

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ

(Дисциплина специализации, 4 курс, осенний семестр)

## Цели изучения дисциплины

Углубленное изучение современных детекторов ядерных излучений, сравнение их характеристик и возможностей их использования в различных экспериментах на ускорителях частиц, а также с космическими излучениями.

## Содержание дисциплины (18 лекций по 2 часа)

### Тема 1. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛА В СЧЕТЧИКЕ С ВАКУМНЫМ ФЭУ

- 1.1. Структура ФЭУ
- 1.2. Источники световых сигналов
  - 1.2.1 *Механизм люминесценции в NaI(Tl)*
  - 1.2.2 *Механизм люминесценции в органических сцинтилляторах*
  - 1.2.3 *Черенковское излучение*
- 1.3. Трансформация в сцинтилляционном счетчике поглощенной энергии в электрический сигнал
- 1.4. Статистика при формировании сигнала в ФЭУ
- 1.5. Амплитудные свойства ФЭУ
  - 1.5.1 *Влияние магнитного поля*
  - 1.5.2 *Влияние температуры*
- 1.6. Временные свойства ФЭУ
- 1.7. Шумы
  - 1.7.1 *Послеимпульсы*

### Тема 2. РАЗНОВИДНОСТИ ФЭУ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- 2.1. Определения чувствительности фотокатодов
- 2.2. Спектральные характеристики различных типов фотокатодов
- 2.3. Коэффициент сбора фотоэлектронов
- 2.4. Неоднородность фотокатодов
- 2.5. Амплитудные спектры ФЭУ
- 2.6. Фотоприемники с пониженной чувствительностью к магнитному полю
- 2.7. Радиационная стойкость ФЭУ
- 2.8. Миниатюризация ФЭУ

### Тема 3. ПЕРЕДАЧА СВЕТА НА ФОТОКАТОД

- 3.1. Полное внутреннее отражение
- 3.2. Потери света на границах сред с различными показателями преломления
- 3.3. Способы увеличения чувствительности ФЭУ
- 3.4. Смещение светового спектра
- 3.5. Отражающие поверхности
  - 3.5.1 *Зеркальное отражение*
  - 3.5.2 *Диффузное отражение*
  - 3.5.3 *Новые типы отражателей*

### Тема 4. ОРГАНИЧЕСКИЕ СЦИНТИЛЛЯТОРЫ

- 4.1. Структура и характерные свойства

- 4.2. Тушение сцинтилляций
- 4.3. Влияние внешних факторов на световой выход пластмассовых сцинтилляторов
  - 4.3.1. *Температура*
  - 4.3.2. *Магнитное поле*
  - 4.3.3. *Старение*
  - 4.3.4. *Радиационная стойкость*

## Тема 5. СВЕТОВОДЫ

- 5.1 Параллелепипед
- 5.2. Переход от узкой грани сцинтиллятора к круглому окну ФЭУ
- 5.3. Полые световоды
- 5.4. Спектрсмещающие световоды
- 5.5. Волоконная оптика

## Тема 6 . СЧЕТЧИКИ С ОРГАНИЧЕСКИМИ СЦИНТИЛЛЯТОРАМИ

- 6.1. Телескоп
- 6.2. Идентификация заряженных частиц
- 6.3 Флуктуации ионизационных потерь
- 6.4. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ НЕЙТРОНОВ
- 6.5. Дейтерированные сцинтилляторы

## Тема 7. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ФОТОДИОДЫ

- 7.1. Кремниевые PIN-структуры
- 7.2. Дрейфовые фотодиоды
- 7.3. Фотодиоды на основе компаундных полупроводников
- 7.4. Энергетическое разрешение фотодиодов
- 7.5. Кремниевые лавинные фотодиоды
  - 7.5.1. *Энергетическое разрешение*
  - 7.5.2. *Регистрация слабых световых вспышек*
- 7.6. Сравнение характеристик твердотельных и вакуумных фотоприемников

## Тема 8. СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ СЧЕТЧИКИ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

- 8.1. Общие вопросы
- 8.2. Иодид натрия
- 8.3. Иодид цезия
- 8.4. Германат висмута
- 8.5. Фториды
  - 8.5.1. *Фторид бария*
  - 8.5.2. *Фторид церия*
- 8.6. Массивные быстрые сцинтиллирующие кристаллы
  - 8.6.1. *Силикат гадолия*
  - 8.6.2. *Вольфрамат свинца*
- 8.7. Малогабаритные быстрые тяжелые сцинтилляторы
  - 8.7.1. *Силикат лютеция*
  - 8.7.2. *Алюминат лютеция*
  - 8.7.3. *Перовскит*
- 8.8. Предельное энергетическое разрешение.

## 8.9. Радиационная стойкость

### Тема 9. РАЗДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ПО ФОРМЕ ИМПУЛЬСА

#### 9.1. Форма импульса в органическом сцинтилляторе

##### 9.1.1. Дискриминация излучений по форме импульса

#### 9.2. Идентификация излучений счетчиками с неорганическими кристаллами

##### 9.2.1. Иодид цезия

##### 9.2.2. Фторид бария

#### 9.3. Фосвич-детекторы

## Тема 10. ВРЕМЕННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ

### 10.1. Длительность световых сигналов

### 10.2. Временные флуктуации в ФЭУ

### 10.3. Временное разрешение

#### 10.3.1. Вводные замечания

#### 10.3.2. Неорганические кристаллы

#### 10.3.3. Органические сцинтилляторы

#### 10.3.4. Неорганические сцинтилляторы с быстрым откликом

### 10.4. Дискриминация со следящим порогом

### 10.5. Протяженные сцинтилляторы

## Тема 11. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

### 11.1. Зонная структура

### 11.2. Формирование p—n-перехода

### 11.3. Энергетическое разрешение

### 11.4. Типы кремниевых детекторов

### 11.5. Время собирания заряда

### 11.6. Германиевые детекторы

### 11.7. Использование в экспериментах с релятивистскими частицами

#### 11.7.1. Координатные детекторы

## Тема 12. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

### 12.1. Вводные замечания

### 12.2. Электромагнитные калориметры

#### 12.2.1. Пространственная картина ливней

#### 12.2.2. Калориметры на монокристаллах:

##### Иодид натрия

##### Германат висмута

##### Иодид цезия

##### Вольфрамат свинца

#### 12.2.3. Калориметры на основе пластмассовых сцинтилляторов

### 12.3. Адронные калориметры

## Тема 13. ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

### 13.1. Вакуумные ФЭУ

#### 13.1.1. Координатные приборы на основе сцинтиллирующего волокна

### 13.2. Гибридные фотодиоды

### 13.3. Твердотельные фотоумножители

### 13.4. Приборы с зарядовой связью

### 13.5. Электронно-оптические преобразователи

### 13.6. Сравнение характеристик

#### Тема 14. ИОНИЗАЦИОННЫЕ ГАЗОВЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

- 14.1. Электроны и ионы в газах
- 14.2. Ионизационные камеры, пропорциональные и газоразрядные счетчики
- 14.3. Многопроволочные и стриповые пропорциональные камеры
- 14.4. Камеры с узкими газовыми промежутками
  - 14.4.1. *Микросетчатая газовая структура*
  - 14.4.2. *Счетчик Пестова и резистивные пластинчатые камеры*
- 14.5. Дрейфовые камеры
- 14.6. Дрейфовые трубки
  - 14.6.1. *Регистрация переходного излучения*

#### Тема 15. ГАЗОВЫЕ КООРДИНАТНЫЕ ФОТОДЕТЕКТОРЫ

- 15.1. Фоточувствительные газы
- 15.2. Фотокатоды из CsI
- 15.3. Лавинные ФЭУ
- 15.4. Тонкие электронные умножители

#### Тема 16. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИЙ В БЛАГОРОДНЫХ ГАЗАХ

- 16.1. Механизм люминесценции
- 16.2. Сцинтилляционные свойства
- 16.3. Электролюминесценция. Пропорциональные счетчики
- 16.4. Жидкостные детекторы

#### Тема 17. ДЕТЕКТОРЫ ЧЕРЕНКОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- 17.1. Черенковские радиаторы
- 17.2. Аэрогельные счетчики
- 17.3. РИЧ-детекторы
- 17.4. Калориметры
  - 17.4.1. *Детектирование электромагнитных ливней*
  - 17.4.2. *Калориметры с кварцевыми волокнами*
  - 17.4.3. *Сцинтилляционно-черенковские калориметры*
- 17.5. Водяные детекторы для поиска осцилляций нейтрино, регистрации ливней от космических частиц сверхвысоких энергий и нейтринной астрономии

#### Тема 18. Синхротронное излучение и его детектирование

### УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

#### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Ю.К.Акимов  
Фотонные методы регистрации излучений.  
Изд.-во ОИЯИ, 2006г.
- Ю.К. Акимов и др. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.  
Изд.-во ОИЯИ, Дубна 2009.
- К. Клайнкнехт. *Детекторы корпускулярных излучений*, М: Издательство Мир, 1990.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- В.П. Зрелов. *Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий*, М: Атомиздат, 1968.
- Ю.К. Акимов. *Области применений аэрогелей (обзор)*. Приборы и Техника Эксперимента. 2003. № 3. С. 5
- Ю.К. Акимов. *Сцинтилляционные методы регистрации частиц больших энергий*. М.: Изд-во МГУ, 1962; New York and London: Academic Press, 1965.
- Ю.К. Акимов и др. *Быстродействующая электроника для регистрации ядерных частиц*, М: Атомиздат, 1960.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ

Материал излагается в виде лекций, содержащих сведения по методам регистрации как из вышеуказанной литературы, так и, еще в большей мере, из текущей журнальной периодики. Основная терминология дается также на английском языке. Отмечается, что можно прочитать в электронном виде. Студентам предоставляется возможность иметь ксерокопии материала лекций. Перед экзаменом проводится консультация.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ

Во время лекции вопросы следует задавать преподавателю по ходу ее изложения. Материал после каждой лекции прорабатывается, и возникающие при этом вопросы выясняются в начале очередной лекции.

Программу составил  
профессор Ю.К.Акимов