



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
Н.М. Буднев
«17» апреля 2024 г.



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля)

Б1.В.03 Детекторы излучений

Направления подготовки

03.04.02. Физика

Направленности (профили) подготовки

Медицинская физика

Форма обучения **очная**

Согласовано с УМК:
физического факультета
Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор
Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:
общей и экспериментальной физики
Протокол № 7
от «26» марта 2024 г.

Зав. кафедрой: д.ф.-м.н., профессор
А.А. Гаврилюк

Иркутск 2024 г.

Содержание

- I. Цели и задачи дисциплины (модуля)
- II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.
- III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)
- IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)
 - 4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов
 - 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине
 - 4.3 Содержание учебного материала
 - 4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ
 - 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов
 - 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов
 - 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)
- V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
 - а) перечень литературы
 - б) периодические издания
 - в) список авторских методических разработок г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
- VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
 - 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:
 - 6.2. Программное обеспечение:
 - 6.3. Технические и электронные средства обучения:
- VII. Образовательные технологии
- VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цели Сформировать у студентов понимание физических процессов, которые лежат в основе методов регистрации ионизирующих излучений.

Формирование профессиональной компетентности в соответствии с развитием у учащихся качеств личности безопасного типа, осваивающей основы защиты человека и общества от современного комплекса опасных факторов.

Задачи Студент должен знать основные типы детекторов ионизирующего излучения и уметь на основе полученных знаний выбирать тот или иной тип детектора, исходя из практических задач, поставленных в ходе его дальнейшей профессиональной деятельности. Иметь представление о квантовой механике, ядерной физике, оптике и спектроскопии.

Изучить и освоить основные процессы, происходящие при взаимодействии излучения с веществом;

ознакомиться с основными типами газоразрядных, в том числе пропорциональных детекторов, полупроводниковых и сцинтилляционных детекторов;

изучить и освоить методы регистрации ионизирующих излучений с помощью газоразрядного и сцинтилляционного детекторов;

изучить и освоить основы дозиметрии с помощью детекторов ионизирующего излучения;

изучить в комплексе современные проблемы применения различного типа детекторов, разработки детекторов нового поколения.

II. Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла Б.1. Детекторы излучений является самостоятельным разделом прикладной **ядерной физики**. Детекторы излучений с веществом охватывает широкий круг физических процессов, рассмотренных ранее в курсах **ядерной физики, квантовой механики, оптики и спектроскопии**. Процессы, происходящие при действии ионизирующих излучений на человека, рассматриваются в разделе **введение**.

Знания, полученные студентами после изучения дисциплины “Детекторы излучений”, используются далее при изучении дисциплин “Радиационная биология”, “Практикум по методам исследования материалов”, “Методы диагностики и визуализации в медицине”, “Информационно-программные комплексы в медицинской физике”, “Основы медицинской техники”.

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Общекультурные компетенции (ОК):

Профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2

Общие профессиональные компетенции:

Компетенция	Индикаторы	Результаты обучения
-------------	------------	---------------------

	компетенций	
<i>ПК-1</i>	<i>Способен управлять качеством физических и технических аспектов лучевой терапии</i>	<p>Знать: основные физические процессы, лежащие в основе регистрации ионизирующих излучений с помощью полупроводникового, сцинтилляционного и термолюминесцентного детектора.</p> <p>Уметь: Проводить простейшие измерения с помощью ионизационной камеры, счетчика Гейгера, сцинтилляционного и термолюминесцентного детектора</p> <p>Владеть: методами обработки сигнала при измерениях термолюминесцентным и сцинтилляционными дозиметрами.</p>
<i>ПК-2</i>	<i>Способен реализовывать дозиметрическое обеспечение лучевой диагностики</i>	<p>Знать: основные физические процессы взаимодействия фононного и нейтронного излучений с веществом; основные физические процессы взаимодействия заряженных частиц с веществом; Типы сцинтилляционных детекторов</p> <p>Уметь: Оценивать дозы радиации, Выбирать наиболее подходящий тип детектора излучений в той или иной ситуации</p> <p>Владеть: методами теоретического расчета и экспериментальной оценки поглощенной дозы ионизирующих излучений.</p>

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов,

в том числе 73 часа контактной работы, из них 40 часов лекционной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через электронную информационно-образовательную среду факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На лабораторные работы отводится 20 аудиторных часов.

Форма промежуточной аттестации: зачет.

4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Форма текущего контроля успеваемости/ Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекция	Семинар/ Практическое, лабораторное занятие/	Консультация		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1 Введение.	2			4	2		10	Опрос. Решение задач
2	Раздел 2 Ионизационные детекторы	2			4	2		10	Опрос. Решение задач
3	Раздел 3 Полупроводниковые детекторы	2			4	2		14	Опрос. Решение задач
4	Раздел 4 Сцинтилляционные детекторы	2			20	8		20	Решение задач. Практическая работа
5	Раздел 5 Термолюминесцентные детекторы	2			8	6		17	Решение задач
	КСР	2	4				1		
	Итого часов		73		40	20		71	

4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Разделы 1,2, 3	Решение домашних задач и подготовка к лабораторной работе	В течение семестра	34	Задачи и упражнения	1-3
2	Раздел 4	Решение домашних задач. Подготовка обзора литературы по свойствам сцинтиллятора, подготовка к лабораторной работе	После завершения лекций по данным разделам	20	Опрос	1-3
3	Раздел 5	Решение домашних задач, подготовка к лабораторной работе	После завершения лекций по данным разделам	17	Доклад	1-3
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				71		
Из них объем самостоятельной работы с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий (час) (указать при наличии)						

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1 Введение

- 1.1 Введение** Краткая история развития детекторов излучений и защиты от действий ионизирующих излучений начиная с открытия рентгеновских лучей и радиоактивности. Основные понятия дозиметрии.
- 1.2 Взаимодействие излучения с веществом** Фотоэффект. Комптоновское рассеяние. Образование электрон-позитронных пар. Аннигиляция. Понятие связанных частиц в паре. Квантовая телепортация. Закон ослабления узкого пучка. Сечение рассеяния. Коэффициент ослабления. Коэффициенты передачи и поглощения энергии. Эффективный атомный номер вещества.

Раздел 2 Ионизационные детекторы

- 2.1. Ионизационная камера.** Процессы ионизации в газах. Распределение заряда в камере и его измерение. Устройство и работа с камерами постоянного тока. Дозиметрия с использованием ионизационной камеры. Применение ионизационных камер. Импульсный режим работы.
- 2.2. Пропорциональные детекторы и счетчики Гейгера.** Принципы работы. Дрейф и диффузия в газах. Лавинное умножение. Пропорциональный счетчик. Счетчики Гейгера.

Раздел 3 Полупроводниковые детекторы

- 3.3 Регистрация ионизирующего излучения с помощью полупроводниковых детекторов.** Полупроводниковые свойства. Взаимодействие ионизирующего излучения с полупроводниками. Конфигурация полупроводникового детектора
- 3.4 Германиевые и кремниевые детекторы.** Конфигурация германиевого детектора. Операционные характеристики германиевого детектора. Операционные характеристики кремниевых детекторов. Германиевые и кремниевые детекторы в гамма-спектроскопии.

Раздел 4 Сцинтилляционные детекторы

- 4.1. Регистрация ионизирующих излучений с помощью сцинтиллятора.** Взаимодействие излучения со сцинтиллятором. Основные свойства сцинтилляторов. Конфигурация сцинтилляционного детектора. Одноэлектронный, импульсный и токовый режимы.
- 4.2. Органические сцинтилляторы.** Сцинтилляционный механизм в органическом сцинтилляторе. Типы органических сцинтилляторов. Свойства органических сцинтилляторов.
- 4.3. Неорганические сцинтилляторы.** Преобразование энергии в неорганическом сцинтилляторе. Основные свойства неорганических сцинтилляторов.
- 4.4. Фотоприемники для сцинтилляционных детекторов.** Фотоэлектронные умножители. Характеристики фотокатодов. Фотодиоды. Гибридные фотоэлектронные умножители. Процесс регистрации сцинтилляционных импульсов. Статистика при регистрации фотоэлектронов. Обработка импульсов от фотоприемника. Принцип работы АЦП. Виды АЦП.
- 4.5. Применение сцинтилляционных детекторов.** Основные направления гамма-спектроскопии. Применение сцинтилляторов при радиологическом мониторинге.

Сцинтилляторы в дозиметрии. Сцинтилляторы в медицинской томографии. Быстрые процессы в сцинтилляторах. Сцинтилляторы в физике высоких энергий.

Раздел 5 Термолюминесцентные детекторы

- 5.1 **Термолюминесцентный метод.** Введение. Модель Рэндалла -Уилкинса. Методы определения кинетических параметров. Основные дозиметрические характеристики термолюминесцентных детекторов. Термолюминесцентные методы дозиметрии нейтронов.
- 5.2 **Фотостимулированная люминесценция.** Основы дозиметрии с помощью ОСЛ (ФСЛ) детекторов. Основные типы детекторов

1.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы)*
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	1	Решение практических задач по теме взаимодействие излучения с веществом.	8	8	Опрос	ПК-1, ПК-2
2	2, 3	Знакомство с ионизационной камерой и счетчиком Гейгера. Лабораторная работа	8	8	Опрос	ПК-1, ПК-2
3	5	Измерение поглощенной дозы термолюминесцентным методом с использованием монокристаллического детектора на основе фтористого лития.	8	6	Контрольная работа.	ПК-2
4...	4	Гамма-спектрометрия с помощью неорганического сцинтиллятора.	8	8	Контрольная работа	ПК-2

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Применение сцинтилляторов в томографии. Обзор	Поиск и изучение литературы по теме	ПК-1	Оценка
2.	Основы термолюминесцентного метода	Поиск и изучение литературы по теме	ПК-1, ПК-2	Оценка

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на лекционных занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических заданий.

При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения пользоваться научно-технической справочной литературой.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

- 1) Основы обработки сигналов в гамма-спектроскопии.
- 2) Оценка поглощенной дозы с помощью термолюминесцентного метода регистрации ионизирующих излучений

V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) *перечень литературы*

основная литература

1. Егранов А.В. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом Учебное пособие Изд-во ИГУ, Иркутск 2013
2. Р. Ю. Шендрик Введение в физику сцинтилляторов. Учебное пособие Изд-во ИГУ, Иркутск 2013
3. Р. Ю. Шендрик, Е. А. Раджабов. Введение в физику сцинтилляторов-2. . Учебное пособие Изд-во ИГУ, Иркутск 2014
4. А.К. Пикаев. Современная радиационная химия. Основные положения, экспериментальная техника и методы. М. Мир. 1989.
5. В.К. Ляпидевский. Методы детектирования излучений. М.Наука.1987.
6. М.Франк, В. Штольц. Твердотельные дозиметры ионизирующего излучения. М. Мир. 1979.
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)

Дополнительная:

1. Егоров О. Наглядный способ регистрации заряженных частиц. Квант, 6, 2001.
2. Костюков Н.С., Муминов М.И., Атраш С.М. и др. Диэлектрики и радиация, в 4-х кн., М., Наука, 2001.
3. Глобус М.Е., Гринев Б.В. Неорганические сцинтилляторы: новые и традиционные материалы Харьков, Акта, 2001, 408 с.

б) периодические издания

- Radiation Protection Dosimetry Oxford University Press
- Medical Dosimetry Official Journal of the American Association of Medical Dosimetrists Elsevier
- Журнал Медицинская физика
- Radiation Measurements, Elsevier
- IEEE Transaction on Nuclear Science, IEEE
- Optical Materials, Elsevier
- Journal of Luminescence, Elsevier

в) список авторских методических разработок

1. Р. Ю. Шендрик Введение в физику сцинтилляторов. Учебное пособие Изд-во ИГУ, Иркутск 2013
2. Р. Ю. Шендрик, Е. А. Раджабов. Введение в физику сцинтилляторов-2. . Учебное пособие Изд-во ИГУ, Иркутск 2014

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. <http://www.nndc.bnl.gov/nndc/nndcinfo.html> The National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, (на этом сервере можно найти данные по сечениям взаимодействия различных видов ионизирующих излучений с веществом и характеристики ядер).
2. <http://nrvi.jinr.ru/nrv/> Объединенный институт ядерных исследований Nuclei and their properties.
3. <http://depni.npi.msu.su/cdfe/> Center for Photonuclear Experimental Data, Moscow State University.

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Перечень оборудования и материалов (на базе Лаборатории физики монокристаллов ИГХ СО РАН):

Стенд по исследованию процессов термостимулированной люминесценции
Установка по гамма-спектроскопии на основе проекта Theremino
Ионизационная камера и счетчик Гейгера.

6.2. Программное обеспечение:

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

6.3. Технические и электронные средства:

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

VII. Образовательные технологии

Наименование тем занятий с указанием форм/ методов/ технологий обучения:

№ п/п	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы//технологии дистанционного, интерактивного обучения	Количество часов
1	2	3	4	5
1	Знакомство с ионизационной камерой и счетчиком Гейгера. Лабораторная работа	Лабораторная работа	Отчет и его доработка в ЭИОС ИГУ Moodle	4
2.	Гамма-спектрометрия с помощью неорганического сцинтиллятора.	Лабораторная работа	Отчет и его доработка в ЭИОС ИГУ Moodle	4
Итого часов: 8				

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Оценочные материалы для входного контроля

Проводится опрос на первом занятии.

Оценочные материалы текущего контроля формируются в соответствии с ЛНА университета

Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета (могут быть в виде тестов, ситуационных задач, деловых и ролевых игр, диспутов, тренингов и др. Назначение оценочных средств ТК - выявить сформированность компетенций - **Профессиональные компетенции (ПК): ПК-1, ПК-2**

Оценочные материалы для промежуточной аттестации в форме

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Контролируемые компетенции/ индикаторы
1	2	3	4
1	Проверка решения домашней задачи	Разделы 1,2,3,4,5	ПК-1, ПК-2
2...	Зачет, контрольная работа	Разделы 1,2,3,4, 5	ПК-1, ПК-2

Примерный список вопросов к зачету

1. Виды ионизирующего излучения. Непосредственно и косвенно ионизирующее излучение. Характеристика полей ионизирующих излучений. Сечение взаимодействия.
2. Взаимодействие фотонов с веществом. Комптоновское рассеяние.
3. Рентгеновское излучение. Источники первичного излучения и детекторы рентгеновского излучения.
4. Взаимодействие нейтронов с веществом. Упругое рассеяние. Составное ядро. Прямые ядерные реакции. Неупругое рассеяние.
5. Ионизационные камеры. Принципы работы. Применение
6. Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Ионизационные потери. Радиационные потери. Тормозная способность вещества. Линейная передача энергии (ЛПЭ). Формула Бете. Пробег заряженной частицы. Переходное излучение. Свечение Вавилова-Черенкова.
7. Принцип работы газоразрядных детекторов. Пропорциональные детекторы. Счетчик Гейгера. Преимущества и недостатки.
8. Полупроводниковые детекторы. Принципы работы. Кремниевый и германиевый детектор.
9. Сцинтилляционный детектор. Виды детекторов. Преимущества их использования. Характеристики сцинтиллятора
10. Фотоприемники для работы со сцинтилляторами. Фотоэлектронный умножитель. Фотодиоды. Принцип работы. Критерии выбора приемника.
11. Термостимулированная люминесценция. Принцип регистрации излучений. Типы дозиметров.
12. Применение сцинтилляторов в медицине. Томография, регистрация быстрых процессов в сцинтилляторах.

Примерный список задач

- 1) Рассчитайте длинноволновый предел чувствительности ФЭУ с фотокатодом, имеющим работу выхода равную 1,5 эВ; 1 эВ; 0,8 эВ?
- 2) Рассчитайте длинноволновый предел чувствительности ФЭУ с полупроводниковым фотокатодом, если ширина запрещенной зоны полупроводника равна 0,5; 0,8; 1 эВ, а сродство к электрону имеет отрицательную величину.
- 3) Рассчитайте время пролета электрона между двумя диодами в трубке ФЭУ, если зазор между диодами равен 12 мм, а потенциал между ними 150 В. Для простоты считать, что поле между диодами однородно.
- 4) Определите какое напряжение необходимо приложить к ФЭУ с шестью каскадами умножения, для диодов из GaP и SbO, чтобы достичь коэффициента усиления 106.
- 5) Коэффициент усиления одного диода δ в ФЭУ с 10-ю каскадами зависит от напряжения V между диодами по закону $V^{0,6}$. К ФЭУ приложено напряжение 1 кВ, какая флуктуация

напряжения допустима, если необходимо, чтобы флуктуация коэффициента усиления не превышала 1 %?

6) Токовая чувствительность фотодиода равна 0,5 А/Вт на длине волны 850 нм, определите квантовую эффективность детектора

7) Лавинный фотодиод имеет квантовую эффективность 50% в нормальном режиме (без лавинного умножения). Рассчитайте токовую чувствительность фотодиода, если приложенное к нему обратное напряжение обеспечивает коэффициент усиления 8

8) Оценить его энергетическое разрешение для энергии гамма-излучения 1,28 МэВ от источника ^{22}Na , если энергетическое разрешение имеющегося сцинтиллятора NaI-Tl составляет 7 % при использовании источника ^{137}Cs .

9) Определите энергию комптоновского края от источника ^{60}Co

10) Про радиоизотопный источник известно, что он не выделяет никаких гамма-квантов с энергией 511 КэВ, но пик в записанном амплитудном спектре по своему положению соответствует этой энергии. Дайте два возможных объяснения появлению этого пика.

11) Рассчитайте максимальную энергию, поглощенную сцинтиллятором, если гамма-квант с энергией 1 МэВ претерпел двукратное комптоновское рассеяние и затем вылетел из сцинтиллятора.

12) Рассчитать Z_{eff} следующих соединений BaBr_2 , BaBrI , LaBr_3 , BaF_2 , LiBaF_3 . Построить зависимость Z_{eff} от их плотности.

Разработчик:



(подпись)

(занимаемая должность)

профессор, д.ф.м.н.

(инициалы, фамилия)

Е.А.Раджабов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 "Физика"

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«26» марта 2024 г.

Протокол № 7, зав. кафедрой



д.ф.-м.н. А.А. Гаврилюк

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.