



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

2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.01.02 Физика сцинтилляторов

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки : Физика материалов твердотельной
электроники и фотоники

Квалификация выпускника: магистр

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.
/ А.А. Гаврилюк

Иркутск 2024 г.

Содержание

- 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)**
- 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**
- 3. Требования к результатам освоения дисциплины**
- 4. Содержание и структура дисциплины (модуля)**
 - 4.1** Содержание дисциплины , структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества учебных 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 (СРС)
- 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов**
- 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)**
- 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):**
 - а) перечень литературы;
 - б) периодические издания;
 - в) список авторских периодических разработок;
 - г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы
- 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).**
 - 6.1. Учебно-лабораторное оборудование
 - 6.2. Программное обеспечение
 - 6.3. Технические и электронные средства
- 7. Образовательные технологии**
- 8 Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации**

ПРИЛОЖЕНИЕ: Фонд оценочных средств

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Цели: сформировать понимание тех физических процессов, которые используются в физике сцинтилляторов.

Формирование профессиональной компетентности в соответствии с развитием у учащихся качеств личности безопасного типа, осваивающей основы гамма-спектрометрии, применение сцинтилляторов в медицине, ядерной физике и дозиметрии.

Задачи: аспирант в результате изучения курса должен знать физические основы процессов взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, влияние этих излучений на человека, а также владеть методами детектирования ионизирующих излучений применительно к гамма-спектрометрии.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Она изучается в третьем семестре на втором курсе магистратуры.

Для освоения содержания дисциплины необходимо знание основ физики, математического анализа, информатики.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС ВО и по данному направлению подготовки (03.04.02 Физика):

- Способен выполнять математическую и компьютерную обработку, интерпретацию и анализ результатов исследований (ПК-3) сцинтилляционных свойств.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Магистрант должен иметь представление о квантовой механике, ядерной физике, оптике и спектроскопии.

Знать основные способы обнаружения ионизирующего излучения. Различать свойства сцинтилляционных детекторов и уметь их применять для

радиационного контроля.

Изучить основные процессы, протекающие в сцинтилляторах, способы обработки сигналов от сцинтиллятора.

4. Содержание дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов, в том числе 94 часа контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 36 аудиторных часов (во время выполнения практических работ).

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консуль тации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тема 1. Введение	3	26	10	10	10	0,5	10	
2	Тема 2. Методы регистрации ионизирующего излучения	3	22	8	8	8	0,5	10	Собеседование
3	Тема 3. Основные свойства сцинтилляционных детекторов	3	22	6	6	6	0,8	10	Собеседование
4	Тема 4. Процессы преобразования энергии в сцинтилляционных детекторах	3	22	6	6	6	0,1	10	
5	Тема 5. Принципы регистрации сигнала со сцинтилляционного детектора	3	22	6	6	6	0,1	10	Собеседование
	Экзамен	3	22						
	КОНтроль	3	22						
	КСР	3	22						
	<u>Итого часов</u>		180	36	36	36	2	50	

4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебнометодическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
3	Темы 1-2	чтение литературы по теме	В течение семестра	20	Собеседование	[1-2]
3	Темы 3-5	Письменная работа, чтение литературы по теме	В течение семестра	20	Собеседование	[1-2]
3	Подготовка к зачёту	Работа с лекционным материалом и учебной литературой	К концу семестра	10	Собеседование	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				50		

4.3. Содержание учебного материала

Раздел 1. Введение

Основные понятия физики сцинтилляторов. Энергетический спектр сцинтиллятора. Основные характеристики сцинтилляторов. Источники ионизирующего излучения. Источники быстрых электронов. Тяжелые заряженные частицы. Источники электромагнитного излучения.

Раздел 2 Методы регистрации ионизирующего излучения

Взаимодействие с тяжелыми заряженными частицами. Тормозная способность вещества. Определение длины пробега частицы в веществе. Взаимодействие с быстрыми электронами. Пробег «быстрых» электронов в веществе. Поглощение моноэнергетичных электронов. Поглощение бета-излучения. Обратное рассеяние. Взаимодействие с гамма-излучением. Фотоэффект. Эффект Комптона. Рождение пар. Ослабление гамма излучения.

Раздел 3 Основные свойства сцинтилляционных детекторов

Характеристики сцинтилляторов. Время затухания или скорость сцинтилляций. Световой выход. Энергетическое разрешение. Температурная стабильность светового выхода. Радиационная стойкость кристаллов. Плотность.

Раздел 4 Процессы преобразования энергии в сцинтилляционных детекторах

Генерация электронно-дырочных пар. Образование дефектов и процессы переноса возбуждения. Образование дефектов. Миграционный этап. Перенос энергии от кристаллической решетки к центрам свечения. Собственная люминесценция. Примесная люминесценция. Таллиевые центры. Редкоземельные ионы.

Раздел 5 Принципы регистрации сигнала со сцинтилляционного детектора

Фотоэлектронный умножитель. Конструкция ФЭУ. Подключение и режимы работы. Полупроводниковые фотодетекторы. PIN-фотодиоды. Лавинный фотодиод. Микропиксельные лавинные фотодиоды. Гибридные ФЭУ и Si-ФЭУ. Аппаратура для гамма-спектрометрии.

4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных

работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1.	Раздел 1.	Введение в сцинтилляционный метод. Измерение амплитудного спектра импульсов сцинтиллятора NaI-Tl	16/19	Собеседование. Экспресс-опрос
2.	Раздел 2	Измерение поглощенной дозы термолюминесцентным методом с использованием монокристаллического детектора на основе фтористого лития	14/16	Собеседование. Экспресс-опрос
3.	Раздел 3	Измерение светового выхода сцинтилляционного детектора. Калибровка АЦП.	14/14	Собеседование. Экспресс-опрос
4	Раздел 4	Изучение методов обработки амплитудных спектров импульсов.	13/14	Собеседование. Экспресс-опрос
5	Раздел 5	Пропорциональность сцинтилляционного детектора. Изучение явления непропорциональности.	15/14	Собеседование. Экспресс-опрос

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

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов в рамках изучения данной дисциплины регламентируется общим графиком учебной работы, предусматривающим посещение практических занятий и регулярное выполнение заданий по ним, выполнение самостоятельной работы

При организации самостоятельной работы по дисциплине «Методы обработки экспериментальных данных» студенту следует:

1. Внимательно изучить материалы, характеризующие курс и тематику самостоятельного изучения, что изложено в учебной литературе по

дисциплине. Это позволит четко представить, как круг изучаемых тем, так и глубину их постижения.

2. Составить подборку литературы, достаточную для изучения предлагаемых тем. В программе дисциплины представлены основной и дополнительный списки литературы. Они носят рекомендательный характер, это означает, что всегда есть литература, которая может не входить в данный список, но является необходимой для освоения темы. При этом следует иметь в виду, что нужна литература различных видов: учебники, учебные и учебно-методические пособия; первоисточники, монографии, сборники научных статей, публикации в журналах, любой эмпирический материал; справочная литература – энциклопедии, словари, тематические, терминологические справочники, раскрывающие категориально-понятийный аппарат.

3. Основное содержание той или иной проблемы следует уяснить, изучая учебную литературу.

4. Абсолютное большинство проблем носит не только теоретический, умозрительный характер, но самым непосредственным образом выходят на жизнь, они тесно связаны с практикой социального развития, преодоления противоречий и сложностей в обществе. Это предполагает наличие у студентов не только знания категорий и понятий, но и умения использовать их в качестве инструмента для анализа социальных проблем. Иными словами, студент должен совершать собственные, интеллектуальные усилия, а не только механически заучивать понятия и положения.

5. Соотнесение изученных закономерностей с жизнью, умение достигать аналитического знания предполагает у студента мировоззренческую культуру. Формулирование выводов осуществляется, прежде всего, в процессе творческой дискуссии, протекающей с соблюдением методологических требований к научному познанию.

Письменная работа

Письменная работа предполагает решение поставленной задачи путем составления

текстового описания и пояснительных блок-схем, описывающих алгоритм вычислений. При

выполнении письменной работы студенту необходимо:

1. Прочитать внимательно задание;

2. Определить шаги решения поставленной задачи;
3. Написать решение в электронном формате;
4. Нарисовать поясняющие блок-схемы в графическом редакторе.

Чтение текста учебника

1. Текст необходимо читать внимательно - т.е. возвращаться к непонятным местам;
2. Текст необходимо читать тщательно - т.е. ничего не пропускать;
3. Текст необходимо читать сосредоточенно - т.е. думать о том, что вы читаете;
4. Текст необходимо читать до логического конца - абзаца, параграфа, раздела, главы и т.д.;
5. Составить логическую схему материалов учебника;
6. Ответить на вопросы для самопроверки в конце параграфа.

Составить логическую схему лекции

Логическая схема лекции составляется в произвольной графической форме: в виде блок-схемы, ментальной карты, с использованием средств инфографики или без. Материалы лекции должны быть обязательно дополнены материалами учебной литературы.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

а) перечень литературы

основная литература

1. Шендрик Р.Ю. Введение в физику сцинтилляторов. / Р.Ю.Шендрик. – Иркутск: Изд-во ИГУ., 2013. – 105с.
2. Горн Л.С. Современные приборы для измерения ионизирующих излучений. / Л.С.Горн, Б.И.Хазанов. – М. Энергоатомиздат, 1989. – 232с.
3. Егранов А.В. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. / А.В.Егранов. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 120с.

дополнительная литература

1. Handbook of particle detection and imaging, ed.by C. Grupen, I. Buvat. - Springer, 2012.
2. Knoll, G.G. Radiation detection and measurements and 3rd ed. / G.G.

- Knoll. - Wiley, 2000
3. G. R. Gilmore Practical Gamma-ray Spectrometry / G. R. Gilmore. - Wiley, 2008
 4. Computed Tomography. Handbook. The American Registry of Radiologic Technologists, 2013.
 5. Василенко И.Я. Радиация. Источники, нормирование облучения. Природа - № 4, 10-16, 2001.
 6. Егоров О. Наглядный способ регистрации заряженных частиц. Квант, 6, 2001.
 7. Костюков Н.С., Муминов М.И., Атраш С.М. и др. Диэлектрики и радиация, в 4-х кн., М., Наука, 2001.
 8. Глобус М.Е., Гринев Б.В. Неорганические сцинтилляторы: новые и традиционные материалы. - Харьков, Акта. - 2001.- 408 с.
 9. Бойко В.И., Скворцов В.А., Фортов В.Е., Шаманин И.В. Взаимодействие импульсных заряженных частиц с веществом - М., Физматлит - 2003. - 288 с.

б) периодические издания:

-нет необходимости

в) список авторских методических разработок

- стандартные сервисы глобальной сети Интернет (Mozilla Firefox);
- стандартные средства для показа презентаций (OpenOffice и/или LibreOffice);
- стандартные средства для чтения публикаций (Foxit PDF Reader или Adobe Reader DC).

Все указанные выше программные продукты являются проприетарными и могут быть скачаны и установлены на любой компьютер с официального сайта бесплатно и без заключения отдельного лицензионного договора.

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- Информационная система доступа к российским физическим журналам и обзорам ВИНТИ (<http://www.viniti.ru>)
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>.)
- ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

6. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Методическим оформлением курса является использование современных

образовательных технологий: информационных (лекции и презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео, документальные фильмы), дистанционных. Внедрение глобальной компьютерной сети в образовательный процесс позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике плазмы

6.2. Программное обеспечение:

6.3. Технические и электронные средства:

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор).

Для обработки полученных в ходе эксперимента данных на практических занятиях в лаборатории кафедры имеются компьютеры с соответствующим программным обеспечением.

7. Образовательные технологии:

- Интерактивные лекции
- Групповые дискуссии
- Проблемное обучение
- Исследовательские методы в обучении
- Обучение в сотрудничестве (работа в группе)
- Анализ ситуаций и имитационных моделей

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование студентами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор).

Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация

позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;

При необходимости, в процессе работы над заданием, студент может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса обучающийся должен знать основы информатики, уметь пользоваться компьютером на продвинутом уровне, прослушать подробную технику безопасности при работе со сложным цифровым оборудованием.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Текущий контроль успеваемости магистрантов осуществляется во время лабораторных занятий в ходе собеседований со студентами при выполнении ими практических заданий.

Задания для практических работ и контрольные вопросы к ним указаны в ФОС.

8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

Пример практического задания

ЗАДАНИЕ 1 Процессы в сцинтилляторах

УСТНО:

1. Оцените время, которое понадобится альфа-частице с энергией 4.5 МэВ, чтобы замедлиться и полностью остановиться в кремнии, водороде и золоте.
2. Какие процессы (фотоэффект, эффект Комптона или рождение пар) являются доминирующими в нижеперечисленных случаях:
 - (a) Гамма-кванты с энергией 662 КэВ в сцинтилляторе NaI-Tl
 - (b) Гамма-кванты с энергией 100 КэВ в человеческом теле
 - (c) Гамма-кванты с энергией 10 МэВ в свинце

ПИСЬМЕННО:

1. Оцените отношение удельных вероятностей фотоэлектрического поглощения (фотоэлектрическое поглощение на один атом) в кремнии и германии.
2. Рассчитайте энергию гамма-кванта с энергией 1 МэВ после комптоновского рассеяния под углом 90°

Примерный список устных вопросов:

1. Энергетические спектры ионизирующего излучения можно разделить на два типа. В спектрах первого типа выделяется один или более энергетических полос (дискретный спектр), во втором типе спектров наблюдается широкое распределение по энергиям (континуум). К какому типу относится энергетический спектр каждого из перечисленных ниже источников ионизирующего излучения. Если к первому, то рядом с названием источника нужно написать «дискретный», если ко второму, то «континуум»:
 - (a) Альфа-частицы
 - (b) Бета частицы
 - (c) Гамма излучение
 - (d) Тормозное излучение
 - (e) Конверсионные электроны
 - (f) Характеристическое излучение
 - (g) Оже-электроны
 - (h) Аннигиляционное излучение
2. Энергия каких частиц выше:
 - (a) Конверсионных электронов в L или M оболочке?
 - (b) Фотонов характеристического излучения K_α или K_β ?
3. Рассчитайте наименьшую длину волны рентгеновского излучения от рентгеновской трубки, управляемой напряжениями в 40 и 60 кВ.
4. Рассчитайте энергии связи электрона K- и L-оболочек в атоме ^{137}Cs .
5. Рассчитайте постоянную распада беспримесного трития (^3H) с периодом полураспада 12,26 лет.
6. У некоторого легкого элемента длины волн K_α и K_β линий равны 275 пм и 251 пм соответственно. Что это за элемент?

7. На основании феноменологической модели оцените отношение значений макимольного светового выхода для следующих сцинтилляторов, принимая за единицу световой выход кристалла ZnSe:

- (a) SrI2 -Eu (ширина запрещенной зоны 5,7 эВ)
- (b) LaBr3-Ce ($E_g = 5,9$ эВ)
- (c) ZnSe ($E_g = 2,7$ эВ)
- (d) LuAG-Pr ($E_g = 8,2$ эВ)
- (e) CaF2 -Eu ($E_g = 12$ эВ)
- (f) NaI-Tl ($E_g = 5,8$ эВ)
- (g) NaI-Tl ($E_g = 6,2$ эВ)

8. Найдите соответствие между сцинтиллятором и типом люминесценции (экситонная, кросслюминесценция, примесная люминесценция):

- (a) BaF2 -Ce
- (b) NaI-Tl
- (c) Bi4Ge3O12
- (d) ZnWO4-Ce

9. Укажите порядок времени затухания свечения сцинтиллятора, активированного малой концентрацией ионов церия, в котором основным является следующий механизм передачи энергии:

- (a) резонансный экситонный
- (b) резонансная передача от кросслюминесценции
- (c) быстрый электрон-дырочный захват
- (d) «задержанный электрон дырочный захват»

10. Как изменятся эти времена с увеличением концентрации ионов активатора?

Примерный список вопросов к экзамену:

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

2. Определите энергию Комптоновского края от источника ^{60}Co , рассчитайте положение пика обратного рассеяния на амплитудном спектре импульсов частиц с энергиями 1,2 и 3 МэВ.

3. Какие из перечисленных ниже факторов важны для сцинтиллятора, используемого в гамма-спектрометрии:

- (a) Плотность сцинтиллятора
- (b) Кинетическая энергия, требуемая для создания фотона в кристалле
- (c) Атомный номер сцинтилляционного материала

- (d) Геометрия системы источник-детектор
- (e) Коэффициент усиления ФЭУ
- (f) Квантовая эффективность фотокатода ФЭУ
- (g) Эффективность светосбора

Определите, какие из этих параметров оказывают наибольшее влияние на энергетическую эффективность сцинтиллятора, а какие на его энергетическое разрешение.

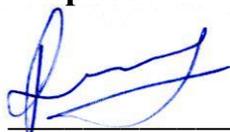
4. Про радиоизотопный источник известно, что он не выделяет никаких гамма-квантов с энергией 511 КэВ, но пик в записанном амплитудном спектре по своему положению соответствует этой энергии. Дайте два возможных объяснения появлению этого пика.

5. Почему материалы с низким атомным номером часто используют в качестве сцинтилляторов для электронной спектроскопии, в то время наоборот материалы с высоким Z используются в гамма-спектрометрии?

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

7. Рассчитайте световой выход сцинтиллятора (в фотоэлектронах/МэВ) если его энергетическое разрешение составляет 7% при использовании источника ^{137}Cs , а разрешение пика (1,17 КэВ) от источника ^{60}Co составляет 5%.

Разработчик:



(подпись)

д.ф.-м.н.,

(занимаемая должность)

Раджабов Е.А.

(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики ИГУ

«26» марта 2024 г.

Протокол № 7

Зав. кафедрой  д.ф.-м.н. Гаврилюк А.А.

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