

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

**МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ И КОНТРОЛЯ СВЕРХЧИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДЕТЕКТОРОВ  
ТЕМНОЙ МАТЕРИИ И НЕЙТРИНО**

# 1 Семестр

## Раздел 1 Первый раздел

### 1.1 Контроль по итогам (КИ) - 8 Неделя

#### **Фонд оценочных средств для аттестации на 8 неделе по курсу «Методы создания и контроля сверхчистых материалов для детекторов темной материи и нейтрино»**

В течение первых 8 недель занятий студенты должны пройти тесты 1-7. Пример теста представлен ниже. Контроль и оценка по первому разделу курса проводится по результатам всех тестов. Каждый тест содержит 5 вопросов, на которые студентам предлагается письменно ответить за 15-20 минут. За каждый правильный ответ начисляется 5 баллов, за частично правильный ответ начисляется 2,5 балла, за неправильный ответ начисляется 0 баллов.

#### **Пример задания для теста. Тема «Чистые комнаты, установки по удалению радона из воздуха»**

- 1) Как в подземной лаборатории LSM определили параметры  $\lambda$  и  $\tau_R$  для атомов радона в колонне активированного угля, проработавшей 9 лет в установке по удалению радона из воздуха. Для чего был использован детектор из сверхчистого Ge? Чему было равно время  $\tau_R$ , и как оно соотносится со средним временем жизни атомов радона?
- 2) Чем установка по удалению радона из воздуха коллаборации Super Kamiokande отличается от установки в лаборатории LSM в плане устройства и параметров работы?
- 3) Объясните закон Генри для растворенных в жидкостях газов. При каких условиях атомы радона можно максимально эффективно удалять из жидкости (воды).
- 4) Объясните, чем отличается свежедобытый свинец от "старого" свинца, активность какого изотопа является определяющей, какие дочерние продукты его распада приводят к образованию тормозного излучения.
- 5) Кратко опишите процедуру химической очистки поверхности свинца.

Вид оценочного средства	Критерии	Балл	Максимальный балл
Тест	Дан правильный ответ на вопрос №1	5	25

	Дан правильный ответ на вопрос №2	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №3	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №4	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №5	5	

## Раздел 2 Второй раздел

### 2.1 Контроль по итогам (КИ) - 16 Неделя

#### Фонд оценочных средств для аттестации на 16 неделе по курсу «Методы создания и контроля сверхчистых материалов для детекторов темной материи и нейтрино»

В течение 8-16 недель занятий студенты должны пройти тесты 8-14. Пример теста представлен ниже. Контроль и оценка по второму разделу курса проводится по результатам всех тестов данного раздела. Каждый тест содержит 5 вопросов, на которые студентам предлагается письменно ответить за 15-20 минут. За каждый правильный ответ начисляется 5 баллов, за частично правильный ответ начисляется 2,5 балла, за неправильный ответ начисляется 0 баллов.

#### Пример задания для теста. Тема «Кристаллы»

- 1) Почему болометры работают при температуре  $\sim 10\text{мК}$ , как это связано с теплоемкостью кристалла, чему равна амплитуда сигнала (изменение его температуры) при выделении энергии  $\Delta E$ ? Каким способом измеряют изменение температуры кристалла при температуре  $\sim 10\text{мК}$ ?
- 2) Почему коллаборация CUORE прекратила эксперимент с  $\text{TeO}_2$ , в чем отличие проекта CUPID от CUORE?
- 3) как световой выход зависит от ионизационных потерь (формула), для каких частиц он максимален?
- 4) что представляют собой детекторы света в проекте CUPID? Что такое эффект Неганова-Трофимова-Люка, зачем его используют в детекторах CUPID?
- 5) Перечислите методы очистки поверхности меди, которые использовала коллаборация CUORE

Вид оценочного средства	Критерии	Балл	Максимальный балл
Тест	Дан правильный ответ на вопрос №1	5	25
	Дан правильный ответ на вопрос №2	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №3	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №4	5	
	Дан правильный ответ на вопрос №5	5	

# 1 Семестр

## Экзамен

В конце семестра после освоения соответствующих разделов дисциплины студент сдает экзамен. На экзамене студенту предлагается самостоятельно вынуть из колоды вопрос и в течение одного академического часа подготовить ответ.

### **Список вопросов для проведения экзамена по дисциплине «Методы создания и контроля сверхчистых материалов для детекторов темной материи и нейтрино»**

1. Распределение энергии во Вселенной. Темная материя, ее свойства. Роль темной материи в формировании звезд и галактик. Основные доказательства существования темной материи, гравитационные линзы. Видимая материя, атомарный водород, гало темной материи, профиль Navarro-Frenk-White. Скорость вращения спиральных галактик. Измерение скорости вращения облаков атомарного водорода. Слабо взаимодействующие массивные частицы (WIMP). Предполагаемые сигналы от темной материи в детекторах. Сезонная модуляция сигнала от частиц темной материи. Эксперимент по поиску темной материи DAMA.
2. Поиск слабых сигналов, роль фона. Основные источники фона в детекторах нейтрино и темной материи. Поток мюонов в подземных лабораториях. Нейтронный спектр около уровня моря, модель Гордона. Нейтронный поток на разных высотах. Нейтронная активация материалов детекторов, скорость образования нестабильных изотопов, наведенная активность. Первичные (primordial) радионуклиды, цепочки распада урана-238 и тория-232. Радон-222 и продукты его распада. Оседание дочерних продуктов распада радона на поверхности твердых тел. Особенности загрязнения твердых тел, объемное и поверхностное загрязнение.
3. Детектор радона с Si PIN фотодиодом. Пример установки с Si PIN детектором для измерения активности радона в жидком сцинтиляторе. Установка по измерению скорости эманации радона с поверхности твердых тел. Низкофоновые Si детекторы большой площади для  $\alpha$ -спектроскопии, счетчик  $\alpha$ -частиц UltraLo-1800, область их применения.  $\gamma$ -детекторы из сверхчистого германия (HPGe), подавление фона пассивной защитой. Нейтронно-активационный анализ. Использование детекторов из сверхчистого Ge для анализа активированных образцов.
4. Чистые комнаты, их классификация и устройство. Источник загрязнения воздуха в чистой комнате. Оборудование для чистых комнат, HEPA/ULPA фильтры, специальная одежда для персонала. Методики работы для персонала. Контроль за чистотой воздуха, счетчики частиц. Особенности чистых комнат в подземных лабораториях, ограничения на площадь, используемую мощность, теплоотвод, контроль содержания радона, кислорода и углекислого газа. Очистка воздуха от радона. Движение атомов

радона через хроматографическую колонну с адсорбирующим материалом. Пример установки по удалению радона из воздуха: LSM (Франция), Super Kamiokande (Япония).

5. Свежедобытый и старый свинец, сравнение активности образцов с использованием детектора из сверхчистого Ge. Пример устройства свинцовой защиты сверх низкофонового Ge детектора в подземной лаборатории Камиока, Япония. Методы удаления поверхностного загрязнения со свинцовых блоков. Примеры использования свинца в детекторах по поиску двойного безнейтринного  $\beta$ -распада в качестве пассивной защиты, эксперименты MAJORANA (SURF), CUORE (Gran Sasso). Преимущества использования свинца в качестве активного вещества детектора нейтрино от вспышки сверхновой. Криогенные калориметры на кристаллах PbWO<sub>4</sub>. Эксперимент RES-NOVA (Gran Sasso). Производство детекторов PbWO<sub>4</sub> из очищенного археологического свинца.
6. Медь, как базовая часть пассивной защиты низкофоновых детекторов. Метод электролитического осаждения меди. Лабораторная установка по производству меди (Canfranc), схема установки, состав электролита, параметры для оптимизации процесса. Изготовление медных частей детекторов темной материи для эксперимента ANIAS, Canfranc. Эксперимент по поиску частиц легкой темной материи DAMIC-M (Modane). Установки по производству электрохимической меди в подземной лаборатории SURF. Химическое травление поверхности меди, "методика MAJORANA". Повторное осаждение полония из раствора на поверхность меди в процессе химического травления. "Динамическая" методика химического травления. Удаление Po-210 с поверхности методом электрополировки меди. Форма  $\alpha$ -пика Po-210 в зависимости от глубины залегания в меди (GEANT 4). Измерение объемной активности полония в меди (XMASS).
7. Чувствительность эксперимента по поиску  $0\nu 2\beta$  распада. Число ожидаемых событий для сигнала/фона в эксперименте по поиску  $0\nu\beta\beta$  Ge-76. Эксперимент GERDA. Производство сверхчистых детекторов из обогащенного Ge-76, основные технологические этапы создания детекторов от обогащенного диоксида Ge до детекторов типа BEGe. Транспортировка германия в специальных контейнерах для защиты от космических лучей. Метод зонной плавки. Структура детектора BEGe (Broad Energy Ge). Движение зарядов внутри BEGe. Удаление фона методом PSD (Pulse-Shape Discrimination). Эффективность химического травления для очистки поверхности Ge. Сравнение эффективности химического травления для разных материалов (Cu, стали, Ge).
8. Кристалл TeO<sub>2</sub>, как болометр при температуре близкой к абсолютному нулю (CUORE). NTD Ge термисторы, их использование в качестве датчиков около абсолютного нуля. Описание детектора в эксперименте CUORE (Gran Sasso). Методика очистки поверхности меди коллаборацией CUORE. Выращивание кристаллов TeO<sub>2</sub>, метод Бридгмана. Использование роботов для сборки детекторов TeO<sub>2</sub> (CUORE). Результат эксперимента

CUORE. Световыход в кристалле сцинтилляторе болометре для разных типов частиц, коэффициент Биркса. Эксперимент CUPID-Mo. Выращивание оптически чистых кристаллов  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$  методом Чохральского (Институт неорганической химии им. А.В.Николаева СО РАН). Проект CUPID: 1 тонна сцинтиллирующих болометров  $\text{Li}_2\text{MoO}_4$ . Детекторы света для CUPID из пластин Ge. Эффект Неганова Трофимова Люка.

9. Использование низкофоновых Ge детекторов для определения географического происхождения продуктов сельского хозяйства. Борьба с фальсификацией продуктов питания. Определение возраста коллекционных вин. Зависимость активности цезия-137 в вине от года сбора винограда. Примеры фальсификации коллекционных вин. Радиобиологические эксперименты в глубоких подземных лабораториях. Влияние радиации на ДНК стволовых клеток в процессе хранения. Защита стволовых клеток от космических лучей и природной радиоактивности при длительном хранении. Влияние ионизирующей радиации на сверхпроводящие квантовые кубиты. Уменьшение влияния радиоактивности на квантовые цепи в глубоких подземных лабораториях. Ужесточение требований к уровню  $\alpha$ -активности материалов используемых для производства микросхем. Припой, как источник  $\alpha$ -частиц.

### Критерии общей оценки:

#### Методика оценки результатов сдачи экзамена

Максимальная сумма баллов за экзамен – 50.

<p>“Отлично” (45-50 баллов)</p>	<p>обучающийся глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и практическими заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.</p>
<p>“Хорошо” (35-44 баллов)</p>	<p>обучающийся твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных</p>

	неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических заданий.
“Удовлетворительно” (30-34 баллов)	обучающийся усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.
“Неудовлетворительно” (ниже 30 баллов)	обучающийся не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практическими задания, задачи.