучей, методов регистрации частиц, методов обработки результатов, измерений, программирования, знания английского языка в пределах программы МИФИ. С другой стороны выполнение этих работ будет способствовать повышению знаний студентов по перечисленным дисциплинам. Особо отметим, что перечисленные работы способствуют улучшению инженерной подготовки наших студентов.

Создание подобного лабораторного практикума стало возможным при реализации Инновационной образовательной программы Московского инженерно-физического института (государственного университета).

Проф. А.М. Гальпер

#### Лабораторная работа №1

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ БЛИЖНЕГО КОСМОСА

# **Цель работы:** ознакомление студентов с методикой расчета физических характеристик аппаратуры для исследования космических лучей.

#### Введение

Для расчета физических характеристик аппаратуры для исследования космических лучей широко используются стандартные программные комплексы. Одним из самых распространенных является библиотека программ GEANT. В данной работе требуется составить программу для расчета характеристик прибора АРИНА, используя GEANT4. Так как составление такой программы – сложный и трудоемкий процесс, требующий глубокого понимания языка программирования С++, в работе используется интерфейс МОМО. Это облегчает и ускоряет работу.

Эксперимент "АРИНА", поставленный на космическом аппарате «Ресурс-ДК» №1, направлен на исследование потоков частиц в околоземном космическом пространстве (ОКП). Стационарные потоки частиц в ОКП формируются потоками галактических космических лучей (ГКЛ), потоками вторичных космических лучей, образующихся при взаимодействии ГКЛ с остаточной атмосферой Земли (частицы атмосферного альбедо), и частицами радиационного пояса Земли.

#### 1.1. Спектрометр "АРИНА". Краткое описание

Специализированная аппаратура для регистрации потоков высокоэнергичных электронов и протонов была разработана МИФИ. Ее физическая схема приведена на рис. 1.1.

Многослойный сцинтилляционный детектор (С1, С2,..., С10) является главной частью прибора.



Рис. 1.1. Физическая схема спектрометра "АРИНА"

Заряженные частицы (электроны, протоны), движущиеся в прямом направлении (сверху вниз) и попадающие в апертуру прибора, проходят последовательно через детекторы C1, C2 C3 и т.д., теряют энергию и поглощаются в приборе. Частицы обратного направления и частицы прошедшие через весь прибор отсекаются детектором C10, включенным в антисовпадение. Таким образом, остановившиеся в веществе прибора частицы – электроны с энергиями 3–30 МэВ и протоны с энергиями 30–100 МэВ. Частицы идентифицируются по их энерговыделению (амплитуде сигналов с фотоумножителей) в каждом детекторе и пробегу в приборе. При этом учитывается, что электроны имеют малое энерговыделение во всех детекторах спектрометра, поскольку они – ультрарелятивистские, а протоны (30–100 МэВ) – значительно большее энерговыделение.

Для осуществления электрон-протонного разделения и отсечения шумов электроники в приборе устанавливаются два порога по энерговыделению (амплитуде импульсов) в детекторной системе  $(U_1 \text{ и } U_2, \text{ причем } U_2 > U_1)$ : – порог  $U_1$  для отсечения шумов электроники и выделения импульсов, связанных с регистрацией частиц (электронов и протонов);

– порог U<sub>2</sub> для режекции электронов и выделения протонов, имеющих большое энерговыделение.

Тогда импульс, имеющий амплитуду в пределах  $U_1 - U_2$ , связан с регистрацией электронов, а если амплитуда превышает  $U_2$ , то регистрируется протон.

Энергия электронов и протонов измеряется по их пробегу в детекторах прибора.

Спектрометр позволяет проводить измерения энергетических спектров частиц и их эволюцию, определять временные профили всплесков частиц с высоким временным разрешением, может работать в высокоинтенсивных потоках частиц. Светосила прибора, определяемая конфигурацией и расположением его детекторов (С1, С2 и С3) составляет величину порядка 10 см<sup>2</sup>ср, что в несколько десятков раз выше, чем светосила аппаратуры, с помощью которой были получены основные результаты по наблюдению сейсмических эффектов в потоках частиц.

Его основные физические и технические характеристики приведены в таблице 1.1.

#### Таблица 1.1

1.	Геометрический фактор		10 см <sup>2</sup> ср
2.	Апертура		±30°
3.	Энергетические диапазоны	для протонов	(30–100) МэВ
		для электронов	(3-30) МэВ
4.	Энергетическое разрешение	для протонов	10 %
		для электронов	15 %
5.	Временное разрешение		100 нс
6.	Масса		8,6 кг
7.	Потребляемая мощность		13,5 Вт

Физические и технические характеристики спектрометра "АРИНА"

Эксперимент "АРИНА" осуществляется на низкоорбитальном космическом аппарате «Ресурс-ДК» №1 с параметрами орбиты: высотой в пределах 350–600 км и наклонением 70°. Спектрометр "АРИНА" установлен в приборном гермоконтейнере. Толщина вещества в поле зрения спектрометра составляет около 0,5 г/см<sup>2</sup>. Основной ориентацией спутника является орбитальная. В этом случае ось спектрометра "АРИНА" будет перпендикулярна плоскости орбиты космического аппарата, и реализуются оптимальные условия для регистрации под радиационным поясом высыпающихся частиц.

## 1.2. Описание используемого программного обеспечения

Для обработки первичной базы данных по эксперименту используется интегрированная среда разработки: Momo (stand-alone version). Momo упрощает разработку программ для Geant4 и включает:

1) редактор геометрии прибора GGE (Geant4 Geometry Editor).

2) редактор физических процессов GPE (Geant4 Physics Editor).

3) генератор "makefile", отражающий установленные опции (environment variables).

4) генератор основной программы (main C++ program)

5) средство исполнения программы.

Подробное описание работы Мото приводится в Приложении 1.

#### 1.3. Состав лабораторной установки

Состав лабораторной установки включает в себя аппаратные и программные средства: рабочую станцию Fortice W7300, на которой установлена операционная система Scientific Linux, пакет Geant4, интегрированная среда Momo.

#### 1.4. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством прибора "АРИНА", методикой разработки программ расчета характеристик приборов, описанием используемого программного обеспечения и составом лабораторной установки.

2. Используя таблицы GPE выбрать следующие частицы: протон, электрон, позитрон, гамма-квант. Задать необходимые процессы взаимодействия.

- 3. Сохранить данные в файле ArinaPhysicsList.g4ph
- 4. Сгенерировать код
  -> make C++ file -> save in src/
  -> make header file -> save in include/
- Загрузить файл с описанием прибора "АРИНА": -> GGE -> load file -> Arina.g4dt
- 6. Сгенерировать код.
  - -> make C++ file -> save in src/
  - -> make header file -> save in include/
- 7. Задать имя основной программы Arina.
- 8. В меню Project:
  - a) make main program -> save
  - b) make Makefile -> save here
  - c) compile
- 9. Выполнить программу:

GAG -> Geant4 -> Start -> file chooser -> выбрать Arina

задать /control/execute -> file chooser -> Arina.his -> OK

10. Наблюдать треки частиц. Дать физическое объяснение наблюдаемым трекам.

11. Набрать статистику и определить энергетический диапазон, в котором прибор "АРИНА" способен регистрировать и разделять протоны и электроны.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислить основные процессы взаимодействия протонов в приборе "АРИНА".

2. Перечислить основные процессы взаимодействия электронов в приборе "АРИНА".

3. Почему протоны и электроны имеют разную длину пробега в приборе "АРИНА".

4. Предложите метод, позволяющий определить поток протонов и поток электронов. В каком энергетическом диапазоне это возможно для прибора "АРИНА".

#### Лабораторная работа №2

#### ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И КОМПОНОВКА КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

#### Цель работы:

- ознакомление студентов с основными принципами построения трехмерных моделей и компоновки космофизических приборов;
- определение технических характеристик (массы, моментов инерции) механических конструкций аппаратуры;
- ознакомление с основными требованиями, предъявляемыми к разработке габаритно-установочных чертежей на космофизическую аппаратуру;
- ознакомление с правилами оформления конструкторской документации согласно ЕСКД.

#### Введение

В настоящее время при конструировании сложных изделий наибольшую популярность приобретают системы трехмерного моделирования. Прежде всего, благодаря тому, что это позволяет наглядно оценить конструкцию, а также взаиморасположение отдельных деталей. После создания трехмерной модели такие системы позволяют создавать двухмерные проекции компонентов, оформлять двухмерные чертежи, рассчитывать технические свойства деталей и конструкции в целом.

Одной из таких программ является программа Inventor 11 производства компании Autodesk. На примере работы в данной программе и строится выполнение данной лабораторной работы. Она состоит из краткого ознакомления с возможностями программы в области создания трехмерных моделей, раздела посвященного оформлению конструкторской документации и методам получения предварительных технических параметров разрабатываемой установки.

Autodesk Inventor позволяет проводить проектирование как сверху вниз, так и снизу вверх. В первом случае, сначала создается

габаритная модель, а затем происходит деталировка. Во втором, изделие создается из уже существующих деталей. Для облегчения работы в программе используется возможность создания адаптивных деталей, которые могут изменять свои параметры в зависимости от изменения конструкции прибора в целом.

Конечным результатом работы разработчика является конструкторская документация или, более просто, комплект правильно оформленных чертежей на изделие. В Autodesk Inventor генерация чертежей и общих видов происходит автоматически на основе созданных трехмерных моделей. Проставленные в чертеже размеры являются полностью ассоциативными, т.е. при изменении размеров в модели, автоматически изменяются и размеры в чертеже.

В данной работе рассмотрение ограничено созданием макета некоторого изделия. Основной целью является обзор возможностей современных средств трехмерного моделирования при проектировании различных видов аппаратуры.

Дано краткое описание методов создания трёхмерных моделей, необходимых в процессе изучения данного курса.

Рассматривается создание сборок из готовых деталей. Предполагается самостоятельная работа студента по компоновке неких объёмных элементов по предложенной преподавателем схеме.

Изучается основные требования к оформлению чертежей. В зависимости от задания количество проекций и разрезов деталей и сборок может изменяться на усмотрение преподавателя.

#### 2.1. Порядок выполнения работы

#### 2.1.1. Трехмерное моделирование

#### Создание детали

Запустите программу "AUTODESK", INVENTOR 11.

В меню Файл выберите команду Создать. В появившемся диалоговом окне выберите шаблон для построения трёхмерных деталей – **Обычный.ipt** (Standart.ipt) (рис. 2.1).

C	)ткрыть	
	Действия	Создание файла - выбор шаблона
	<b>обучение</b>	По умолчанию Британские Метрические
	B	
	Создать	

Рис. 2.1. Создание детали

Автоматически откроется режим эскиза новой детали.

В левой части экрана (по умолчанию) автоматически откроется панель **2D** эскиз (**2D** Sketch) (рис.2.2) с названиями операций около иконок инструментов. В последующем названия операций можно скрыть, поставив флажок Эксперт (Expert).



Рис. 2.2. Панель «2D эскиз»

Под панелью «2D эскиз» расположено дерево браузера, в котором отображаются элементы проектируемых деталей и наложенные на них функции. Для удобства навигации используются функции с верхней панели программы:

Зскиз ▼ – создание эскиза.

2. \_\_\_\_\_ – повернуть.

3. — вид на объект. Позволяет повернуть деталь требуемой плоскостью.

Рассмотрим создание детали на примере построения цилиндра диаметром 5 мм и высотой 10 мм.

Построение можно выполнить двумя способами:

#### Способ 1. Метод выдавливания сечения

В данном методе контуру двухмерного сечения добавляется глубина. Выдавливание может быть как параллельным, так и основанным на расширяющемся либо сужающемся конусе, с изменяемым углом.



Рис. 2.3. Построение окружности

Создание детали:

1. Создайте новую деталь на основе шаблона Обычный.ipt (Standart.ipt). Автоматически будет открыт режим работы в эскизе.

2. В меню 2D эскиз (2D Sketch) выберите инструмент

Окружность: центр 🖸

3. Обозначьте центр окружности и начертите её.

4. Выберите инструмент

**Размеры** (General Dimension) В меню **2D эскиз (2D Sketch)** и щелкните им по окружности. Отведите в сторону появившуюся размерную линию. Установите размер диаметра 5 мм (рис. 2.3).

5. Выйдите из режима работы инструмента нажав кнопку Esc или выберите данную операцию после нажатия на правую кнопку мыши.

6. Выйдите из режима эскиза, нажав на кнопку **Возврат** (Return) на стандартной панели инструментов.

7. В появившемся меню Конструктивные элементы (Part Fea-

tures) выберите инструмент Выдавливание (Extrude) (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Выдавливание

8. Если эскиз простой (содержит одну замкнутую геометрическую форму) то он пометится автоматически, в противном случае следует выбрать необходимый контур. В диалоговом окне функции Выдавливание в опции Ограничение (Extents) установите расстояние 10 мм. По умолчанию в окошке стоят параметры: Расстояние (Distance), Тело (Solid) (раздел *Результат* (Output)), Объединение (Join) (в разделе логических операций).

9. Нажмите кнопку Ок.

Если эскиз состоит не из нескольких контуров, то необходимо обозначить границы выдавливаемых объектов, нажав на кнопку эскиз. При этом помеченные объекты будут выделены фоном.

На рис. 2.5 изображены примеры деталей, построенных выдавливанием из эскиза.

Если деталь имеет более сложную форму, то её можно создать за несколько приемов, создавая новые эскизы на уже созданных поверхностях. Если вместо функции **Выделение** на вкладке **Выдавливание**, выбрать функцию **Вычитание** то можно «убрать» лишние части детали (рис. 2.6).





Рис. 2.5. Детали полученные методом выдавливание

Рис. 2.6. Вычитание объема

#### Способ 2. Метод вращения сечения

1. Создайте новую деталь на основе шаблона Обычный.ipt (Standart.ipt).

2. Нарисуйте прямоугольник (Two point rectangle)

3. Выберите инструмент Размеры (General Dimension) меню **2D эскиз (2D Sketch).** Задайте размеры прямоугольника сторонами 2,5 × 10 мм.

4. Выйдите из режима эскиза, нажав на кнопку Возврат (Return)

5. Выберите функцию **Вращение** (Revolve) <sup>(1)</sup>. Эскиз пометится автоматически.

6. Выберите длинную сторону прямоугольника в качестве оси вращения (рис. 2.7).

7. Нажмите кнопку «ОК».





Рис. 2.7. Построение цилиндра методом вращения

Ось при построении деталей может находиться и вне контура эскиза. Для этого, кроме контура создаваемой детали, необходимо создать линию, которая будет являться осью симметрии элемента. Методом вращения удобно создавать различные детали с осевой симметрией (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Примеры деталей полученных методом Вращение

#### Задание 1

Создадим модель разъема РС19.

Методом вращения создайте кольцо с параметрами:

- внешний диаметр 18 мм.
- внутренний диаметр 17 мм.
- высота 8 мм.

Подсказка 1:

• Выделите верхнюю плоскость получившегося кольца и нажмите кнопку Рабочая плоскость (Work Plane). Наведите курсор мыши выделенную на плоскость и нажмите на левую кнопку мыши. При курсора смещении появится счетчик смещения рабочей плоскости относительно исходной. В зависимости от того, какую из двух плоскостей вы вы-



брали, значения смещения будут с знаком «+» или «-» сместите плоскость на 2 мм в сторону к центру кольца.

• Нажмите кнопку Enter.

• Выделите новую рабочую плоскость и нажмите кнопку Эскиз (Sketch).

• Для того чтобы отобразить сечение кольца на новом эскизе нажмите кнопку **Проецировать геометрию** (Project Geometry). Наведите курсор на грань кольца.

• Используя центр спроецированной окружности, как центр координат, постройте квадрат и четыре круга, как показано на подсказке 2 (рис. 2.10).

• Методом выдавливания завершите создание площадки разъема глубиной 2 мм.



Рис. 2.10. Подсказка 2

#### 2.1.2. Изменение физических параметров детали

Изменим физические характеристики созданной нами детали. 1. Описанным выше способом, создайте куб с ребром 100 мм.

2. В меню Файл (File) выберите подменю Свойства Inventor....

🖻 Свойства Детали3 🛛 🗙	
Общие Документ Проект Статус Прочие Сохранение Физические	
Материал	
Сталь нержавеющая	
Плотность Требуемая точность Буфер обмена	
8,080000Е-006 кг/мм^3 Низкое	
Свойства документа	
Включить косметическую сварку Сизменением величины	
Macca 8,0800000E+000 F X 2,3000000E+001 r	
Площадь 6,0000000E+0041 Y -3,7000000E+001	
Объем 1,0000000E+006 г 📾 Z 5,0000000E+001 г	
Инерционные свойства	
Главные Общее Центр тяжести	
Главные моменты	
I1 1,3466667E+0 I2 1,3466667E+0 I3 1,3466667E+0	
Поворот осей	
Rx 0,0000000E+0 Ry 0,000000E+0 Rz 0,000000E+0	
ОК Отмена Применить	

3. Зайдите на вкладку Физические (рис. 2.11).

Рис. 2.11. Общий вид вкладки физических параметров

В данном окне можно задать материал, из которого в последующем планируется изготовить деталь. Также в нём автоматически проводится расчет объема детали, моментов инерции и центра тяжести.

4. Выберите в меню **Материал** один из материалов. Сравните изменения массы детали и других её характеристик, при изменении вида материала. Если расчет не происходит автоматически необходимо нажать кнопку **Включить косметическую сварку**.

5. Попробуйте удалить часть детали функцией Вычитание (Cut). Для этого:

• Создайте на поверхности элемента эскиз.

• Нарисуйте прямоугольник, один из углов которого совмещен с углом куба.

• Выберите инструмент Выдавливание (Extrude)

• Поменяйте метод выдавливания на Вычитание (Cut)

• Пометьте контур вашего прямоугольника и задайте глубину выдавливания 50мм.

• Нажмите кнопку Ок.

6. Сравните изменения моментов инерции для начального и получившегося элемента.

#### 2.1.3. Создание сборок

Выше было рассмотрено создание одиночной детали, теперь перейдём к компоновке изделия. На компьютере уже имеется папка с подготовленными деталями «Прибора», путь к ней задан «по умолчанию».

Для обозначения взаимной ориентации деталей используется функция **Наложить зависимости** (Place Constraint) . После нажатия на соответствующую кнопку на панели «Изделие» автоматически включится вкладка **Выбор** (рис. 2.12).

	Зависимости в изделии С Х Статические Динамические Управляющие Тип Выбор Выбор Сдвиг: 0,0 Вариант 0,0 С Вариант
	ОК Отмена Применить
*1	

Рис. 2.12. Наложение зависимостей на детали

Цифрой 1 обозначается грань либо ось зависимого компонента. После выбора зависимой грани, выбирается грань «базового» компонента (обозначена цифрой 2). В окне Сдвиг можно задать расстояние между выбранными гранями. В окне Вариант вкладки Совмещение (Mate) и Заподлицо (Flush) отвечают за ориентацию граней совмещаемых деталей. При варианте Совмещение плоскости совместятся пормалями «друг к другу», если использовать Заподлицо то нормали плоскостей будут сонаправленны. Задавая зависимости для разных плоскостей, можно изменять взаимоположение компонентов больших сборок. Зависимости можно поменять в дереве браузера, раскрыв вкладку детали и кликнув левой кнопкой мыши на интересующей зависимости. В нижней левой части экрана появится окно, в котором можно изменять значение сдвига зависимостей.

Пример для освоения данного инструмента.

1. В меню Изделие (Assembly Panel) нажмите кнопку Вставить компонент (Place Component) . Из папки *D:/лабораторная работа* выберите *Основание.ipt* и нажмите кнопку Открыть. Аналогично вставьте деталь *Стенка боковая.ipt*.

2. Включите функцию Наложить зависимости (Place Constraint)

3. Проверьте, что включена функция **Просмотр образца** 

4. Выберите большую плоскость детали *Стенка боковая*. На ней появится красная стрелка как показано на рис. 2.13. Аналогично выберите вторую плоскость на элементе *Основание*.



Рис. 2.13. Положение центра масс

5. Попробуйте поменять вариант ориентации Совмещение на Заподлицо.

6. Закройте файл не сохраняя.

Задавая зависимости таким образом, можно добиться жесткой ориентации всех элементов сборки относительно друг друга.

Для сборки конструкций из уже готовых изделий:

1. Создайте новую сборку на основе файла Обычный.jam (Standart.jam)

2. Вставим первый компонент. В меню Изделие (Assembly Panel) нажмите кнопку Вставить компонент (Place Component) Из папки *D:/лабораторная работа* выберите Основание.ipt и нажмите кнопку Открыть. При нажатии на левую кнопку мыши деталь «закрепляется» в рабочей области. Повторив нажатие на кнопку можно вставить в сборку второй экземпляр детали.

3. Вставьте так же компоненты: лицевая панель, крышка, компонент1, компонент2, стенка задняя и два компонента стенка боковая (для этого, при вставке компонента, нужно нажать на левую кнопку мыши два раза).



Рис. 2.14. Сборка

4. Используя функцию Наложить зависимости, соберите компоненты так как показано на рис. 2.14 (одна из боковых панелей и крышка условно показаны сдвинутыми). Сохраните данную сборку под именем Прибор.jam.

5. В программе имеется встроенная функция, рассчитывающая центр масс получившейся сборки. Для того чтобы включить эту функцию, зайдите в меню **Вид** и поставьте галку на функции **Центр масс**. После изменения положения компонентов

в сборке, а также их добавлении/удалении функцию требуется перезапустить. Отключение функции проводится аналогично.

6. Для проверки работы функции соберите прибор так, как показано на рисунке. И перезапустите функцию. На рис. 14 показаны центры масс при различном расположении компонентов в одной из проекций.

Для создания «этажерок» из деталей воспользуйтесь функцией Массив компонентов . Направление «роста» массива задается

Массив компонентов	
Компонент	
ම් මී:මී   දීම   Столбцы	
N. # X	
•••• 2 ul 🕨 🔮 2 ul 🕨	
▲ 10 MM ▲	
ОК Отмена	

Рис. 2.15. Массив элементов

#### 2.2. Оформление чертежа

Основной задачей процесса конструирования прибора является получение оформленных соответствующим образом двухмерных чертежей.

Созданная в программе трёхмерная модель детали либо сборки в целом в любой момент может быть представлена в виде двумерного чертежа, как главных видов, так и изометрической проекции и в разрезе. Проставленные на чертеже размеры находятся в зависимости от состояния модели и автоматически изменяются при её изменении. В последних версиях программы существует возможность поддержки ЕСКД, что значительно облегчает оформление чертежа согласно ГОСТа.

В режиме оформления чертежа имеются три используемые панели:

1. Виды чертежа.

2. Поддержка ГОСТ. Эта панель так же имеется в виде всплывающего меню.

3. Пояснительные элементы.

Виды чертежа 🔻
Поддержка ГОСТ
Пояснительные элементы
🗸 Эксперт

#### 2.2.1. Создание чертежа

1. Создайте новый файл на основе шаблона ГОСТ.idw.

2. На панели Виды чертежа нажмите кнопку Главный вид

, в открывшемся окне Вид рисунка (рис. 2.16.) нажмите на

кнопку **Обзор папок** Выберите созданную ранее сборку *Прибор1.jam*. В окне **Направление** можно менять ориентацию сборки по заданным правилам, либо используя функцию **Изменить** 

ориентацию вида 🖾 задать необходимое положение вручную. Далее достаточно щелкнуть левой кнопкой мыши на чертёжном поле.

Вид рисун	ка			<u>ا</u> ها	×
Компонент	Состояние моделирования	Параметры отображения		( Направление	
Файл				Сперели (ХҮ)	
<выберит	е документ>		- A	Текуший Сверху Снизу Справа Сзади Изометрия сверху справа Изометрия сверху слева Изометрия онизу слева Изометрия онизу слева	
				🔬 Проецирование: 🕣 🕀	
Масштаб	Q 1:1	Обозначение		Стиль	
2 00	50 <sup>1</sup>			ОК Отмена	

Рис. 2.16. Панель «Вид рисунка»

Полученный таким образом вид является базовым. Его можно передвигать по чертёжному полю.

Создадим другие проекции прибора.

3. Нажмите кнопку Проекционный вид



4. Щелкните указателем мыши по главному виду.

5. Переместите указатель вправо и щелкните левой кнопкой мыши. На появившемся поле вида щелкните правой кнопкой мыши и выберите функцию Создать. Получившийся вид связан с базовым и имеет ограничения по своему перемещению. Таким же образом создайте вид сверху и изометрический вид прибора. Результат представлен на рис. 2.17.



Рис. 2.17. Проекции модели

#### 2.2.2. Выпуск чертежа

- 1. Переключитесь на вкладку Поддержка ГОСТ.
- 2. Выберите функцию Формат (рис. 18).
- 3. В окне Тип документа выберите Чертёж ЕСКД.
- 4. В окне Формат задайте формат А4 с кратностью 1.

5. Укажите вертикальную ориентацию листа в соответствующем окне.

6. Поставьте галку напротив надписи Вкладка *Формат* (рис. 2.18) **Первый** в окне **Лист** 

7. Нажав на кнопку **Редактировать основную надпись**, можно внести изменения в штампе листа.

🗺 Формат	_	×
Тип документа		
Чертеж ЕСКД		•
Формат формат А4 • кратность 1 •	Ориентация О Горизонтальный • Вертикальный	
Лист Первый С следующий	<ul> <li>Автонумерация с</li> <li>Расставить зоны с</li> <li>Дополнительные пол</li> </ul>	1 1 я
2 🕙 📾 🔹 📓	ОК От	мена

Рис. 2.18

Не всегда при первоначальном создании базового вида удается подобрать правильный масштаб деталей. Для его изменения щелкните правой кнопкой мыши на главном виде и выберите функцию Редактировать вид. В окне Масштаб можно выбрать одно из рекомендуемых значений, либо ввести свой параметр. Так же на этой вкладке можно менять «прозрачность» вида детали, применяя различные варианты отображения в окне Стиль.

#### 2.2.3. Простановка размеров детали

#### 1. Переключитесь на вкладку Пояснительные элементы

2. Выберите функцию Размеры

3. Проставьте необходимые размеры, помечая необходимые точки указателем мыши (рис. 2.19).

В программе Inventor 11 нет собственной функции расчёта центра масс изделия на двухмерном чертеже. Для получения данной точки используется надстройка **Таір**. Окно с кнопками данной надстройки находится в правом верхнем углу окна программы.

Для обозначения центра масс:

 Выберите один из видов чертежа.

2. Нажмите на кнопку функции **Центр масс** 

3. В браузере чертежа выберите вид, в котором хотите обозначить центр масс.

4. Откройте вкладку этого вида, а затем вкладку необходимой детали либо сборки (рис. 2.20).

5. Найдите обозначение точки **Центр масс** и щелкните по нему правой кнопкой мыши.

6. Выберите функцию **Види**мость.

7. Повторите на всех видах, где это необходимо.



Рис. 2.19. Габаритные размеры



Рис. 2.20. Браузер чертежа

#### 2.3. Изучение характеристик прибора

#### Задание 2

В завершении лабораторной работы необходимо самостоятельно собрать макет прибора, используя базу заранее созданных деталей, и на его основе оформить его габаритный чертеж. В приведенной ниже таблице приведено 20 вариантов компоновки, в соответствии с которым будут меняться выбираемые для сборки Вами детали.

По согласованию с преподавателем выберите номер варианта и количество элементов располагаемых внутри конструкции. Соберите сборку и создайте габаритный чертеж.

					Dupin					
Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дно	1	2	3	4	1	2	3	2	1	4
Крышка	1	2	3	4	2	3	4	4	2	1
Панель	1	2	3	4	3	4	1	1	3	2
Стенка	1	2	3	4	4	1	2	3	6	4
Боковина	1	2	3	4	1	2	3	4	3	1

Вариант	№
---------	---

	Вариант №									
Компонент	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Дно	3	1	3	4	1	2	3	2	3	4
Крышка	1	3	1	1	3	3	4	3	1	1
Панель	3	2	3	3	1	3	1	1	2	2
Стенка	5	6	7	8	3	2	8	5	4	3
Боковина	2	1	3	3	2	1	3	4	3	1

#### Контрольные вопросы

1. Чем объемное моделирование отличается от двухмерного черчения?

2. Чем полезна конструктору возможность получения физических параметров проектируемого изделия?

3. Для чего создана ЕСКД?

4. Каким образом в Autodesk Inventor можно создать чертежи детали?

5. Как производится сопряжение деталей при создании сборки?

#### Лабораторная работа №3

#### ИЗУЧЕНИЕ АМПЛИТУДНЫХ И ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРНЫХ СИСТЕМ КОСМОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ, ПРОГРАММИРОВАНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

**Цель работы:** ознакомление студентов с детекторами и аппаратурой, использующимися в экспериментальных установках для глобального физического мониторинга на борту искусственных спутников Земли (ИСЗ) и методами определения их характеристик.

#### Введение

#### Задачи исследований космического излучения

Одной из важнейших целей космических исследований является изучение характеристик и природы космического излучения (протоны, электроны и ядра различных химических элементов) в космическом пространстве.

Космическое излучение в околоземном космическом пространстве имеет связь с процессами, происходящими на Земле. Поэтому проводятся исследования, которые могут позволить использовать данные о космическом излучении для предсказания явлений, происходящих в атмосфере и коре Земли (например, предсказание землетрясений).

В связи с развитием пилотируемой космонавтики большую важность приобрело изучение радиационной обстановки в космическом пространстве, для обеспечения, в частности, безопасности космонавтов. При этом важно знать дозы облучения как в стационарных условиях, так и во время солнечных вспышек.

Кроме указанных прикладных задач, исследования космического излучения призваны решать и проблемы фундаментальных наук, например, космологии, рассматривающей происхождение и эволюцию вещества во Вселенной и различных ее объектов (галактик, звезд и других образований). Эти исследования предоставляют также возможность изучать процессы взаимодействия частиц при сверхвысоких энергиях, недоступных для ускорителей.

Земная атмосфера поглощает все первичное космическое излучение, кроме нейтрино, что не позволяет проводить его изучение на поверхности Земли. Исследования вторичного космического излучения хотя и позволяют восстановить энергетический спектр первичного космического излучения при сверхвысоких энергиях по наблюдениям на наземных астрофизических станциях, однако наиболее эффективным и прямым способом изучения первичного космического излучения остается исследование с борта космического аппарата.

#### Принципы построения аппаратуры для исследования космического излучения

Общая схема построения астрофизической аппаратуры для регистрации космического излучения предусматривает, как правило, две группы детекторов: детекторы предварительного отбора событий и детекторы, измеряющие те или иные характеристики излучения, хотя во многих случаях детекторы совмещают обе упомянутые функции.

К детекторам отбора относятся в первую очередь детекторы, задающие апертуру прибора. Чаще всего это – пластмассовые сцинтилляционные детекторы большой площади. Детекторы отбора позволяют исключить регистрацию фоновых внеапертурных событий, так как для таких событий их характеристики не могут быть измерены с достаточной точностью. Это важно из-за ограниченности объема информации, которая может быть размещена в памяти бортовой ЭВМ и передана на Землю. Для запуска системы считывания информации со всех детекторов вырабатывается сигнал совпадения с нескольких, расположенных соосно и параллельно детекторов отбора. Кроме того, используются детекторы антисовпадений, запрещающие считывание информации для событий, когда в эти детекторы попадают внеапертурные или вторичные частицы. Часто также проводится отбор по времени пролета частицы между быстрыми сцинтилляционными детекторами и направлению (знак интервала времени), а также по скорости частицы (детекторы пере-30

ходного излучения, черенковские детекторы). Отклик некоторых детекторов зависит от типа регистрируемой частицы. Так, нейтронные детекторы могут использоваться для разделения протонов, дающих значительное количество нейтронов при развитии адронного каскада, и электронов, вызывающих каскад электромагнитного типа.

К измерительным детекторам относятся координатные детекторы, позволяющие определить направление движения регистрируемой частицы, и различные типы калориметров для определения энергии частиц.

В качестве координатных детекторов могут быть использованы наборы узких полос или волокон сцинтиллятора, а в последнее время преимущественно используются кремниевые стриповые детекторы, в которых заряд, выделенный в веществе детектора, собирается на узкие проводящие полоски (стрипы), расположенные с шагом в несколько миллиметров. Во всех случаях используются пары координатных детекторов с взаимно перпендикулярной ориентацией чувствительных элементов для определения двух декартовых координат точек прохождения частиц через детектор.

Калориметры представляют собой массивные детекторы, толщиной в 20 и более радиационных длин, либо из сцинтиллятора большой плотности, либо из слоев металла большой плотности (Pb, W), перемежающихся стриповыми детекторами. Энергия, выделенная в калориметре в процессе развития электромагнитного ливня (для электронов и гамма-квантов высокой энергии) или адронного ливня (протоны), пропорциональна энергии регистрируемой частицы. При наличии в составе калориметра стриповых детекторов видна картина развития ливня, что позволяет отличать разные виды частиц.

### Получение данных о космическом излучении с астрофизической аппаратуры

По данным установки в ходе наземной обработки поступающей информации можно определить следующие характеристики космического излучения:

 по сочетанию откликов различных детекторов с использованием данных, полученных при облучении установки в пучках частиц на ускорителях, определяется тип регистрируемой частицы;

 по данным координатных детекторов определяется направление движения частицы, что нужно для изучения источников как первичного космического излучения в межпланетном пространстве, так и захваченного излучения в околоземных радиационных поясах;

 по данным с калориметра определяется энергия каждой частицы и строятся энергетические спектры излучения разных видов и от различных источников.

#### 3.1. Содержание лабораторной работы

#### 3.1.1. Общие положения

Настоящая лабораторная работа призвана дать студентам представление о реальной физической аппаратуре, применяемой для исследований космического излучения на борту искусственных спутников Земли (ИСЗ).

Работа проводится с использованием вторичного космического излучения на уровне земной поверхности, которое состоит [1, 2, 3] преимущественно из мюонов, поток которых приближенно можно оценить величиной 0,5 [см<sup>-2</sup> ср<sup>-1</sup> мин<sup>-1</sup>], заряженных адронов, преимущественно протонов с примесью пионов с дифференциальным спектром D(E) =  $(3,0 \pm 0,5) \times 10^{-7}$  (E (ГэВ)/300)<sup>-3,05±0,4</sup> [м<sup>-2</sup> ср<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup> ГэВ<sup>-1</sup>] и нейтронов со спектром, близким к спектру адронов. Отметим также примесь электронов и позитронов, которых в 100 раз меньше, чем протонов, при этом электронов примерно вдвое больше, чем позитронов.

В лабораторную установку входят образцы двух детекторов: ливневого сцинтилляционного детектора и нейтронного детектора, созданные российскими участниками российско-итальянского магнитного спектрометра "ПАМЕЛА", запущенного на орбиту на борту ИСЗ «Ресурс ДК-1» 15 июня 2006 года. В работе используются подлинные так называемые "технологические" образцы детекторов, которые полностью тождественны "летным" образцам, функционирующим на борту ИСЗ, и применялись для отработки и испытаний аппаратуры.

#### 3.1.2. Магнитный спектрометр "ПАМЕЛА"

Основным детектором магнитного спектрометра "ПАМЕЛА" (рис. 3.1) является трековая система из шести спаренных (для измерения двух взаимно перпендикулярных координат на плоскости)



Рис. 3.1. Схема спектрометра "ПАМЕЛА":

1, 3, 7 – времяпролетная система; 2 – охранные детекторы; 4 – сцинтилляционные детекторы антисовпадений; 5 – полупроводниковая стриповая координатная система (шесть двойных слоев); 6 – магнитная система (пять секций); 8 – полупроводниковый стриповый позиционно-чувствительный калориметр; 9 – ливневый сцинтилляционный детектор; 10 – нейтронный детектор; 11 – стенки гермоконтейнера спутника слоев кремниевых стриповых (полосковых) координатно-чувствительных детекторов, помещенных в однородное поле постоянного магнита напряженностью 0,4 Тл. Колодец магнита прямоугольной формы имеет размеры  $134 \times 164$  мм<sup>2</sup>. Трековая система фиксирует траекторию заряженной частицы. Знак заряда частицы определяется по направлению искривления ее траектории. Для выделения апертуры (чувствительного угла) прибора используются три сцинтилляционных счетчика S1...S3, которые дополнительно включены во времяпролетную систему, т.е. измеряется интервал времени между моментами регистрации частицы в каждом из этих детекторов, что позволяет определить направление движения частицы (из космического пространства или со стороны Земли) и импульс нерелятивистских частиц. Пролетная база между детекторами S1 и S3 составляет 77,3 см.

Для исключения фоновых частиц, входящих в спектрометр вне апертуры, магнит и трековая система окружены сверху и с боков сцинтилляционными детекторами антисовпадений. Ниже магнита расположен координатно-чувствительный калориметр, состоящий из 22 слоев вольфрама, прослоенных трековыми детекторами, аналогичными используемым в трековой системе. Общая толщина калориметра составляет 16 радиационных длин или 0,6 ядерных длин. Калориметр предназначен для измерения энергии регистрируемой частицы и определения профиля электромагнитного или адронного ливня, развивающегося в калориметре.

Ниже калориметра расположены сцинтилляционный ливневый детектор большой площади и нейтронный детектор, которые дополняют данные о ливне вторичных частиц, выходящем из калориметра. Данные с детекторов поступают в логические схемы, управляющие запуском процесса считывания данных в бортовую память спутника, из которой информация во время сеансов связи передается на Землю. Режимы работы спектрометра могут изменяться по командам с Земли.

Изучение двух последних типов детекторов, ливневого и нейтронного, интересно в первую очередь тем, что они по своим временным свойствам представляют два разных класса. Сцинтилляционные детекторы, а в особенности детекторы с пластмассовым сцинтиллятором, к которым относится ливневый детектор, являются быстрыми детекторами, с характерным временем срабатывания 34 после попадания в его рабочее вещество ионизирующей частицы  $10^{-9}$  с (несколько наносекунд). Поэтому они используются, вопервых, во временных измерениях и, во-вторых, для запуска процесса регистрации события всей системой детекторов и для подсчета числа регистрируемых частиц (их мертвое время мало). Входящий в лабораторную установку ливневый детектор предназначен для регистрации частиц электромагнитных и адронных ливней, развивающихся в калориметре. Информация с него позволяет повысить точность определения энергии в калориметре, дает дополнительную информацию для разделения частиц по типам и позволяет запускать нейтронный детектор для частиц высоких энергий, проходящих вне основного апертурного угла, что дает дополнительную научную информацию.

Нейтронный детектор регистрирует замедленные нейтроны при помощи газоразрядных счетчиков. Поэтому для него характерные времена составляют единицы микросекунд. Назначение нейтронного детектора – разделение (совместно с другими детекторами установки) электромагнитных и адронных ливней, так как они, вообще говоря, отличаются по числу возникающих в каскаде нейтронов, которые затем замедляются в слое легкого вещества, окружающего газовые счетчики, и затем их число регистрируется в этих счетчиках.

Сцинтилляционные детекторы в целом изучаются в лабораторной работе «Сцинтилляционный детектор» лабораторного практикума по курсу «Экспериментальные методы ядерной физики» [4]. В этой лабораторной работе акцент делается на спектрометрических свойствах неорганических сцинтилляторов. В предлагаемой лабораторной работе мы дополним знания студентов сведениями о более быстрых органических сцинтилляторах.

Органические сцинтилляторы характеризуются сравнительно малыми атомными номерами ( $\overline{Z} \sim 6$ ) и малой плотностью ( $\rho \sim 1 \div 2 \text{ г/см}^3$ ). Органические сцинтилляторы обладают хорошим временным разрешением ( $10^{-9} - 10^{-7}$  с). Эффективность же регистрации гамма-излучения такими сцинтилляторами мала, поэтому они чаще всего применяются для регистрации заряженных частиц. По энергетическому разрешению органические сцинтилляторы существенно уступают неорганическим, поэтому они обычно исполь-

зуются в системах детекторов отбора событий, в том числе отбора по времени пролета, чему способствует их хорошее временное разрешение, значительно более высокое, чем у неорганических сцинтилляторов. К органическим сцинтилляторам относятся органические кристаллы, жидкие и твердые растворы сцинтиллирующих веществ в мономерах и полимерах, а также органические газы.

Детекторы из органических сцинтилляторов могут быть изготовлены методом литья в виде пластин большой площади, что позволяет перекрывать апертуру астрофизических приборов, имеющих большие размеры. Будучи размещены под калориметрами – детекторами большой толщины, в которых измеряется энергия, выделенная каскадом вторичных частиц (электромагнитным ливнем при регистрации электронов и гамма-квантов и адронным ливнем при регистрации, например, протонов), такие детекторы используются в качестве детекторов утечки, то есть измеряют энергию ливня, выходящего из калориметра, так как амплитуда сигнала с детектора пропорциональна числу достигающих его частиц ливня. В этом случае информацию несет амплитуда сигнала с детектора.

#### 3.1.3. Сцинтилляционный ливневый детектор

В данной лабораторной работе изучаются режимы функционирования детектора большой площади на основе органического сцинтиллятора при наблюдении внутренних калибровочных импульсов от светоизлучающих диодов и проводится измерение спектра энерговыделений в этом детекторе частиц космического излучения на уровне моря.

Ливневый детектор состоит из пластины сцинтиллятора на основе полистирола площадью 498×498×10 мм, закрепленной внутри светонепроницаемого кожуха. На противоположных сторонах детектора закреплены четыре фотоэлектронных умножителя (ф.э.у.) типа ФЭУ-85, заключенные в светонепроницаемые стаканы из дюралюминия.

Внешний вид ливневого детектора показан на рис. 3.2.

Электроника детектора С4 выполняет следующие функции:

 передает через балластные резисторы, выравнивающие амплитуды на анодах ф.э.у., напряжение высоковольтного питания на фотокатоды ф.э.у.;


Рис. 3.2. Ливневый детектор спектрометра "ПАМЕЛА"

 принимает и суммирует сигналы со всех ф.э.у. счетчика (сумматор);

– усиливает сигналы в двух каналах, соответствующих нижнему (НД, до 30 о.р.ч. – однозаряженных релятивистских частиц) и верхнему (ВД, до 300 о.р.ч.) диапазонам измеряемых амплитуд;

 – формирует технологические сигналы для управления при измерении амплитуд при помощи ЗЦП (НД) и АЦП (ВД);

– формирует триггерные сигналы, соответствующие превышению порогов в 0,4 о.р.ч. (TH1), 50 о.р.ч. (TH2) и устанавливаемому по команде в окне 30 – 300 о.р.ч. (TH3);

– принимает от центрального процессорного устройства (ЦПУ) космического аппарата или от пульта проверки при наземной эксплуатации код команды, соответствующий новому значению верхнего порога дискриминации, изменяющегося в пределах 30– 300 о.р.ч., и преобразует его в напряжение на дискриминаторе порога ТН3; – при поступлении сигнала с ЦПУ вызывает вспышку калибровочных светоизлучающих диодов (СД).

Все перечисленные узлы электроники, кроме высоковольтных балластных резисторов и резисторов сумматора, задублированы в виде основного и резервного комплектов, используемых в режиме холодного резервирования, т.е. в каждый данный момент работает тот комплект, на который подано напряжение питания. Конструктивно узлы электроники размещены в двух блоках: Э1 и Э2. Блок Э1 содержит две платы, на которых размещены: на одной – основной (без сумматора), а на другой – резервный (с сумматором сигналов со всех ф.э.у. детектора) комплект узлов электроники, каждый из которых включает разветвитель, усилители и дискриминаторы. На этом блоке расположен разъем высоковольтного питания.

Блок Э2 содержит 1 плату, на которой смонтированы нерезервируемые балластные резисторы высоковольтного питания, а также основной и резервный узлы приема и преобразования кода порога и контрольных генераторов.

В ходе выполнения лабораторного задания изучаются методы настройки и выбора оптимального режима работы ливневого детектора. Настройка детектора заключается в выборе напряжения высоковольтного питания и подборе уровня дискриминации при формировании триггерного импульса, вырабатываемого ливневым детектором.

#### 3.1.4. Нейтронный детектор

Нейтронные детекторы изучаются в лабораторной работе "Газонаполненный пропорциональный детектор нейтронов" лабораторного практикума по курсу "Экспериментальные методы ядерной физики" [5].

В данной лабораторной работе в дополнение к вышеупомянутой лабораторной работе изучается функционирование нейтронного детектора в режиме коронного разряда, который применяется для увеличения эффективности регистрации нейтронов, и проводится измерение числа нейтронов космического излучения на уровне моря.

Нейтронный детектор (НД) магнитного спектрометра "ПАМЕЛА" предназначен для:

 – регистрации числа нейтронов, образующихся при взаимодействии высокоэнергичной частицы в калориметре прибора "ПАМЕЛА";

- непрерывной регистрации потока фоновых нейтронов.

Внешний вид нейтронного детектора со снятым кожухом показан на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Нейтронный детектор п/п спектрометра "ПАМЕЛА"

Нейтронный детектор имеет следующие технические данные:

- габаритные размеры 600×550×150 мм<sup>3</sup>;

- масса - не более 30 кг;

 суммарное энергопотребление по цепи 27 В не превышает 10 Вт.

В состав прибора НД входят блок детекторов БД, блок питания БП и блок интерфейса БИ.

Блок детекторов НД представляет собой конструкцию из гелиевых счетчиков СНМ-17, расположенных в два ряда – по 18 счетчиков в верхнем и нижнем ряду. Счетчики окружены полиэтиленовыми пластинами размером 18×424×424 мм<sup>3</sup>. Три пластины размещены над верхним рядом счетчиков, одна пластина – между рядами и одна пластина находится под нижним рядом счетчиков. Со стороны анодов счетчиков установлены платы усилителей. Блок детекторов закрыт защитным алюминиевым кожухом, обклеенным изнутри кадмием.

Счетчики CHM-17 работают в пропорциональном режиме с анодным напряжением 1650 В. Импульсы напряжения снимаются с анодов с помощью раздельных RC-цепей, усиливаются в 10 раз и поступают на компараторы, пороги которых устанавливаются для каждого счетчика индивидуально. Выходные импульсы компараторов запускают ждущие мультивибраторы, обеспечивающие стандартную амплитуду 4 В и длительность 1 мкс сигналов со счетчиков. Выходные сигналы ждущих мультивибраторов объединяются по ИЛИ отдельно для верхнего и нижнего рядов нейтронных счетчиков и поступают на входы двух 4-разрядных двоичных счетчиков. Результаты измерений этих двоичных счетчиков являются значениями фона нейтронов. С приходом триггерного сигнала от прибора "ПАМЕЛА" входы 4-разрядных двоичных счетчиков блокируются на время 200 мкс. В течение этого времени сигналы ждущих мультивибраторов всех 36 нейтронных детекторов объединяются по ИЛИ и поступают на вход 8-разрядного двоичного счетчика. Результаты измерений 8-разрядного двоичного счетчика являются значениями числа нейтронов от "события" - взаимодействия быстрой частицы в калориметре прибора "ПАМЕЛА". По истечении 200 мкс после триггерного сигнала НД вновь переключается на измерение фоновых нейтронов.

Блок питания БП служит для преобразования бортового напряжения 27 В в низковольтные напряжения ± 5 В и высоковольтное напряжение, которое может регулироваться в пределах 1700 – 2000 В, а также вырабатывает телеметрические сигналы о состоянии напряжений питания.

Блок интерфейса БИ выполняет следующие функции:

 по триггерному сигналу от прибора "ПАМЕЛА" переключается на счет нейтронов от взаимодействия высокоэнергичной частицы в калориметре прибора "ПАМЕЛА";

 принимает от прибора "ПАМЕЛА" 16-разрядное служебное слово;

 передает на прибор "ПАМЕЛА" два 16-разрядных слова: код НД и результат измерения;

– по окончании передачи информации переходит в режим измерений.

В работе изучаются методы настройки и выбора оптимального режима работы нейтронного детектора. Настройка детектора заключается в выборе напряжения высоковольтного питания, при котором срабатывание нейтронного детектора при регистрации нейтронов надежно выделяется на фоне шумовых импульсов.

## 3.2. Описание лабораторной установки

В составе установки – ливневый сцинтилляционный детектор большой площади (ЛД) и нейтронный детектор (НД), идентичные приборам, входящим в магнитный спектрометр "ПАМЕЛА", который работает на борту ИСЗ "Ресурс ДК-1" с 2006 года.

Детекторы укомплектованы источниками низковольтного (типа GPR-352-DHD) и высоковольтного питания типа БНВ2-95 в автономных блоках и крейтом в системе КАМАК, содержащим блоки измерительной аппаратуры. Во-первых, это блоки наземного тестирования, имитирующие работу бортовых систем спутника. Для ливневого детектора это – пульт проверки ППС4, а для нейтронного детектора – блок обмена данными (БОД). В крейте размещаются также блоки вспомогательного оборудования: пересчетные приборы PS, формирователь-дискриминатор ОДНМУ, логические схемы Universal coincidence 1402. Установка также комплектуется осциллографом типа TDS5054B [6] для наблюдения амплитудных и временных характеристик электрических импульсов с детекторов и вспомогательной аппаратуры, генератором стандартных сигналов типа AFG3252 [7] для изучения логики работы аппаратуры, персональным компьютером типа IBM PC с источником бесперебойного питания АРС для сбора и обработки данных с лабораторной установки, системой дополнительных управляющих сцинтилляционных счетчиков для выделения потоков космического излучения определенного направления и измерения эффективности детекторов.

## 3.3. Порядок выполнения работы

3.3.1. Меры безопасности

1. К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

2. Все составные части лабораторной установки и измерительной аппаратуры должны быть заземлены.

3. Стыковка и расстыковка разъемов должна проводиться при выключенном напряжении питания.

#### 3.3.2. Подготовка и изучение вспомогательной регистрирующей аппаратуры

1. Включить кнопкой на передней панели источник бесперебойного питания АРС для питания персонального компьютера и, в случае необходимости, включить колодку питания клавишей "off/reset".

2. Включить персональный компьютер и загрузить операционную систему Windows.

3. Включить источник низковольтного питания GPR-352-DHD, переведя тумблер "POWER" в положение "оп" и дать ему прогреться в течение 5 минут. Выходное напряжение, которое высвечивается на индикаторе лицевой панели, должно быть равно 27±0,1 В.

4. Включить источник высоковольтного питания БНВ2-90 тумблером "СЕТЬ", предварительно установив минимальную величину выходного напряжения 100 В.

5. Включить осциллограф TDS5054В кнопкой, расположенной у левого нижнего угла экрана. Дождаться загрузки операционной системы Windows и перехода ее к программе визуализации осциллограмм TekScope.

6. Последовательным нажатием кнопки в подгруппе "MODE" группы управляющих кнопок "TRIGGER", перейти к режиму Auto автоматической развертки, что отобразится подсветкой соответствующей надписи.

7. Подключить коаксиальным кабелем КТ1 выход "CH1" генератора стандартных сигналов типа AFG3252 ко входу "CH1" осциллографа.

8. Установить на генераторе кнопкой "Амплитуда/Верхний" режим задания амплитуды импульса, установить при помощи цифровых клавиш амплитуду импульса, равную 1 В, завершить ввод нажатием кнопки "Enter". Аналогичным образом кнопкой "Частота/Период" и цифровыми клавишами задать частоту следования импульсов 100 кГц. Размерность величины установливается нажатием кнопки напротив соответствующей надписи, появляющейся на экранном меню (далее – "кнопки экранного меню"). Клавишей "Импульсы" перейти к заданию режимов импульса и кнопкой "Ко-

эфф.заполн./Длит-ть", кнопкой экранного меню "Длительность" и цифровыми клавишами установить длительность импульса 10 нс.

9. Установить на осциллографе переключателем "SCALE" в группе "VERTICAL" вертикальное усиление для первого канала, равное 1 В/дел., переключателем "SCALE" в группе "HORIZONTAL" – длительность развертки, равную 10 нс, кнопкой «50 Ом» около входного разъема "CH1" – соответствующее входное сопротивление этого входа осциллографа.

10. Установить сенсорной кнопкой "CH1" в подгруппе "SOURCE" группы "TRIGGER" запуск развертки от сигнала, поступающего на первый канал осциллографа, а в подгруппе "SLOPE" кнопкой "POS" – запуск развертки от положительного перепада импульса. Поместить с помощью ручки "Level" указатель уровня запуска развертки (стрелку) несколько выше линии развертки первого канала (желтого цвета).

11. Наблюдать на экране осциллографа в автоматическом режиме импульсы с генератора. Изменяя вертикальное усиление и длительность развертки, наблюдать изменение изображения импульсов.

12. Перевести генератор кнопкой "Пачка" группы "Режим работы" в режим генерации пачки импульсов. Кнопкой экранного меню выбрать режим "1-цикл" (один импульс в пачке), кнопками экранного меню "Еще" и "Источник" выбрать тип запуска "Внешний". Ручкой "level" в группе "TRIGGER" установить порог запуска для канала 1, равным 0,2–0,3 В, контролируя положение порога по указателю на экране осциллографа, рядом с которым величина уровня указывается в цифровом виде. На генераторе нажать кнопку "MANUAL" группы "TRIGGER" для выработки однократного импульса. Нажать кнопку "Single" на осциллографе в группе "TRIGGER". Наблюдать однократный импульс, который запоминается на экране осциллографа. Последовательно нажимая на осциллографе кнопку "Run/Stop" для запуска непрерывной развертки в группе управляющих кнопок "TRIGGER" для запуска автоматической развертки и сброса запомненного однократного импульса. Убедиться, что вместо импульса возникла горизонтальная развертка. Нажимая кнопку "MANUAL" на генераторе и кнопку "Single" на осциллографе, повторить генерацию однократного импульса несколько раз.

#### 3.3.3. Изучение характеристик и режимов работы быстрого сцинтилляционного детектора в составе космической аппаратуры

1. Собрать схему согласно рис. 3.4.

2. Соединить высокочастотным кабелем (КТ2) разъем типа LEMO выхода S11 одного из ф.э.у. ливневого детектора, отсоединив от него внутренний соединительный кабель, с входом "CH1" осциллографа.

3. Установить на осциллографе вертикальное усиление для первого канала, равное 50 мВ/дел., длительность развертки, равную 10 нс, кнопкой "50 Ом" около входного разъема "CH1" – соответствующее входное сопротивление этого входа осциллографа.

4. Установить кнопкой "CH1" в подгруппе "SOURCE" группы "TRIGGER" запуск развертки от сигнала, поступающего на первый канал осциллографа.



Рис. 3.4. Схема подключения ливневого детектора

5. Нажать на осциллографе кнопку "SINGLE" группы "TRIGGER", перейдя в режим регистрации однократных сигналов. Ручкой level в группе "TRIGGER" установить порог запуска для канала 1, равным 40–60 мВ.

6. Убедиться, что на пульте проверки ливневого детектора ППС4 горит зеленая лампочка контроля стыковки "CONN".

7. Включить выходное низковольтное питание с пульта проверки ливневого детектора ППС4 тумблером "POWER".

8. Выставить на высоковольтном источнике БНВ2-95 выходное напряжение, равное 1100 В.

9. Наблюдать импульсы отрицательной полярности непосредственно с анода ф.э.у. сцинтилляционного детектора.

10. Записать в файл изображение импульса по процедуре, приведенной на стр. 97 Руководства по эксплуатации осциллографа (предоставляется лаборантом). Кнопкой "Run/Stop" сбросить изображение одиночного импульса, запустив непрерывную развертку.

11. Соединить высокочастотным кабелем (КТ2) разъем типа LEMO выхода S3 ливневого детектора с входом "CH1" осцилло-графа.

12. Установить на осциллографе вертикальное усиление для первого канала, равное 200 мВ/дел., длительность развертки, равную 400 нс/дел., запуск от положительного перепада импульса, кнопкой «1 Мом» около входного разъема "СН1" – соответствующее входное сопротивление этого входа осциллографа.

13. Убедиться, что кнопка "Main/Spare" на блоке ППС4 отжата, что соответствует основному комплекту электроники.

14. Наблюдать импульсы положительной полярности со схемы формирования сцинтилляционного детектора.

15. Записать в файл изображение импульса в соответствии с п. 10.

16. Подать сигнал внутренней калибровки от светового диода по следующей процедуре:

 на пульте проверки ливневого детектора ППС4 установить в правое положение тумблеры 1...8;

- переключить в верхнее положение тумблер "START";

– при переводе тумблера "START" вниз начнется генерация 128 калибровочных импульсов.

17. Наблюдать сигнал внутренней калибровки от светового диода.

18. Изменять с шагом 100 В напряжение высоковольтного питания на ливневом детекторе в пределах от 900 до 1500 В. Измерить по делениям на экране осциллографа и записать амплитуды сигналов калибровки, в случае необходимости изменяя вертикальную чувствительность осциллографа.

19. Соединить высокочастотным кабелем (КТ2) разъем типа LEMO выхода S3 ливневого детектора с входом АЦП-USB-8КВ.

20. Соединить высокочастотным кабелем (КТЗ) разъем типа LEMO выхода ТНЗ пульта проверки ППС4 ливневого детектора со входом формирователя-дискриминатора ОДНМУ в крейте КАМАК. Выход формирователя соединить кабелем КТ4 с входом управления АЦП.

21. Подать код управления порогом, равный 128, при помощи тумблеров 1...8 на передней панели блока ППС4, которые соответствуют двоичным разрядам числа, причем разряд "1" является младшим.

22. Запустить на персональном компьютере программу Spectra-Line измерения амплитудных спектров. Набор спектра проводить в течение 20 мин.

23. Сохранить набранный спектр в файле DD\_MM\_YY\_1, где отображаются текущие день, месяц и год в папке "Spectr\_LD" в соответствии с инструкцией на стр. 97 Руководства по эксплуатации осциллографа.

24. Изменять с шагом 100 В напряжение высоковольтного питания на ливневом детекторе в пределах от 900 до 1500 В. Набрать для каждого значения напряжения спектр в течение 30 мин. Записать в журнал измерений средние амплитуды спектров для каждого напряжения высоковольтного питания.

# 3.3.4. Изучение характеристик медленного нейтронного детектора в составе космической аппаратуры

1. Собрать схему согласно рис. 3.5.

2. Соединить высокочастотным кабелем (КТ5) через переходное устройство штеккерный разъем XN10 на кабеле KN10, выходящем с разъема "Вых.НД" блока БОД аппаратуры наземного со-

провождения нейтронного детектора с входом "СН1" осцилло-графа.

3. Установить на осциллографе вертикальное усиление для первого канала, равное 500 мВ/дел., запуск от положительного перепада импульса, длительность развертки, равную 100 мкс, кнопкой «1 МОм» около входного разъема "CH1" – соответствующее входное сопротивление этого входа осциллографа.

4. Установить кнопкой "CH1" в группе "VERTICAL" запуск развертки от сигнала, поступающего на первый канал осциллографа.

5. Нажать на осциллографе кнопку "SINGLE" группы "TRIGGER", перейдя в режим регистрации однократных сигналов. Ручкой "level" в группе "TRIGGER" установить порог запуска для канала 1, равным +(0,2–0,3) В.



Рис. 3.5. Схема подключения нейтронного детектора

6. Нажать кнопку "output" на передней панели источника питания GPR-352-DHD. Загорится лампочка "on" рядом с этой кнопкой.

7. Наблюдать одиночные импульсы с выхода нейтронного детектора, поочередно нажимая кнопки "SINGLE" и "Run/Stop".

8. Записать в файл изображение импульса в соответствии с инструкцией на стр. 97 «Руководства по эксплуатации осциллографа».

9. Соединить штеккерный разъем XN10 на кабеле KN10, выходящем с разъема "Вых. НД" блока БОД аппаратуры наземного сопровождения нейтронного детектора с зеленым входом звуковой платы персонального компьютера

10. Загрузить на персональном компьютере из папки D:\S4\_nd\FIAN\_NEITRON\_STAND программу Scan32.exe. Через каждую минуту в таблицу на интерфейсном экране программы будет выводиться число зарегистрированных нейтронов.

11. Записать и обработать результаты измерений следующим образом: просуммировать число импульсов за 30 мин., вычислить геометрический фактор НД по его размерам из п. 2.2. Вычислить поток нейтронов.

## 3.3.5. Изучение совместной работы быстрого сцинтилляционного и медленного нейтронного детекторов в составе космической аппаратуры

1. Соединить высокочастотный кабель (КТ2) с разъемами типа LEMO выход S3 ливневого детектора с входом "CH1" осциллографа.

2. Соединить высокочастотным кабелем (КТ4) штеккерный разъемам с блока БОД аппаратуры наземного сопровождения нейтронного детектора с входом "СН2" осциллографа.

3. Нажать на осциллографе кнопку "SINGLE" группы "TRIGGER", перейдя в режим регистрации однократных сигналов. Ручкой "level" в группе "TRIGGER" установить порог запуска для канала 1, равным 0,02–0,03 В.

4. Наблюдать в течение 10 мин. возможное одновременное появление на двух развертках импульсов с ливневого и нейтронного детекторов. Записать количество зарегистрированных событий в ЛД за 10 мин. В силу крайней малости потока протонных событий, которые попали бы в общую апертуру двух детекторов и вызвали бы срабатывание обоих, если за 10 минут мы не пронаблюдаем такого совпадения, мы вычислим верхний предел потока таких событий, прием, распространенный в астрофизике при наблюдении слабых потоков, когда за время эксперимента не удалось зарегистрировать ни одного ожидаемого события. Для этого сначала повторим измерение с запуском от НД (т. е. от второго канала осциллографа). Измерение также провести в течение 10 минут и записать число зарегистрированных нейтронов. Вычислить число случайных совпадений регистрации протонов и нейтронов по формуле N<sub>сл</sub> =  $= 2\tau \times n_1 \times n_2$ , где  $\tau$  – временное разрешение, которое мы возьмем равным длительности импульса с НД, n<sub>1</sub> – скорость счета ЛД, n<sub>2</sub> – скорость счета НД. Темп счета случайных совпадений должен быть много меньше n<sub>1</sub> и n<sub>2</sub>. Верхним пределом темпа счета совпадений будет одно событие за время измерения за вычетом темпа счета случайных совпадений.

5. Записать в файл изображение одного из импульсов в соответствии с инструкцией на стр. 97 «Руководства по эксплуатации осциллографа».

#### 3.3.6. Выключение лабораторной установки

1. Выключить высоковольтное питание ливневого детектора, для чего перевести в нижнее положение тумблер источника питания БНВ2-95.

2. Выключить низковольтное питание НД, для чего перевести в нижнее положение тумблер "POWER"источника питания GPR-352-DHD.

3. Тумблером "POWER" отключить питание ППС4.

4. Выключить тумблер питания крейта КАМАК.

5. Нажатием кнопки у левого нижнего угла экрана выключить осциллограф.

6. Выключить персональный компьютер.

# 3.3.7. Практикум "Программирование логических интегральных схем"

1. Составить логическую формулу совпадений сигналов с ливневого и нейтронного детекторов.

2. Современным способом создания логических схем является так называемая "прошивка" программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), то есть удаление подачей импульсов тока лишних внутренних связи исходной интегральной схемы, так что она начинает работать как логическая схема нужной конфигурации. В космической аппаратуре в настоящее время наиболее широко применяются ПЛИС типа Actel. Перед "прошивкой" составляется управляющая программа, которая отлаживается на специальном устройстве, (вычислительной плате), подсоединяемом к компьютеру. Эта плата имитирует работу ПЛИС, "прошитой" по составленной программе. В данном случае используется ProASIC<sup>PLUS</sup> Evaluation Board типа APA-EVAL-BRD300-SA с соответствующим программным обеспечением.

3. Провести отладку программы "прошивки" логической схемы Actel при помощи  $\operatorname{ProASIC}^{\operatorname{PLUS}}$  Evaluation Board в соответствии с описанием, которое предоставляется лаборантом.

4. Под руководством лаборанта при помощи паяльной станции со специализированными наконечниками для пайки многовыводных ПЛИС произвести выпайку и подпайку ПЛИС на монтажной плате. Получить у лаборанта плату с "прошитой" логической схемой.

5. Включить лабораторную установку по пп. 4.2.1. – 4.2.6.; 4.3.6. – 4.3.8.; 4.4.1. – 4.4.6.

6. Подключить разветвленные выходы НД к входам ПЛИС. Подсоединить выход ПЛИС к входу пересчетного прибора PS. Измерить темп счета за 5 мин. для проверки работоспособности ПЛИС.

7. Подключить выходы ЛД и НД к входам ПЛИС.

8. Измерить и записать число совпадений за 5 мин. Повторить вычисление верхнего предела потока протонных событий.

9. Выключить лабораторную установку по п. 4.6.

## 3.3.8. Оформление отчета

Отчет о проделанной работе должен соответствовать форме научных статей и обязательно содержать:

*цель работы* – кратко формулируется поставленная перед экспериментатором физическая задача; теоретическая часть – кратко излагается назначение и принцип работы исследуемого детектора, его наиболее характерные параметры, функциональная схема лабораторной установки; приводятся, если это требуется в описании лабораторной работы, предварительные расчеты и оценки исследуемых величин;

экспериментальная часть – содержит обработанные экспериментальные результаты с обязательной оценкой погрешности проведенных измерений. Снимаемые осциллограммы должны быть представлены с обязательным соблюдением временных и амплитудных соотношений.

В отчет по данной работе включается:

1. временные диаграммы, поясняющие работу изучаемых детекторов;

2. зависимости темпов счета детекторов от уровня порога дискриминации;

3. осциллограммы импульсов со сцинтилляционного и нейтронного детекторов;

4. спектр амплитуд со сцинтилляционного детектора;

5. вычисления геометрического фактора прибора;

6. верхний предел на поток протонов, зарегистрированных одновременно ливневым и нейтронным детекторами.

заключение – в сжатой форме даются основные выводы по каждому экспериментальному разделу; проводятся сравнения полученных экспериментальных результатов с теоретическими расчетами, анализируются расхождения между ними.

#### Контрольные вопросы

1. Дать краткие сравнительные характеристики сцинтилляционных пластмассовых детекторов и нейтронных детекторов:

2. Состав космического излучения на орбите искусственного спутника Земли и на уровне моря.

3. Состав наземной аппаратуры, необходимой для испытаний и наладки сцинтилляционных и нейтронных детекторов входящих в состав аппаратуры для космических исследований на орбите.

4. Какое программное обеспечение используется при программировании логических интегральных схем.

#### Лабораторная работа №4

#### ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ КОСМОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение принципа действия и устройства гаммадетекторов на основе цилиндрической импульсной ионизационной камеры, наполненной сжатым ксеноном, и на основе сцинтилляционного кристалла NaI; определение основных спектрометрических характеристик ксенонового и сцинтилляционного гамма-детекторов; приобретение навыков работы с современной аппаратурой, предназначенной для спектрометрических измерений гама-излучения в условиях космического полета.

#### Введение

Для космофизических исследований сегодня требуются гаммадетекторы, которые помимо хороших спектрометрических характеристик обладают также высокой механической прочностью, радиационной стойкостью, низким энергопотреблением и способностью работать в широком диапазоне температур без использования дополнительных систем охлаждения. Таким требованиям вполне отвечают ксеноновые и сцинтилляционные гамма-детекторы [1], изучению которых посвящении данная работа.

#### 4.1. Принцип действия и устройство ксенонового гамма-детектора на основе импульсной цилиндрической ионизационной камеры

Ксеноновые гамма-детекторы в отличие от других гаммадетекторов обладают хорошими спектрометрическими характеристиками, позволяющими широко использовать их как для фундаментальных, в том числе и космофизических, так и для прикладных исследований. Эти гамма-детекторы обеспечивают хорошее энергетическое разрешение, которое в несколько раз лучше, чем у сцинтилляционных детекторов. Для функционирования ксеноновых гамма-детекторов не требуется использования жидкого азота, и они могут работать в широком температурном диапазоне без изменения своих спектрометрических характеристик. Важной особенностью ксеноновых гамма-детекторов является то обстоятельство, что их спектрометрические характеристики практически не зависят размеров. Это позволяет создавать ксеноновые гамма-ОТ спектрометры с высокой чувствительностью за счет увеличения рабочего объема. Следует также отметить, что стоимость ксеноновых гамма-спектрометров по сравнению с полупроводниковыми на основе сверхчистого германия значительно ниже.

Рабочее вещество ксеноновых гамма-спектрометров имеет сравнительно невысокую плотность (0,5–0,6 г/см<sup>3</sup>), в результате чего их эффективность регистрации гамма-излучения в несколько раз меньше, чем у кристаллических гамма-детекторов. Однако эффективность регистрации, в зависимости от требований конкретных исследований, можно повысить за счет увеличения рабочего вещества этого гамма-детектора.

Основу гамма-спектрометра, изучаемого в данной работе, составляет цилиндрическая ионизационная камера с экранирующей сеткой. Камера работает в импульсном режиме, что обеспечивает возможность регистрировать отдельную частицу и определять ее энергию. В качестве рабочего вещества ионизационной камеры используется сжатый ксенон (Хе) высокой чистоты. Известно, что существует не так много веществ (например, благородные газы, германий, кремний и некоторые другие), в которых с помощью внешнего электрического поля удается извлечь заряды из трека частицы и использовать их для формирования электрического сигнала. Для увеличения эффективности газовых спектрометрических детекторов применяются инертные газы с большим атомным номером. После <sup>131</sup><sub>54</sub> Хе наиболее тяжелым инертным газом является радон  $\frac{222}{82}$  Rn, однако он альфа-радиоактивен (период его полураспада составляет 3,825 дня), и по этой причине он не может использоваться в качестве рабочего вещества в спектрометрических газовых гамма-детекторах.

Одной из важнейших характеристик любого вещества, используемого для детектирования гамма-излучения является его способность поглощать гамма-кванты. Эта способность характеризуется вероятностью их взаимодействия с данным веществом. Как известно, гамма-кванты при прохождении через вещество испытывают три типа взаимодействия (без учета ядерных реакций пол действием гамма-квантов): фотоэффект, эффект Комптона, и образование электронно-позитронных пар. Сечения этих взаимодействий ( $\sigma$ ) зависят от атомного номера *Z* рабочего вещества и энергии  $E_{\gamma}$  гамма-кванта следующим образом:

$$\sigma_{\phi \sigma r o \sigma \phi \phi e \kappa \tau} \sim Z^5 / E_{\gamma}^{7/2}, \quad \sigma_{\kappa \sigma \kappa \sigma n \pi \tau \sigma + \sigma \phi \phi e \kappa \tau} \sim Z/E_{\gamma},$$

$$\sigma_{\pi a \rho} \sim Z 2 \cdot \ln(2E_{\gamma}).$$
(4.1)

Атомный номер ксенона равен 54 и по сравнению с другими веществами, используемыми в гамма-детекторах (например, Ge с Z = 32 или NaI (Tl) с  $Z_{3\phi} = 50$ ), он наиболее эффективен для регистрации гама-излучения, особенно в области энергий, где фотоэффект является основным механизмом взаимодействия гамма-излучения с веществом.

Применяемый в гамма-детекторах Хе должен быть хорошо очищен от электроотрицательных примесей, которые обладают большим сечением захвата электронов, образующихся в рабочем веществе ионизационной камеры. Степень чистоты ксенона определяется отношением числа электроотрицательных атомов (например, кислорода  $O_2$ ) к общему числу атомов ксенона. Обычно эта величина составляет примерно  $10^{-10}$ . При такой чистоте ксенона время жизни объемного заряда ( $t_{x}$ ), возникающего в ионизационной камере, намного превышает время его дрейфа ( $t_{d}$ ) в детекторе, т.е.  $t_{x} >> t_{d}$ . Это означает, что величина объемного заряда за время дрейфа в рабочей среде практически не меняется и создаваемый электрический импульс на выходе ионизационной камеры остается пропорциональным энергии регистрируемой частицы.

Общая схема включения импульсной ионизационной камеры показана на рис. 4.1. При взаимодействии гамма-кванта с рабочим веществом в ионизационной камере образуются ионы атомов ксенона и электроны, которые под действием электрического поля 54 движутся соответственно к катоду и аноду. Поскольку скорость дрейфа электронов ( $v_e$ ) в ионизационной камере почти в тысячу раз больше скорости дрейфа тяжелых положительных ионов, то амплитуды импульсов в ионизационной камере, создаваемых движением электронов, будут во много раз превышать амплитуды импульсов, обусловленных движением тяжелых ионов.



**Рис. 4.1.** Схема включения ионизационной камеры с экранирующей сет-кой:

 $U_0$  – напряжение на катоде;  $U_c$  – напряжение на сетке; R – сопротивление; C – конденсатор

Образование наведенного заряда на аноде цилиндрической ионизационной камеры без экранирующей сетки осуществляется во время движения в ней заряженной частицы. При этом происходит зарядка и разрядка емкости С. Приращение заряда dq на этой емкости за время dt при условии, что потенциал катода равен единице, составит

$$dq = n \cdot e \cdot E_{\nu}(t) \cdot \nu(t) dt, \qquad (4.2)$$

где  $E_v(t)$  – составляющая вектора напряженности электрического поля вдоль скорости движения заряда v(t) (в данном случае скорости дрейфа); n – число электронов.

Уменьшение заряда на емкости C пропорционально величине заряда q(t) и 1/RC, т.е.

$$dq = -q(t)\frac{1}{RC}dt.$$
(4.3)

Таким образом, изменение заряда на емкости С описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{q(t)}{RC} + neE_v \cdot v(t) .$$
(4.4)

Решение этого дифференциального уравнения, найденное методом вариации постоянных, имеет вид:

$$q(t) = e^{-t/RC} \cdot \int_{0}^{t} neE_{v}(t')v(t')e^{-t'/RC}dt'.$$
(4.5)

В цилиндрической камере электрическое поле *Е* описывается формулой:

$$E = \frac{U_0}{r \cdot \ln(r_k / r_a)},\tag{4.6}$$

где r – расстояние от центральной оси цилиндра;  $r_k$ ,  $r_a$  – радиусы катода и анода;  $U_0$  – напряжение на катоде. Тогда напряжение на конденсаторе, создаваемое электронной составляющий при условии, что  $t \leq RC$ , можно записать в следующем виде:

$$V(t) = \frac{ne}{C} \int \frac{v(t')}{r \cdot \ln(r_k / r_a)} dt'.$$
(4.7)

При достаточно больших полях скорость дрейфа электронов **v** в ионизационной камере слабо зависит от величины напряженности электрического поля. Для многих газов эта скорость пропорциональна корю квадратному из напряженности электрического поля, т.е.

$$v = v_0 \cdot \sqrt{\frac{E}{E_0}} \,. \tag{4.8}$$

Подставив v в выражение (7) и заменив t на переменную r, после интегрирования получим:

$$V(t) = -\frac{ne}{C} \cdot \frac{2}{3 \cdot \ln(r_k / r_a)} \cdot \ln\left(1 - \frac{3v_0 t \sqrt{U_0}}{2 \cdot r_0^{3/2} \sqrt{E_0} \cdot \ln(r_k / r_a)}\right).$$
(4.9)

В этом выражении  $r_0$  – радиус точки взаимодействия гамма-кванта с рабочим веществом ионизационной камеры.

Максимальное значение этого выражения имеет вид

$$V_{\max} = -\frac{ne}{C} \cdot \frac{\ln(r_k / r_0)}{\ln(r_k / r_a)}.$$
(4.10)

На рис. 4.2 показаны зависимости V(t) для нескольких значений  $r_0$  – расстояния от центральной оси цилиндра до места взаимодействия гамма-кванта с рабочим веществом детектора.

Эта зависимость называется индукционным эффектом [2]. Вследствие индукционного эффекта гамма-кванты с одинаковой энергией, провзаимодействовавшие в разных местах ионизационной камеры, создают на аноде электрические сигналы различной амплитуды, что приводит к ухудшению энергетического разрешения гамма-спектрометра.



**Рис. 4.2.** Зависимость амплитуды импульса, индуцируемого на аноде ионизационный камеры, от времени (*r*<sub>0</sub> – расстояние от места образования объемного заряда до анода, *r<sub>k</sub>* – радиус катода)

Энергетическое разрешение гамма-детектора определяется как ширина на полувысоте пика (dE) распределения импульсов, возникающих на выходе детектора при регистрации моноэнергетических частиц (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Распределение импульсов на выходе ионизационной камеры при регистрации могоэнергичных гамма-квантов.

dE (FWHM) измеряется в единицах энергии, либо в процентах по отношению к энергии регистрируемых частиц. В случае равномерной ионизации и полного собирания электрического заряда ширина на полувысоте пика амплитудного распределения выходных импульсов связана с параметрами ионизационной камеры следующим образом:

$$\frac{dE}{E} = \frac{\ln(2)}{2 \cdot \ln(r_k / r_a)}.$$
(4.11)

Например, для цилиндрической ионизационной камеры с размерами  $r_k = 25$  мм и  $r_a = 100$  мкм предельное энергетическое разрешение составляет всего 6,2 %.

Из формулы 11 следует, что чем больше отношение радиуса катода к радиусу анода, тем лучшее энергетическое разрешение можно получить для такой камеры. Однако для реальных цилиндрических камер большое отношение  $r_k$  к  $r_a$  обеспечить достаточно сложно, так как в этом случае для уменьшения влияния процессов рекомбинации необходимо использовать весьма высокое напряжение на катоде, что само по себе не желательно.

Для уменьшения индукционного эффекта, а, следовательно, и для улучшения энергетического разрешения гамма-детектора обычно используется экранирующая сетка, которая размещается между катодом и анодом цилиндрической ионизационной камеры. На экранирующую сетку подается отрицательный электрический потенциал, значение которого составляет примерно половину потенциала на катоде. В этом случае объемный заряд, который движется между катодом и сеткой (область I на рис. 4.1.), практически не будет индуцировать электрический сигнал на аноде до тех пор, пока этот заряд не пройдет через экранирующую сетку в область II. Экранирующая сетка в ионизационной камере должна отвечать двум основным, противоречащим друг другу требованиям. С одной стороны она должна надежно экранировать анод при движении заряда в области катод-сетка ионизационной камеры и в то же время обеспечивать высокую проницаемость заряда в область сетка-анод.

Обычно неэффективность экранировки сетки составляет около (2–3) %, хотя в некоторых случаях для компенсации возможной рекомбинации объемного заряда этот параметр может быть увеличен. Необходимое условие полной проницаемости сетки – напряженность электрического поля в области между сеткой и анодом должна быть больше, чем между сеткой и катодом.

Для обеспечения хорошего энергетического разрешения ксенонового гамма-детектора также необходимо, чтобы напряженность электрического поля во всем объеме ионизационной камеры была больше 2 кВ/см<sup>2</sup>. Для областей вблизи катода это требование можно записать в виде

$$\frac{U_k - U_c}{r_c \cdot \ln(r_k / r_a)} \ge 2 \, \left[ \kappa B/c_M \right]. \tag{4.12}$$

При таких электрических полях удается обеспечить достаточно высокие значения скоростей дрейфа электронов в рабочем газе. Кроме того, в этом случае влияние процессов рекомбинации заряда можно свести к минимуму и тем самым обеспечить высокое энергетическое разрешение.

Следующее требование, определяющее наилучшие параметры цилиндрической ионизационной камеры, состоит в том, чтобы электрическая емкость между анодом и сеткой была как можно меньше. Для большинства цилиндрических ионизационных камерона обычно не превышает 50 пФ, т.е.

$$\frac{2\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot L}{\ln(r_c / r_a)} < 50 \cdot 10^{-12} \left[\Phi\right],\tag{4.13}$$

где  $\varepsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость; *L* – длина анода и сетки.

Необходимость этого требования определяется тем, что согласно формуле (9) амплитуда выходного сигнала, индуцируемого на аноде, обратно пропорциональна электрической емкости между сеткой и анодом.

Следует также учитывать еще одно условие, которое заключается в том, что объем области между сеткой и анодом должен быть как можно меньше, поскольку в нем сказывается влияние индукционного эффекта. На практике удается обеспечить внутренний объем цилиндрической сетки не более (5–10) % от общего чувствительного объема ионизационной камеры. Это условие можно зависать в виде

$$\frac{r_k^2}{r_c^2} \le (0, 1 - 0, 05) \,. \tag{4.14}$$

Типичный спектр, измеряемый ксеноновым гамма-детектором при регистрации гамма-излучения <sup>137</sup>Cs с единственной гамма-линиией 662 кэB, показан на рис. 4.4. На приведенном спектре отчетливо



от источника <sup>137</sup>Cs

видна измеряемая гамма-линия (пик полного поглощения), имеющая форму распределения Гаусса, комптоновское плато и пик обратного рассеяния, который образуется при рассеянии гаммаквантов от задней стенки ксенонового гамма-детектора.

## 4.2. Принцип действия и устройство сцинтилляционного гамма-детектора на основе кристалла Nal

Сцинтилляционный гамма-детектор представляет собой сцинтилляционный кристалл (чаще всего кристалл NaI(Tl)), соединенный с фотоумножителем (ФЭУ), с помощью которого осуществляется преобразование световых вспышек в кристалле от гамма-квантов в электрические сигналы. Амплитуда этих сигналов пропорциональна энергии, теряемой гамма-квантам в сцинтилляционном кристалле. Сцинтилляционные детекторы имеют сравнительно невысокое энергетическое разрешение, которое характеризует спектрометрические возможности гамма-детекторов. Для сцинтилляционных гамма-детекторов FWHM = (50-80) кэВ при энергии гамма-кванта 662 кэВ.

Сцинтилляционные детекторы обладают высокой эффективностью регистрации гамма-квантов, которая определяется следующим образом:

$$\eta = \frac{N_1}{N_0}, \qquad (4.15)$$

где  $N_1$  – число зарегистрированных гамма-квантов в пике полного поглощения;  $N_1$  – число гамма-квантов, падающих на детектор.

Эффективность η представляет собой вероятность того, что гамма-квант, попадающий в детектор, провзаимодействует с его рабочим веществом и амплитуда созданного электрического сигнала будет соответствовать энергии пика полного поглощения. Простейшим образом приблизительное значение этой эффективности можно получить из стандартной формулы поглощения:

$$\eta = 1 - \exp(-\mu \rho x), \qquad (4.16)$$

где µ – фотоэлектрический массовый коэффициент ослабления; р – плотность чувствительного материала детектора; *x* – толщина чувствительного материала детектора.

Сцинтилляционные гамма-детекторы могут иметь эффективность от единиц до десятков процентов в зависимости от величины рабочего кристалла.

Типичные сцинтилляционные гамма-детекторы на основе различных кристаллов, применяемых в гамма-спектрометрии, показаны на рис. 4.5.



**Рис. 4.5.** Сцинтилляционные гамма-детекторы на основе кристаллов: NaI(Tl), CsI(Na), CsI(Tl), CsI(CO<sub>3</sub>), LaCl<sub>3</sub>

Сцинтилляционные гамма-детекторы в отличие от многих других просты в обращении и обладают достаточно хорошими спектрометрическими характеристики, что обеспечивает им невысокую стоимость, а следовательно и широкое использование во многих областях гамма-спектрометрии.

## 4.3. Порядок выполнения работ

4.3.1. Описание ксенонового гамма-детектора (КГД)

Общая схема гамма-детектора, изучаемого в данной работе, приведена на рис. 4.6.

Ксеноновый гамма-детектор представляет собой цилиндрическую ионизационную камеру, работающую в импульсном режиме. Камера имеет размеры: диаметр 110 мм и длина 170 мм. Она наполнена сверхчистым ксеноном, плотность которого составляет 0,4 г/см<sup>2</sup>.



Рис. 4.6. Общая принципиальная схема и фотография КГД: 1 – преобразователь напряжения для высоковольтного источника; 2 – зарядо-чувствительный усилитель; 3 – кран для наполнения детектора газом; 4 – блок высоковольтного питания; 5 – керамический гермоввод; 6 – экранирующая сетка; 7 – анод; 8 – термоизоляция; 9 – корпус цилиндрической ионизационной камеры; 10 – внешний защитный кожух



В левой части гамма-детектора располагаются источник высоковольтного питания (ИВП), обеспечивающий постоянное напряжение на катоде и экранирующей сетке, зарядо-чувствительный усилитель (ЗЧУ), с помощью которого осуществляется преобразование токового сигнала с анода в выходной импульс напряжения. Питание ИВП осуществляется через адаптер, преобразующий сетевое питание 220 В в постоянное напряжение +24 В. Для питания ЗЧУ используется выходное напряжение многоканального анализатора (МКА) "Калибри" (4096 каналов), на входе которого имеется усилитель-формирователь. Электрические сигналы, поступающие с ЗЧУ на МКА, усиливаются, анализируются по амплитуде, а затем сформированный спектр передается на персональный компьютер (РС). Управление гамма-детектором, накопление и обработка спектров осуществляется с помощью программы SBS, разработанной компанией "GreenStar". Описание программы SBS дается в приложении к данной работе.

Общая схема включения аппаратуры, предназначенная для выполнения данной работы показана на рис. 4.7.



Рис. 4.7. Схема включения лабораторной аппаратуры

#### 4.3.2. Описание сцинтилляционного гамма-детектора

Общая схема сцинтилляционного гамма-детектора показана на рис. 4.8.

Сцинтилляционный детектор состоит из кристалла NaI цилиндрической формы с размерами: диаметр 50 мм и высота 50 мм. С одного торца кристалл просматривается ФЭУ. Источник высоковольтного питания (ИВП) для ФЭУ размещен в общем корпусе сцинтилляционного детектора. Внешнее питание сцинтилляционного гамма-детектора осуществляется через адаптер, который преобразовывает сетевое напряжение ~220 В в постоянное 24 В.

Схема включения сцинтилляционного гамма-детектора практически такая же, как для ксенонового гамма-детектора (рис. 4.7). 64

Отличие состоит только в том, что у сцинтилляционного детектора отсутствует реле, через которое подается напряжение с адаптера на гамма-детектор, т.е. рабочее напряжение подается на него непо-средственно с адаптера.

			þ
NaI	ФЭУ	ИВП	

Рис. 4.8. Общая схема сцинтилляционного гамма-детектора

#### 4.3.3. Правила работы с гамма-детекторами

Включение гамма-спектрометра осуществляется в следующей последовательности:

- включить сетевой тумблер 220 В на адаптере;

 – включить PC, загрузить программу SBS и в соответствии с ее описанием подготовить режим измерений;

 через 10 мин нажать тумблер "Реле", который обеспечивает отключение заземляющего контакта от входа ЗЧУ (в случае сцинтилляционного детектора этот пункт не выполняется);

- гамма-спектрометр готов к измерениям;

 установить источник гамма-излучения вблизи гамма-спектрометра;

- с дисплея РС подать команду "Измерение";

– в рабочем окне дисплея будет накапливаться спектр регистрируемого гамма-излучения.

4.3.4. Выполнение работы

ВНИМАНИЕ !!! Включение установки и размещение источника ионизирующего излучения осуществляются только в присутствии преподавателя. 1. Ознакомиться с лабораторной аппаратурой по описанию.

2. Провести калибровку энергетической шкалы гамма-спектрометра. Для этого необходимо измерить спектр от гамма-источника, имеющего как минимум две гамма-линии (например, <sup>22</sup>Na), или от нескольких гамма-источников одновременно. Затем, в соответствии с описанием программы SBS, вызвать программу "Калибровка", ввести значение энергии основных гамма-линий (табл. 4.1) и номера каналов, соответствующих максимальным значениям зарегистрированных гамма-пиков.

Таблица 4.1

Источник	<sup>22</sup> Na	<sup>54</sup> Mn	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Е, кэВ	511 1280	835	661	1170 1332

3. Измерить энергетическое разрешение (p = dE/E) для гаммалиний радиоактивных источников, приведенных в табл. 4.2. в соответствии с описанием программы SBS. Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

Источник	<sup>22</sup> Na	<sup>54</sup> Mn	<sup>137</sup> Cs	<sup>60</sup> Co
Е <sub>γ</sub> , кэВ				
<i>р</i> , кэВ				

4. Построить график зависимости энергетического разрешения гамма-спектрометра от энергии зарегистрированных гамма-линий.

5. Определить энергию гамма-излучения неизвестного источника из набора ОСГИ, определить его основные гамма-линии и идентифицировать исследуемый радионуклид.

6. Заменить ксеноновый гамма-детектор на сцинтилляционной в установке в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.6. (выполняется преподавателем лаборатории).

7. Повторить измерения в соответствии с п. 4.

## Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип работы цилиндрической ионизационной камеры с экранирующей сеткой.

2. Индукционный эффект и его влияние на энергетическое разрешение гамма-спектрометра.

3. Основные требования, предъявляемые к экранирующей сетке.

4. Рабочее вещество ксенонового гамма-детектора, его основные характеристики.

5. Виды взаимодействия гамма-излучения с рабочим веществом гамма-спектрометров.

6. Принцип работы сцинтилляционных гамма-детекторов.

7. Основные преимущества и недостатки ксеноновых и сцинтилляционных гамма-детекторов по сравнению с полупроводниковыми детекторами на основе сверхчистого германия.

#### Лабораторная работа №5

## ИЗМЕРЕНИЕ ПОТОКА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ВДОЛЬ ОРБИТЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА (ЭКСПЕРИМЕНТ "ПАМЕЛА")

# **Цель работы:** ознакомление с методикой мониторинга потоков заряженных частиц в околоземном космическом пространстве.

#### Введение

#### 5.1. Спектрометр "ПАМЕЛА"

С целью проведения прецизионных измерений потоков частиц в околоземном космическом пространстве был создан магнитный спектрометр "ПАМЕЛА".

Научными задачами магнитного спектрометра "ПАМЕЛА" являются измерение спектра антипротонов, позитронов, ядер, протонов, электронов в широком диапазоне энергий (см. ниже), а также изучение солнечной модуляции потока космических лучей за продолжительное время.

Планируется, что измерения спектрометра "ПАМЕЛА" помогут найти темную материю и антивещество во Вселенной, изучить механизмы ускорения и распространения КЛ.

Измерения проводятся на околоземной орбите (на высоте более 350 км) и продолжительность измерений 3 года, что намного дольше, чем в баллонных экспериментах.

Ожидается, что:

• спектр антипротонов будет измерен в энергетическом диапазоне (0,08 – ~200) ГэВ (сегодня – до 50 ГэВ);

• спектр электронов будет измерен до энергии ~270 ГэВ (сегодня – до 30 ГэВ);

• поиск антиядер будет выполнен с предельным отношением  $\sim 10^{-8}$  для анти-He/He;

• будет проведено изучение поведения во времени спектра и потока частиц, выбрасываемых при вспышках на Солнце.

Схематическое изображение спектрометра "ПАМЕЛА" приведено на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Схема спектрометра "ПАМЕЛА":

1, 3, 7 – времяпролетная система; 2 – охранные детекторы; 4 – сцинтилляционные детекторы антисовпадений; 5 – полупроводниковая стриповая координатная система (шесть двойных слоев); 6 – магнитная система (пять секций); 8 – полупроводниковый стриповый позиционно-чувствительный калориметр; 9 – ливневый сцинтилляционный детектор; 10 – нейтронный детектор; 11 – стенки гермоконтейнера спутника Технические характеристики спектрометра:

• геометрический фактор 20,5 см<sup>2</sup>ср для высокоэнергичных частиц;

• угловая апертура 19° × 16°;

• точность измерения координаты трекером: 3,5 мкм в проекции отклонения (X) и 15 мкм в Y;

- мёртвое время 5 мс для одиночной частицы;
- разрешающее время схемы совпадений 110 нс;
- эффективность системы антисовпадений 0,98;

• энергетическое разрешение для высокоэнергичных электронов < 10 % для энергий > 10 ГэВ;

- разрешение по импульсу для 10 ГэВ протонов < 10 %;
- эффективность разделения лептонов и адронов 10<sup>5</sup>;
- полная масса 470 кг;
- максимальная потребляемая мощность 355 Вт;
- габариты прибора 123 × 89 × 91 см.

## Описание детекторов и систем магнитного спектрометра "ПАМЕЛА"

ВПС – система измерения времени пролёта частиц, а также энергии, выделенной частицей при взаимодействии со сцинтилляторами, и основная триггерная система спектрометра, состоит из шести слоёв сцинтилляторов:

S11 – 8 полос размером 330 × 51 мм;

- S12 6 полос  $55 \times 408$  мм;
- S21 2 полосы 180 × 75 мм;
- S22 2 полосы  $90 \times 150$  мм;
- S31 3 полосы  $150 \times 60$  мм;
- S32 3 полосы  $50 \times 180$  мм.

Слои  $S_{i1}$  (i = 1,3) ориентированы вдоль оси Y спектрометра, слои  $S_{i2}$  (i = 1,3) ориентированы вдоль оси X спектрометра, для S2 – наоборот. Толщина сцинтилляторов S1 в S3 7 мм, S2 – 5 мм, материал сцинтиллятора – Bicron BC-404, ФЭУ – Hamamatsu R5900U. Внешний вид одного из слоев приведен на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Один из слоёв ТОГ

При попадании заряженной частицы в сцинтиллятор возникает сцинтилляционная вспышка, которая регистрируется в каждой полосе 2-мя ФЭУ, амплитуда с которых оцифровывается, и одновременно измеряется временная отметка сигнала.

При совпадении сигналов от сцинтилляторов в пределах разрешающего времени схемы совпадений, входящих в установленную триггерную конфигурацию:

 $TOF1 = (S11 + S12) \cdot (S21 + S22) \cdot (S31 + S32)$ 

вырабатывается триггерный сигнал, по приходу которого на другие детекторы происходит считывание результатов их измерений в память спектрометра "ПАМЕЛА".

Сигнал с каждого ФЭУ и его временная отметка оцифровываются 12-битным словом, т.е. максимально возможное значение, которое может быть записано – это 4095.

Микростриповый кремниевый детектор – состоит из шести координатно-чувствительных плоскостей площадью  $161 \times 131$  мм и толщиной 300 мкм (кремний – Z = 14, A = 28,09,  $\rho$  = 2,33 г/см<sup>3</sup>, X<sub>0</sub> = 9,36 см), общая высота детектора составляет 445 мм, в объёме детектора создаётся магнитное поле постоянным магнитом, средняя величина магнитного поля внутри трекера составляет ~ 0,4 Тл. Пространственное разрешение вдоль оси X (направление, в котором пролетающие через спектрометр частицы отклоняются магнитным полем) составляет 4 мкм, вдоль оси Y – 15 мкм. Мёртвое время не превышает 1,1 мс, максимальная измеряемая жёсткость – 1000 ГэВ/с. Внешний вид трекера приведен на рис. 5.3.



Рис. 5.3. Общий вид трекера

При прохождении заряженной частицы через трекер, она отклоняется магнитным полем, создаваемым постоянным магнитом. Кремниевые плоскости трекера измеряют координаты частицы и потери энергии, величины которых измеряются электроникой трекера.
В каждой X или Y плоскости 3096 стрипов, амплитуда с каждого стрипа оцифровывается 12-битным словом, так как полное количество стрипов в трекере составляет 36864, то для сокращения объемов передаваемой информации, используя данные калибровки (значения пьедестала и шума стрипов), производится запись в память спектрометра "ПАМЕЛА" номера и амплитуды только с таких стрипов, величина сигнала на которых выше некого порогового значения, установленного в результате калибровки.

Калориметр – состоит из 44 слоёв кремниевых стриповых детекторов, прослоенных 22-мя пластинами вольфрама, толщиной 2,3 мм каждая (Z = 74, A = 183,85,  $\rho = 18,1 \text{ г/см}^3$ ,  $X_0 = 0,735 \text{ см}$ ), измеряющих 22 X и 22 Y координаты и энерговыделение в каждой плоскости. Энергетическое разрешение для высокоэнергичных электронов с энергией более 10 ГэВ составляет 10%. Внешний вид калориметра приведен на рис. 5.4.



Рис. 5.4. Общий вид калориметра

Основное назначение – селекция адронных и лептонных событий, а также измерение энергии электронов и позитронов. Так как полная толщина калориметра составляет 0,5 ядерной длины и одновременно 16 радиационных длин, то это позволяет разделить ад-

роны и лептоны по виду взаимодействия. На этом различии и основан метод режекции адронов и лептонов. Степень подавления электронных событий по отношению к антипротонным 10<sup>4</sup>.

Каждая из 44 плоскостей имеет 144 стрипа, амплитуда с каждого из которых оцифровывается в 16 бит, максимальное значение АЦП составляет 65535 каналов).

Сцинтилляционный детектор S4 – расположен сразу под калориметром и над нейтронным детектором, его площадь – 482 × 482 мм<sup>2</sup>, толщина – 10 мм, он просматривается шестью ФЭУ и используется для измерения утечки каскада из калориметра при регистрации высокоэнергичных частиц и выработки триггерного сигнала. При этом порог такого триггера может меняться в диапазоне от 30 до 300 mip, что позволяет регистрировать высокоэнергичные частицы, летящие вне апертуры прибора, и расширить диапазон энергий регистрируемых частиц.

Суммарный сигнал с шести ФЭУ, которыми просматривается сцинтиллятор, оцифровывается 12-битным АЦП, т.е. максимальное значение амплитуды сигнала 4095. Отметим, что пьедестал этого детектора составляет 32 канала, иными словами все возможные амплитуды S4 могут принимать значения от 32, но не до 4095, а до 3300 по причине насыщения электроники. Внешний вид сцинтилляционного детектора приведен на рис. 5.5.



Рис. 5.5. Общий вид сцинтилляционного детектора С4

Нейтронный детектор НД – состоит из 2-х слоёв по 18 счётчиков, диаметром 20 мм, длиной 360 мм, наполненных <sup>3</sup>Не. Эти слои счётчиков перемежаются полиэтиленовым замедлителем размером 430 мм × 430 мм, общая высота – 150 мм. Внешний вид нейтронного детектора приведен на рис. 5.6. Основное назначение – увеличение общей эффективности разделения электронных и адронных событий, а также измерение фона и потока солнечных нейтронов.



Рис. 5.6. Вид нейтронного детектора

НД регистрирует тепловые нейтроны, которые замедлились в полиэтиленовом замедлителе, после образования при взаимодействии, прежде всего, высокоэнергичных частиц в калориметре. Принцип работы <sup>3</sup>Не счётчика основан на реакции n + <sup>3</sup>He  $\rightarrow$  p + + T + (E = 764 кэB).

Система антисовпадений (AC) – состоит из 4-х сцинтилляторов (CAS), закрывающих магнитную систему спектрометра по сторонам, а также 4-х сцинтилляторов CARD, закрывающих с боковых сторон всё пространство между сцинтилляторами S11 и S31, и одного большого сцинтиллятора (CAT) с отверстием по середине, которое соответствует апертуре трекера, закрывающего сверху магнитный спектрометр. Сцинтилляторы изготовлены из полистирола Bicron BC-448M толщиной 8 мм. Каждый сцинтиллятор CAS просматривается двумя ФЭУ, САТ – восемью ФЭУ Hamamatsu R5900U. АС предназначена для отделения событий, приходящих не в апертуру спектрометра, а также для режекции ложных срабатываний, вызванных частицами обратного тока, при ливне в калориметре или в магните трекера.

С точки зрения информации от данной системы, имеем для каждого события – временное распределение сигналов, зарегистрированных каждым ФЭУ, с шагом 80 нс за 640 нс до события и 640 нс после события, количество срабатываний каждого ФЭУ между событиями. Отметим также, что амплитуды сигналов электроникой АС не фиксируются, в память "ПАМЕЛА" записывается только информация о количестве сигналов выше порога, значение которого установлено равным 1 mip.

Бортовой компьютер (PSCU – Pamela Storage and Control Unit) осуществляет управление всеми системами "ПАМЕЛА" и обеспечивает взаимодействие с системами спутника:

• осуществляет контроль температур и напряжений в детекторах и электронике;

• при выдаче TOF триггерного сигнала бортовой компьютер осуществляет считывание информации со всех детекторов спектрометра и её запись в память "ПАМЕЛА";

• при прохождении экватора (область минимальной скорости счёта) PSCU производит калибровку всех детекторов спектрометра;

• при приходе команд с борта спутника на считывание памяти останавливает запись информации в память (а также любые другие операции, например, калибровку) и выдает всё содержимое памяти в ЗУЦИ (Запоминающее Устройство Цифровой Информации);

• позволяет осуществлять изменение конфигурации работы спектрометра с помощью команд, передаваемых с Земли на спутник.

Спектрометр "ПАМЕЛА" находится в гермоконтейнере, установленном на КА «Ресурс ДК 1». При выводе на орбиту, а также при орбитальных манёврах спектрометр "ПАМЕЛА" находится в положение, обозначенном на рис. 5.7, как «Гермоконтейнер с "Памела" в исходном положении», при эксплуатации спектрометра контейнер находится в рабочем положении.



**Рис. 5.7.** Схематическое изображение спутника «Ресурс ДК 1» с магнитным спектрометром "ПАМЕЛА" на борту

Основные характеристики космического аппарата «Ресурс ДК1»:

- скорость передачи информации по радиолинии –150 Мбит/с;

- тип рабочей орбиты эллиптическая;
- наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора 70,4°;
- диапазон высот рабочей орбиты от 350 до 600 км;
- минимальная высота от 350 до 366 км;
- максимальная высота от 570 до 600 км;

период обращения космического аппарата – от 93,77 до 93,44 мин;

 срок активного существования космического аппарата – 3 года;

Запуск КА «Ресурс ДК-1» успешно состоялся 15 июня 2006 г. После вывода его на орбиту, спектрометр "ПАМЕЛА" был включен 21.06.06г. в 9:00 и продолжает функционировать в настоящее время.

#### 5.2. Состав лабораторной установки

• рабочая станция Fortice W7300, на которой проводится обработка выделенных данных.

• модули подсистемы расширения дисковых массивов FibreCAT SX80, которые используются для хранения данных эксперимента "ПАМЕЛА".

• серверы обработки данных, установленные в ВЦ МИФИ, на которых производится выделение данных по заданным критериям.

#### 5.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством прибора "ПАМЕЛА" и методикой проведения измерений на орбите.

2. Запустить на рабочей станции web-интерфейс программного обеспечения, соединиться с сайтом

http://pamelab.mephi.ru/level2/default.html

Username: pamelaprod

Password: pamprod

3. Для запуска программы отбора выбрать:

параметры условий наблюдения (Set ranges of orbital parameters for events selection);

параметры выделения событий (Set ranges of physical parameters for events selection);

параметры событий для получения результатов (Which parameters do you want to extract from LEVEL2?).

4. Нажать кнопку "search"; наблюдать за процессом отбора событий.

5. Для записи отобранных событий в файл нажать кнопку "Write".

6. Для построения графиков нажать кнопку "Scatter plot".

7. Наблюдать за процессом подготовки данных; по окончании нажать кнопку "Scatter plot".

8. В окне графика в верхнем правом углу выбрать тип графика; в верхнем левом углу нажать кнопку "Load Data File".

9. Получить зависимость скорости счета прибора "ПАМЕЛА" в спокойной геомагнитной обстановке, как функцию положения на орбите в географических и геомагнитных координатах. По полученной зависимости определить области внутреннего и внешнего радиационных поясов.

10. Получить аналогичные зависимости для периода возмущений, вызванных солнечной активностью. Сравнивая полученные зависимости оценить влияние солнечной активности на потоки заряженных частиц.

11. Построить диаграммы зависимости скорости частиц и удельных потерь энергии от жесткости. В этих диаграммах найти области, соответствующие протонам, ядрам гелия и электронам.

12. Для завершения работы нажать кнопку "Logout".

13. В заключение дать объяснение полученным результатам.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое жесткость? Как измеряется жесткость в приборе "ПАМЕЛА"?

2. Как происходит выделение частиц, летящих через прибор сверху вниз?

3. Как в приборе разделяются протоны, электроны и антипротоны?

4. Что такое внешний и внутренний радиационные пояса?

5. Как различаются ионизационные потери для протонов и ядер гелия при одной жесткости?

#### Лабораторная работа №6

#### ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ (ЭКСПЕРИМЕНТ "АРИНА")

**Цель работы:** изучение физических факторов, определяющих радиационные условия в околоземном космическом пространстве (ОКП), – потоков элементарных частиц и ядер в ОКП.

#### Введение

Околоземное космическое пространство является многокомпонентной средой, в состав которой входят различные физические объекты: плазма, электрические и магнитные поля, потоки заряженных частиц в широком диапазоне энергий, электромагнитные излучения, нейтральные атомы и др. В спокойных (стационарных) условиях все перечисленные компоненты находятся в равновесных состояниях, характеризующихся некими стационарными параметрами. Так, например, заряженные частицы описываются интенсивностью, энергетическими спектрами, питч-угловыми распределениями, широтными и долготными зависимостями и др. В нестационарных условиях при внешних воздействиях (например, солнечные вспышки, геофизические события) некоторые компоненты (а возможно, и все) околоземного космического пространства возмущаются, при этом возмущения могут быть как глобальные, так и локальные, могут иметь различную длительность. К радиационным возмущениям относятся изменения (вариации) потоков заряженных частиц (электронов, протонов, ядер гелия и др.).

Вариации потоков высокоэнергичных заряженных частиц в околоземном космическом пространстве вызываются солнечномагнитосферными и геофизическими процессами, включая катастрофические (например, землетрясения).

Условно все возможные вариации потоков частиц можно разделить на две группы. Первая – сильные вариации, сопровождающиеся значительными возрастаниями потоков частиц, которые могут длиться от долей секунды до нескольких лет и имеют настолько высокую интенсивность, что представляют непосредственную радиационную опасность для людей и технологических систем (например, для электронного оборудования на космических аппаратах, солнечных батарей и т.п.), оказывающихся в зонах околоземного пространства, где эти вариации образуются. Как правило, такие вариации возникают в околоземном космическом пространстве после мощных солнечных протонных событий, сопровождающихся корональными выбросами солнечного вещества, а также формировались в результате техногенных воздействий: высотных ядерных взрывов, проведенных в 1960–1970 годы США и СССР.

Другая группа вариаций потоков частиц в отличие от первой имеет достаточно низкие интенсивности, не намного превышающие стационарные фоновые значения. Поэтому они не представляют никакой угрозы ни для людей, ни для технологических систем, находящихся в космосе. Подобные вариации формируются возмущениями естественного радиационного пояса при протекании различных природных процессов, таких как землетрясения, извержения вулканов, грозы, магнитосферные бури и суббури и др., и являются слабыми индикаторами, своеобразным «радиационным эхом» перечисленных явлений, среди которых есть и катастрофические, например землетрясения. Поэтому изучение таких вариаций наряду с научным интересом имеет и важное прикладное значение с точки зрения возможности использования этих индикаторов для решения прогностических задач в случае землетрясений, извержений вулканов и т.п.

Эксперимент "АРИНА", поставленный на космическом аппарате «Ресурс-ДК» №1, направлен на исследование таких возмущений и изучение возможности их использования для решения прогностических задач.

Для выявления радиационных возмущений в ОКП необходимо знание потоков частиц в ОКП в стационарных условиях. Стационарные потоки частиц в ОКП формируются потоками галактических космических лучей (ГКЛ), потоками вторичных космических лучей, образующихся при взаимодействии ГКЛ с остаточной атмосферой Земли (частицы атмосферного альбедо), и частицами радиационного пояса Земли. В данной лабораторной работе проводится изучение стационарных потоков частиц различной природы в ОКП.

#### 6.1. Эксперимент "АРИНА". Краткое описание

Специализированная аппаратура для регистрации всплесков высокоэнергичных электронов и протонов была разработана МИФИ. Ее физическая схема приведена на рис. 6.1, краткое описание дано во введении лабораторной работы № 1, подробное описание представлено в приложении П6.1.



Рис. 6.1. Физическая схема спектрометра "АРИНА"

Эксперимент "АРИНА" осуществляется на низкоорбитальном космическом аппарате «Ресурс-ДК» №1 с параметрами орбиты: высотой в пределах 350-600 км и наклонением 70°. На рис. 6.2 приведена схема размещения основных узлов на борту космического аппарата. Спектрометр "АРИНА" установлен в приборном гермоконтейнере. Толща вещества в поле зрения спектрометра составляет около 0,5 г/см<sup>2</sup>. Основной ориентацией спутника является орби-

тальная. В этом случае ось спектрометра "АРИНА" будет перпендикулярна плоскости орбиты космического аппарата, и реализуются оптимальные условия для регистрации под радиационным поясом высыпающихся частиц. Следует отметить, что измерения всплесков частиц в радиационном поясе практически невозможно осуществить из-за резкой неоднородности и анизотропии фоновых потоков захваченных частиц.



Рис. 6.2. Схематическое изображение космического аппарата «Ресурс-ДК» №1

Продолжительность эксперимента, как и срок функционирования космического аппарата на орбите, будет составлять не менее 3-х лет. Измерения потоков частиц проводятся непрерывно.

Основные характеристики космического аппарата «Ресурс-ДК» №1:

- тип рабочей орбиты эллиптическая;
- наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора 70,4°;
- диапазон высот рабочей орбиты от 350 до 600 км;
- минимальная высота от 350 до 366 км;
- максимальная высота от 570 до 600 км;

период обращения космического аппарата – от 93,44 до 93,77 мин.

- скорость передачи информации по радиолинии –150 Мбит/с;

срок активного существования космического аппарата – 3 года;

Запуск КА «Ресурс ДК-1» успешно состоялся 15 июня 2006 года. После вывода его на орбиту спектрометр "АРИНА" был включен 21.06.06 и продолжает функционировать в настоящее время.

Подробное описание спектрометра и технического обеспечения проведения эксперимента "АРИНА" приведено в Приложении Пб.1.

#### 6.2. Описание используемого программного обеспечения

Исходными для обработки файлами являются файлы данных (типа «binary»), содержащие суточную научную информацию по эксперименту "АРИНА", выделенную наземным комплексом приема и обработки информации (НКПОИ). Файлы имеют вид: «имя файла.ari» и записаны в архив (первичная база данных).

Для обработки первичной базы данных по эксперименту используется разработанный пакет программ:

- 1. UnPacking.exe;
- 2. QuickLook.exe;

3. PhysAnArv6.exe.

Рассмотрим более подробно работу каждой из представленных выше программ.



**Рис. 6.3.** Интерфейс программы UnPacking.exe

Программа UnPacking.exe предназначена для распаковки файлов научного формата (с расширением \*.ari). Интерфейс программы представлен на рис. 6.3, он появляется на экране монитора сразу после запуска программы.

Распаковка полученной информации начинается

нажатием кнопки «Старт». В появившемся окне загрузки выбирается необходимый для обработки файл с расширением \*.ari (рис. 6.4), после нажатия кнопки «Открыть» начинается процесс распаковки выбранного файла.

Открыть файл данных для декодировки ?					?×
Папка:	C August		•	- 🗈 💣 💷 -	
Недавние документы Рабочий стол Мои документы Мой компьютер	☐ files ☐ 06314001.ari ☐ 06334001.ari ☐ 06334001.ari ☐ 06334001.ari ☐ 0634001.ari ☐ 0634001.ari ☐ 06379001.ari ☐ 06379001.ari ☐ 0639001.ari ☐ 0639001.ari ☐ 0639001.ari ☐ 06405001.ari ☐ 06405001.ari ☐ 06401001.ari ☐ 06401001.ari ☐ 0641001.ari	06435001.ari           06450001.ari           06450001.ari           06450001.ari           06450001.ari           06450001.ari           0647001.ari           06481001.ari           0645001.ari           0647001.ari           06481001.ari           06513101.ari           06526001.ari           06526001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari           06542001.ari	m         06560001.ari           m         06572001.ari           m         06576001.ari           m         06602001.ari           m         06602001.ari           m         06602001.ari           m         06602001.ari           m         06602001.ari           m         06633001.ari           m         06633001.ari           m         06630001.ari           m         0663001.ari           m         06664001.ari           m         06664001.ari	06667001.ari           06678001.ari           06678001.ari           06683001.ari           06693001.ari           06670001.ari           06670001.ari           06712001.ari           0672001.ari           06739001.ari           06739001.ari           06739001.ari           06739001.ari           06758001.ari           06758001.ari           06750001.ari           06750001.ari           06750001.ari           06750001.ari	
	<				>
Сетевое	Имя файла:	06773001.ari		•	Открыть
	Тип файлов:	Файлы НА "АРИ	HA''(*.ari)	-	Отмена

Рис. 6.4. Интерфейс программы UnPacking.exe после нажатия «Старт»

Результатом работы программы является отчет о проведенном анализе качества полученных данных (рис. 6.5) и создание папки с названием, соответствующим имени (номеру) обрабатываемого файла, которая содержит данные (научную и тестовую информацию) в файловом виде.

🕆 Система первичной обработки данных			
Отчет			
о проведенном анализе качества полученных данных			
Файл : D:\arina\Diplom\Review\August\0677	Файл : D:\arina\Diplom\Review\August\06773001.ari		
Дата и время распаковки : 14.02.2008 13:07:33 Требуемое число пакетов 2660			
Принятое число пакетов	2027		
Число неправильно переданных пакетов	633		
Вывод: принято 633 неправильно переданных пакетов. Печать ОК			

Рис. 6.5. Интерфейс программы UnPacking.exe после завершения работы

Следующим этапом работы с данными является запуск программы QuickLook.exe (рис. 6.6)

🗊 Экспресс-анализ			
Введите дату сброса научной информации			
день 31 месяц 08	год 2007		
Начать анализ информации Старт			
Purior			
Завершить расоту с программои			

Рис. 6.6. Интерфейс программы QuickLook.exe

В появившемся окне вводится дата сброса научной информации с борта КА на наземную приемную станцию. Обработка и анализ информации начинается нажатием кнопки «Старт». Далее в окне синхронизации времени (рис. 6.7) вводится последняя перед сбросом обрабатываемого файла дата обнуления бортового таймера (БШВ, бортовая шкала времени).

🕆 Синхронизация времени			
Введите коррекцию времени. Коррекция времени должна быть проведена раньше начала накопления научной информации на данном маршруте			
Московское время			
день 09 месяц 07 год 2007			
час 00 минута 00 секунда 00			
Бортовое время			
сутки 00 час 00 минута 00 секунда 00			
ОК Отмена			

Рис. 6.7. Интерфейс программы QuickLook.exe после нажатия «Старт»

Дата обнуления таймера содержится в файле timezero.txt в директории timezero. Нажать «ОК». Далее в появившемся окне выбирается в созданной директории файл scientific\_infN.dat (N – четное число) (рис. 6.8). Нажать кнопку «Открыть».

Выберите фай	іл "Scientific_inf*.	dat" для экспресс	анали	3a	?×
Папка:	06773001		•	⇔ € ff ⊡•	
Недарние документы Робочий стол Оки документы Мой компьютер	Chartof dat Contradid dat Contradi	Synchr94.dat     Tork94.dat     Tork94.dat     Tork94.dat     Tork94.dat     Tork95.dat     Dest85.dat     Dest85.dat     Dest85.dat     Dest85.dat     Dest85.dat			
Сетевое окружение	Имя файла: S Тип файлов: Ф	cientific_inf84.dat Райлы данных (°.dat)		•	Открыть Отмена

**Рис. 6.8.** Интерфейс программы QuickLook.exe (выбор файла)

После выполнения этой программы появляется отчёт о проведенном анализе функционирования НА "АРИНА" (рис. 6.9), и создается в вышеуказанной папке новый файл scientific\_infN.dat с научной информацией, привязанной к декретному московскому времени, а также файлы служебного формата, содержащие результаты тестирования систем прибора и информацию о прохождении команд управления.

Отчет		
о проведенном анализе функцио	онирования НА "	АРИНА"
Файл: D:\arina\Diplom\Review\August\06773001_1	1\Scientific_inf84.dat	
Наименование проверки	Результат	Состояние НА "АРИНА"
Эффективность С1 (более 90%)	92.05 %	на момент вывода
Эффективность С2 (более 90%)	92.71 %	информации
Эффективность СЗ (более 90%)	98.49 %	🖂 КВКЛ ОИП
Эффективность С4 (более 90%)	93.18 %	
Эффективность C5 (более 90%)	98.97 %	
Эффективность С6 (более 90%)	97.53 %	I¥ KU1U
Эффективность С7 (более 90%)	97.51 %	L KCa
Эффективность C8 (более 90%)	96.20 %	🔽 КФОН
Эффективность С9 (более 90%)	97.25 %	🔽 КВЫВОД
Эффективность С10 (более 90%)	44.35 %	
Наличие временной привязки событий	+	Дата экопресс-анализа : 14.02.2
Темп счета лежит в диапазоне от 0,01 до 100000 соб./с	+	
Количество сбоев при передаче	0	Время : 14:44:16
Вывод: все параметры в норме		

Рис. 6.9. Интерфейс программы QuickLook.exe после завершения работы

Завершающим этапом на стадии предварительной обработки телеметрической базы данных является запуск программы PhysAnArv6.exe (рис. 6.10). Открыть файл Scientific\_infN.dat.

• Для получения данных о темпах счета частиц нажать кнопку «CountRates».

• Для получения данных о гистограммах частиц нажать кнопку «Bar charts».

• Для получения данных об отдельных частицах нажать кнопку «Events».

If Analysis of the ARINA scientific information	=×
File Working capacity CountRates Bar charts Events Help	-
File D'arried Displant Review Magazit 0077300	
Received 31/8/2007	
001 syncronization:	
Moscow time and data:	
0.0.0 9/7/2007	
Oriboard time:	
0000	
The epoch for calculations: 7206	
Line number: 2	
The epoch of ARINA data: 7243	
	•

Рис. 6/10. Интерфейс программы PhysAnArv6.exe

Результатом работы программы являются выходные файлы научного формата, которые находятся в созданной после работы всех трех программ директории:

1. файл «Событие», содержащий информацию о зарегистрированной частице (информацию о сработавших детекторах, время регистрации, тип частицы, географические координаты и L, B координаты в момент регистрации частицы);

2. файлы «Гистограммы» (histcounte.dat и histcountp.dat), содержащие темпы счёта отдельно для электронов и протонов в различных энергетических каналах (7 каналов), регистрируемые каждые 20 с., привязанные к географическим координатам и L, B – параметрам;

3. файл «Счетчики» (textcount.dat), содержащий темпы счёта триггеров НА "АРИНА" и её отдельных детекторов, регистрируе-88 мые каждые 5 с., привязанные к географическим координатам и L, В – координатам.

В данной лабораторной работе используются файлы с информацией по форматам «Счетчики» и «Гистограммы».

#### 6.3. Состав лабораторной установки

Состав лабораторной установки включает в себя аппаратные и программные средства: рабочую станцию Fortice W7300, на которой проводится обработка экспериментальных данных, и набор специализированных программ для обработки и анализа выделенных данных по эксперименту "АРИНА".

Необходимые для выполнения лабораторной работы базы данных и программное обеспечение находятся в директории Lab1\_for\_student:

• директории (telem\_arina, CNT, HST);

• файлы (UnPacking.exe, QuickLook.exe, PhysAnArv6.exe).

В директории telem\_arina находятся первичные файлы данных по эксперименту "АРИНА" в телеметрическом формате (имя\_файла.ari) и директория timezero с файлом timezero.txt, содержащим даты обнуления бортового таймера.

Директория Lab1\_for\_student является рабочей для обработки первичных файлов данных (типа: имя\_файла.ari) и для получения файлов, содержащих физическую информацию по темпам счета частиц (типа textcountiii.dat) или по гистограммам распределения зарегистрированных частиц (типа histcounteiii.dat и histcountpiii.dat).

Директория CNT является рабочей для обработки информации по темпам счета частиц и содержит файлы исходных данных (типа textcountiii.dat), файл с результатами расчета (output\_c.txt), графические файлы с результатами, исполняемый файл Arina\_CR\_lab.exe (программа обработки).

Директория HST является рабочей для обработки информации по гистограммам частиц и содержит файлы исходных данных (типа histcountiii.dat), файл с результатами расчета (output\_h.txt), графические файлы с результатами, исполняемый файл Arina\_HST\_lab.exe (программа обработки).

#### 6.4. Порядок выполнения работы

Ознакомиться с устройством прибора "АРИНА", методикой проведения измерений на орбите, описанием используемого программного обеспечения и составом лабораторной установки.

#### Предварительная обработка данных

Провести обработку файлов данных с телеметрической информацией (10 файлов типа \*.ari) программами UnPacking.exe, Quick-Look.exe, PhysAnArv6.exe по методике, подробно описанной выше в разделе 3, предварительно скопировав в рабочую директорию Lab1\_for\_student выбранные файлы из директории telem\_arina. В результате в создаваемой в процессе расчета директории (см. раздел 2) формируются необходимые для выполнения лабораторной работы файлы (textcountiii.dat, histcounteiii.dat и histcountpii.dat).

Лабораторная работа состоит из двух частей, в каждой из которых выполняется своя задача.

### Часть № 1. Изучение изменения темпа счета суммарного потока частиц вдоль орбиты космического аппарата

1. Получить зависимость темпа счета суммарного потока частиц, остановившихся в приборе, вдоль орбиты космического аппарата для одного сеанса измерений.

Для этого в рабочей директории CNT запустить программу Arina\_CR\_lab.exe. На экране дисплея появляются инструкции, которым необходимо следовать.

Для выбора режима расчета темпа счета суммарного потока частиц набрать с помощью клавиатуры символ «1», нажать клавишу «ввод» (enter). На экране появляется предложение набрать имя исходного файла для его последующей обработки. Ввести с помощью клавиатуры имя выбранного файла с указанием его расширения (например, textcount123.dat) и нажать клавишу «ввод» (enter). После этого программа Arina\_CR\_lab.exe начинает выполнять необходимые расчеты темпов счета частиц на временном интервале измерений, заложенном в выбранном файле (например, textcount123.dat).

2. Результаты расчета записываются в файл output c.txt.

3. С помощью стандартного пакета статистической обработки «Origin» (или его аналога «qtiplot») провести визуализацию полученных результатов.

Для этого запустить программу Origin.exe (находится на рабочем столе экрана монитора), выбрать для ввода (import ascii) файл output\_c.txt, находящийся в директории «CNT». После его загрузки, используя экранное меню «Origin» (plot), построить график зависимости темпа счета частиц (колонка «H» файла output\_c.txt) от времени (колонка «G» файла output c.txt) в режиме «scatter».

Используя стандартные опции «Origin», провести необходимое масштабирование графика, ввести обозначение осей, даты проведения измерения темпов счета частиц.

4. Провести анализ полученных результатов.

Выделить на графике характерные периоды времени, соответствующие нахождению космического аппарата в различных зонах околоземного космического пространства: экватору, высоким широтам (найти зоны широтного хода), внутренней и внешней зонам радиационного пояса.

Определить типичную величину широтного эффекта как  $\epsilon_{\text{шир}} = N_{\text{tвш}}/N_{\text{tэ.}}$ 

Определить величину возрастания потоков частиц в зонах радиационного пояса как  $\varepsilon_{\text{рпвнутр}} = N_{\text{tвнутр}}/N_{\text{t}_{3}}$  и  $\varepsilon_{\text{рпвнешн}} = N_{\text{tвнешн}}/N_{\text{t}_{3}}$ .

Здесь N<sub>tэ</sub> - темп счета частиц на экваторе;

N<sub>tвш</sub>- темп счета частиц на высоких широтах;

N<sub>tвнутр</sub> – темп счета частиц во внутренней зоне радиационного пояса;

N<sub>tвнешн</sub> – темп счета частиц во внешней зоне радиационного пояса.

5. Дать физическое объяснение наблюдаемым в темпах счета частиц эффектам.

6. График и параметры є<sub>шир</sub>, є<sub>рпвнутр</sub>, є<sub>рпвнешн</sub> занести в лабораторный журнал (создать его в электронном виде).

### Часть № 2. Определение пространственных характеристик внутренней и внешней зон радиационного пояса Земли

1. Провести расчет (используя PhysAnArv6.exe) информационного потока «Гистограммы» и получить (файлы типа histcounte123.dat для электронов и histcountp123.dat для протонов) счета отдельно электронов и протонов в различных энергетических каналах (темпы). Для большей статистической обеспеченности результатов рассчитать не менее 10 файлов для электронов и протонов.

2. Создать два текстовых файла (seans\_e.dat и seans\_p.dat), имеющие одинаковую структуру и содержащие одну колонку с именами рассчитанных файлов гистограмм.

Например: histcounte123.dat histcounte214.dat histcounte226.dat

ит. д.

3. Провести работу по определению пространственного положения протонного радиационного пояса (в пространстве координат Мак-Илвайна L,B).

Для этого выполнить следующее.

3.1. Скопировать файл seans\_p.dat в файл seans.dat. Все подготовленные файлы histcountpiii.dat перенести в рабочую директорию «HST».

3.2. Запустить исполняемый файл Arina\_HST\_Lab.exe для расчета нового текстового файла с данными, позволяющими провести физический анализ.

После запуска программы выполнить в диалоговом режиме выбор граничных условий и инициализаций, необходимых для работы программы.

3.2.1. Для определения зоны ОКП, занимаемой протонами радиационного пояса в L пространстве, выбрать необходимый диапазон В-координат (геомагнитная индукция), например, в пределах от 0.18 (B<sub>min</sub>) до 0.28 (B<sub>max</sub>). Диапазон координат L выбрать в заведомо более широких пределах, чем изучаемый L-диапазон радиационного пояса, например, L<sub>min</sub>=0.9 и L<sub>max</sub>=10. Для одновременной обработки всех файлов, перечисленных в файле seans.dat и содержащихся в рабочей директории «HST», ввести символ «2» в ответ на запрос об обработке количества файлов, содержащихся в рабочей директории.

В результате работы программы Arina\_HST\_Lab.exe формируется файл output\_h.txt, позволяющий провести физический анализ результатов.

3.2.1.1. Для визуализации зависимости  $N_{p/t} = f(L)$  при заданной координате В ( $B_{min} < B < B_{max}$ ) воспользоваться стандартным программным пакетом обработки данных «Origin» (или его аналогом). Выполнить пункт 3 части №1 лабораторной работы. Выбрать в качестве оси «Х» колонку «S» файла output\_h.txt и в качестве оси «Y» колонку «H» (соответствует протонам с энергией 30–40 МэВ). Построить график  $N_{p/t} = f(L)$ , ввести необходимые обозначения координатных осей, указать в поле рисунка: протоны (30–40 МэВ), даты проведения измерений, диапазон В-координат.

3.2.1.2. Выявить на графике характерные особенности и дать им объяснение. Определить пространственное положение протонной компоненты радиационного пояса по координате L. Результаты занести в лабораторный журнал.

3.2.2. Для определения зоны ОКП, занимаемой протонами радиационного пояса в В – пространстве (построение  $N_{p/t} = f$  (В) при заданной координате L, ( $L_{min} < L < L_{max}$ ), запустить программу Arina\_HST\_Lab.exe и в диалоговом режиме выбрать необходимый диапазон L-координат, например, в пределах от 1.2 ( $L_{min}$ ) до 1,8 ( $L_{max}$ ). Диапазон координат В выбрать в заведомо более широких пределах, чем изучаемый В-диапазон радиационного пояса, например,  $B_{min} = 0,1$  и  $B_{max} = 1$ . Далее провести работу в соответствии с пунктами 3.2.1, 3.2.1.1 и 3.2.1.2, лишь заменив в качестве оси «Х» колонку «S» на колонку «T».

4. Провести работу по определению пространственного положения электронного радиационного пояса (в пространстве координат Мак-Илвайна L, B).

Для этого выполнить пункты и подпункты раздела 3 части № 2, скопировав файл seans\_e.dat в файл seans.dat и перенеся все подготовленные файлы histcounteiii.dat в рабочую директорию «HST». 5. Оформить лабораторный журнал с полученными графиками и результатами анализа. Распечатать лабораторный журнал для представления в виде отчета.

Форма представления результатов – лабораторный журнал, содержащий следующие разделы:

1) фамилия и инициалы студента;

2) номер группы;

3) дата выполнения работы;

4) фамилия и инициалы преподавателя, под руководством которого проводится работа;

5) график N/t = f (t) (темп счета вдоль орбиты) и результаты его анализа;

6) график  $N_{p/t} = f(L)$  и результаты его анализа;

7) график N<sub>p/t</sub> = f (B) и результаты его анализа;

8) график  $N_{e/t} = f(L)$  и результаты его анализа;

9) График N<sub>e/t</sub> = f (B) и результаты его анализа;

10) оценка преподавателя.

Приложение

### Подробное описание научной аппаратуры и эксперимента "АРИНА"

#### Назначение научной аппаратуры (НА) "АРИНА"

НА "АРИНА" предназначена для:

- измерения потоков высокоэнергичных протонов и электронов;

 – регистрации всплесков высокоэнергичных протонов и электронов;

- идентификации протонов и электронов;

- измерения энергетических спектров частиц;

- измерения временных профилей всплесков частиц.

#### Состав НА "АРИНА"

НА "АРИНА" выполнена в виде моноблока и имеет следующий состав: детекторная система, система сбора и обработки информации (ССОИ), система электропитания (СЭП), блок коммутаций (БК), адаптер ВРЛ (см. рис. П.1).

Детекторная система состоит из годоскопической триггерной системы, калориметра и системы антисовпадений. Она предназна-94 чена для регистрации отдельных частиц: электронов с энергиями 3÷30 МэВ и протонов с энергиями 30÷100 МэВ, входящих в апертуру прибора, их идентификации, измерения энергий и углов прилета частиц, выработки триггерных сигналов для запуска системы сбора и обработки информации НА "АРИНА".

Система сбора и обработки информации предназначена для записи в накопительное запоминающее устройство (ЗУ) прибора информации о регистрируемых частицах и состоянии отдельных систем прибора, для предварительной обработки, сжатия информации и подготовки информации к выводу в бортовую аппаратуру (БА) ВРЛ.

Система электропитания предназначена для преобразования бортового напряжения в уровни напряжения, необходимые для обеспечения функционирования систем прибора.

Блок коммутаций обеспечивает управление прибором по командам управления, подаваемым с борта КА.

Адаптер ВРЛ предназначен для организации передачи научной информации с прибора в бортовой блок высокоскоростной радиолинии (БА ВРЛ) космического аппарата.

#### Принцип действия НА "АРИНА"

Прибор состоит из многослойной стопки сцинтилляционных детекторов C1-C10 (см. рис. П1), выполненных на основе полистирола и просматриваемых двенадцатью фотоумножителями ФЭУ-60. Заряженные частицы (протоны и электроны), движущиеся в прямом направлении и попадающие в апертуру прибора, проходят последовательно через детекторы C1, C2, C3 и т.д., теряют энергию и могут поглотиться в приборе.

Для обеспечения отбора частиц в требуемых энергетических диапазонах толщина сцинтилляционных пластин подобрана таким образом, что электроны с энергией ≤ 30 МэВ и протоны с энергией ≤ 100 МэВ полностью поглощаются в пластинах детекторов C1÷C9 и поэтому не могут быть зарегистрированы детектором C10.

Высокоэнергичные частицы, прошедшие через весь прибор (детекторы C1÷C10) в прямом направлении, и частицы, движущиеся в противоположном направлении, подавляются детектором C10 (АД), включенным в антисовпадение. Также дополнительно в антисовпадение может быть включен детектор С9.





Так как ионизационные потери нерелятивистских протонов значительно превышают ионизационные потери ультрарелятивистских электронов, остановившиеся в веществе прибора частицы надежно идентифицируются по величине их энерговыделения (амплитуде сигнала с фотоумножителя) в каждом детекторе. Энергия электронов и протонов измеряется по длине их пробега в слоях детекторной системы прибора.

Информация накапливается в системе сбора и обработки информации и по команде управления, вырабатываемой бортовым компьютером КА, передается на наземную приемную станцию.

#### Форматы информации

В состав накапливаемой информации входят научные и служебные форматы, записанные в хронологическом порядке. К научным форматам относятся:

 – формат «Событие» (ФНС), содержащий полную информацию о зарегистрированной частице (информацию о сработавших детекторах, времени регистрации частицы, тип частицы и др.);

 – формат «Гистограммы» (ФНГ), содержащий угловые и энергетические распределения электронов и протонов, регистрируемые каждые 20 с;

– формат «Счетчики» (ФНЧ), содержащий темпы счета триггеров НА "АРИНА" и ее отдельных детекторов (число частиц, зарегистрированных в течение 5 с).

Дополнительно каждый научный формат содержит время его формирования и информацию о поданных командах управления.

К служебным форматам относятся:

 – формат «Служебный» (ФСС), содержащий результаты тестов системы сбора и обработки информации, а также информацию о прохождении команд управления и темпы счета НА "АРИНА" и отдельных детекторов;

 – формат «Тестовый» (ФСТ), содержащий фиксированную информацию (этот формат служит для проверки правильности передачи информации на наземную станцию).

При наземной обработке научной информации (НИ) используются данные об угловых и линейных параметрах движения КА, находящиеся в файле баллистической информации.

# Технические возможности обеспечения проведения эксперимента, средства контроля, управления НА "АРИНА"

Для обеспечения работы и управления НА "АРИНА" используются пять групп электрических каналов связи с КА «Ресурс ДК1».

1-я – подключение электропитания напряжением ±27 В;

2-я – подача команд управления – 11 команд. Перечень и функции команд приведены в таблице П1;

Таблица П1

Номер КУ	Наименование	Функция КУ	
01	ВКЛ ОИП	Включение основного источника питания	
02	ОТКЛ ОИП	Отключение основного источника питания	
03	ВКЛ РИП	Включение резервного источника питания	
04	ОТКЛ РИП	Отключение резервного источника питания	
05	ВКЛ С10	Включение сигнала детектора С10 в триггер	
06	ОТКЛ С10	Исключение сигнала детектора С10 из триг-	
		гера	
07	ВКЛ С9	Включение сигнала детектора С9 в триггер	
08	ОТКЛ С9	Исключение сигнала детектора С9 из триг-	
		гера.	
09	ФОН	Включение полос C1-1 и C2-2 в детекторах C1, C2	
10	ВСПЛЕСК	Выключение полос С1-1 и С2-2 в детекторах С1, С2	
11	ВЫВОД	Включение вывода информации с НА "АРИНА" по каналу ВРЛ	

3-я – временная привязка к бортовому времени, метка времени с частотой 1 Гц;

4-я – канал передачи научной информации с НА "АРИНА" в БА ВРЛ КА «Ресурс ДК1».

5-я – канал телеметрической информации о состоянии систем НА "АРИНА": 9 телеметрических параметров. Перечень и функции телеметрических параметров указаны в таблице П2.

Таблица П2

Номер ТМ- параметра	Наименование	Функция ТМ-параметра	
01	КОИП	индикация наличия питания на основных комплектах электроники НА "АРИНА"	
02	КРИП	индикация наличия питания на резервных комплектах электроники НА "АРИНА"	
03	КС10	индикация включения детектора C10 в антисовпадение	
04	КС9	индикация включения детектора С9 в антисовпадение	
05	КФОН	индикация включения полос С1_1 и С2_2	
06	КВЫВОД	индикация процесса вывода информации по каналу БА ВРЛ	
07	ПИТ5В	индикация наличия низковольтного пита- ния в НА "АРИНА"	
08	ПИТ-ФЭУ	индикация наличия высоковольтного питания в НА "АРИНА"	
09	термодатчик	индикация температуры внутри НА "АРИНА"	

#### Режимы работы НА "АРИНА"

Для работы на борту КА «Ресурс-ДК1» предусмотрены три режима работы НА "АРИНА".

• «Основной» режим предназначен для регистрации высокоэнергичных заряженных частиц, входящих в апертуру прибора, их идентификации, измерения энергий и углов прилёта, формирования и записи в НЗУ НИ. Этот режим используется при работе НА "АРИНА" вне области радиационного пояса Земли, при этом, ССОИ формирует и записывает все виды научных форматов информации.

• «Специальный» режим предназначен для работы НА "АРИНА" в области Бразильской магнитной аномалии (БМА), где интенсивности потоков высокоэнергичных частиц на 2–3 порядка превышают интенсивности потоков частиц вне радиационного пояса Земли. В этом режиме также осуществляется регистрация высокоэнергичных заряженных частиц, входящих в апертуру, их идентификация, измерение энергий и углов прилёта, формирование и запись НИ в НЗУ. Кроме того, формируются все виды форматов научной информации, кроме ФНС, что определяется необходимостью уменьшения скорости накопления информации в НА "АРИНА" в областях с высокой интенсивностью частиц.

• «Тестовый» режим предназначен для проверки работоспособности НА "АРИНА" при наземных испытаниях прибора и для периодической проверки характеристик НА "АРИНА" при штатной работе на борту КА «Ресурс-ДК1». В этом режиме осуществляется регистрация высокоэнергичных заряженных частиц, входящих в апертуру, измерение энергий и углов прилёта, формирование и запись всех форматов НИ в НЗУ, при отключении из режима антисовпадений детектора C10.

### Наземный сегмент обеспечения эксперимента "АРИНА"

Наземный сегмент эксперимента "АРИНА" включает наземный комплекс (НК) "ПАМЕЛА", комплекс тематической обработки информации (КТОИ), наземный комплекс управления (НКУ) и наземный комплекс приема и обработки информации (НКПОИ).

НКПОИ выделяет научную информацию НА "АРИНА" после каждого сброса информации с борта КА на наземную станцию приема и средствами высокоскоростной локальной сети передает в НК "ПАМЕЛА", где организуется оперативный архив. Время хранения файлов эксперимента "АРИНА" в оперативном архиве НК "ПАМЕЛА" составляет 30 суток.

#### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные процессы, в которых формируются потоки высокоэнергичных заряженных частиц, наблюдаемые в околоземном космическом пространстве.

2. Укажите характерные особенности, наблюдаемые в темпах счета научной бортовой аппаратуры, регистрирующей высокоэнер-

гичных заряженных частицы, при движении космического аппарата вдоль орбиты с наклонением близким к 90°.

3. Дайте краткое описание физической схемы и физических характеристик спектрометра "АРИНА", укажите параметры орбиты космического аппарата «Ресурс-ДК» №1.

4. Перечислите задачи, решаемые в данной лабораторной работе.

5. Дайте краткое описание программного обеспечения и файлов с экспериментальными данными, используемых в данной лабораторной работе.

#### Список рекомендованной литературы

К лабораторной работе № 1

1. Бакалдин А.В. и др. Изв. РАН. Сер. физ. 2005. Т. 69. № 6. С. 918.

2. Бакалдин А.В. и др. Космические исследования. 2007. Т. 45. № 5. С. 479.

3. Geant4 Collaboration. Geant4 User's Guide for Application Developers. 29 June, 2007

#### К лабораторной работе № 2

1. Autodesk Inventor Практический курс Рубина Н. Компьютер пресс Москва 2004

2. Autodesk Inventor Series 10 Основные принципы. Autodesk, Inc. USA 2005

К лабораторной работе № 3

1. Гальпер А.М. Космические лучи. – 2-е изд., исп. и доп. М.: МИФИ, 2002. 172 с.

2. Прикладная ядерная космофизика: Учебное пособие / К.А. Боярчук, А.М. Гальпер, С.В. Колдашов, С.Е. Улин; Под ред. А.М. Гальпера. М.: МИФИ, 2007. 216 с.

3. Allkofer O.C., Grieder P.K.F. Cosmic Rays on Earth, Karlsruhe, 1984.

4. Аверкиев В.В., Кушин В.В., Покачалов С.Г. Лабораторный практикум по курсу "Экспериментальные методы ядерной физики". "Полупроводниковый, трековый и сцинтилляционный детекторы". М.: МИФИ, 1990. 60 с.

5. Аверкиев В.В., Кушин В.В., Покачалов С.Г. Лабораторный практикум по курсу "Экспериментальные методы ядерной физики". "Газовые ионизационные детекторы". М.: МИФИ, 1990. 48 с.

6. Инструкция по эксплуатации осциллографа TDS5054B.

7. Инструкция по эксплуатации генератора AFG3252.

#### К лабораторной работе № 4

1. Боярчук К.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В., Улин С.Е. Прикладная ядерная космофизика. М.: МИФИ, 2008.

2. Абрамов А.П., Казанский Ю.А., Матусевич У.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.:Атомиздат, 1970.

#### К лабораторной работе № 5

1. Боярчук К.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В., Улин С.Е. Прикладная космофизика. М.: МИФИ, 2007.

2. Гальпер А.М. Космические лучи. М.: МИФИ, 2002.

3. Радиационные условия в космическом пространстве / Под ред. М.И. Панасюка. М.: МГУ, 2006.

#### К лабораторной работе № 6

1. Боярчук К.А., Гальпер А.М., Колдашов С.В., Улин С.Е. Прикладная ядерная космофизика. М.: МИФИ, 2007.

2 Гальпер А.М. Космические лучи. М.: МИФИ, 2002.

3. Радиационные условия в космическом пространстве / Под ред. М.И. Панасюка. М.: МГУ, 2006.

Лабораторный практикум

## Мониторинг радиационной обстановки ближнего космоса

Под редакцией профессора А.М. Гальпера

Редактор Т.В. Волвенкова Оригинал-макет изготовлен С.В. Тялиной

Подписано в печать 30.10.08 Формат 60×94×1/16 Печ. л. 6,5 Уч. изд. л. 9,0 Тираж 120 экз. Изд. № 3/А Заказ №

Московский инженерно-физический институт (государственный университет) 115409, Москва, Каширское ш., 31

Типография издательства «Тровант», г. Троицк Московской обл.