



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Иркутский государственный университет»  
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)  
Факультет физический



Рабочая программа дисциплины (модуля)

Индекс дисциплины по УП: Б1.В.ДВ.1.1

Наименование дисциплины (модуля): физика сцинтилляторов

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
03.06.01 – Физика и астрономия

Направленность программы подготовки кадров высшей квалификации (программы  
аспирантуры): Физика конденсированного состояния

Форма обучения очная

Согласовано с УМК факультета (института)  
протокол № 3 от «28» июня 2016 г.

Зам председателя УМК Чумаков В.В. /Чумаков В.В./

Программа рассмотрена на заседании кафедры  
общей и экспериментальной физики  
«16» июня 2016 г. Протокол № 1

Зав. кафедрой Гаврилюк А.А. /Гаврилюк А.А./

Иркутск 2016 г.

## Содержание

<b>1. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП</b> .....	3
<b>3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):</b> .....	3
<b>4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы</b> .....	5
<b>5. Содержание дисциплины (модуля)</b> .....	5
5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) .....	5
5.2. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями) .....	7
5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий .....	7
<b>6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</b> .....	7
6.1. План самостоятельной работы студентов .....	8
6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	8
<b>7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)</b> .....	8
<b>8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):</b> .....	9
а) <i>основная литература</i> .....	9
б) <i>дополнительная литература</i> .....	9
в) <i>программное обеспечение:</i> .....	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	10
<b>9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):</b> .....	10
<b>10. Образовательные технологии:</b> .....	10
<b>11. Оценочные средства (ОС):</b> .....	11

## 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. 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.

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

В соответствии учебным планом аспирантов, обучающихся по в рамках направленности «Физика конденсированного состояния», и Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации) (Приказ № 867 от 30.07.2014 г.) дисциплина «Физика сцинтилляторов» относится к вариативной части профессионального цикла.

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний в области физики, химии, материаловедения, информатики, математики, а также наличия навыков по их применению при проведении экспериментальных и теоретических исследований в области физики сцинтилляторов.

Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, необходимы при подготовке и написании выпускной квалификационной работы, а также при подготовке к сдаче государственного экзамена по направленности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля):

Согласно ФГОС аспирант по направлению «Физика конденсированного состояния» должен обладать рядом профессиональных и общепрофессиональных компетенций (ПК и ОПК).

Выпускник должен обладать следующими **общепрофессиональными компетенциями (ОПК)**:

- Способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)

Выпускник должен обладать следующими **профессиональными компетенциями (ПК)**:

владение новыми методами и методологическими подходами необходимыми для участия в научно- инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности (ПК-3);

В результате изучения курса «физика сцинтилляторов» аспиранты должны

- **знать** основные физические процессы взаимодействия фононного и нейтронного излучений с веществом; основные физические процессы взаимодействия заряженных частиц с веществом; процессы, происходящие в сцинтилляторе ; основные характеристики сцинтиллятора принцип работы фотоумножителя и фотодиода; процессы обработки сигналов с фотоумножителя; методы обработки сигналов от сцинтилляционного детектора

- **уметь** использовать аппарат высшей математики при описании фундаментальных оптических свойств конденсированных веществ, проводить теоретические расчеты поглощенной дозы; измерять основные характеристики сцинтиллятора; использовать сцинтилляционный детектор для дозиметрического контроля

- **владеть** навыками применения базовых знаний в области математики и естественных наук; методами теоретического расчета и экспериментальной оценки поглощенной дозы ионизирующих излучений; методами расчета светового выхода сцинтилляционного детектора; способностью приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии; излагать материал в ясной и доступной форме.

**быть готовым** к самостоятельному проведению исследований, использованию информационных технологий для решения научных и профессиональных задач

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Курсы			
		1	2	3	4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	48		48		
В том числе:				-	
Лекции	24		24		
Практические занятия (ПЗ)	24		24		
Семинары (С)					
Лабораторные работы (ЛР)					
КСР					
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	60		60		
В том числе:				-	
Курсовой проект (работа)					
Расчетно-графические работы					
Реферат (при наличии)					
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	60		60		
Вид промежуточной аттестации (зачет)	36		36		
Общая трудоемкость	часы	108	108		
	зачетные единицы	3	3		

#### 5. Содержание дисциплины (модуля)

##### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

1. Источники ионизирующего излучения
2. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом
3. Методы регистрации ионизирующего излучения
4. Процессы преобразования энергии в сцинтилляционных детекторах
5. Основные свойства сцинтилляционных детекторов
6. Принципы регистрации сигнала со сцинтилляционного детектора

##### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)

«физика сцинтилляторов» читается на 2 курсе аспирантуры и последующих дисциплин не имеет.

### 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Виды занятий в часах очно/заочно					
		Лекц.	Практ. зан.	Семина	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Введение	4	4	-	-	10	18
2.	Методы регистрации ионизирующего излучения	4	4	-	-	10	18
3	Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом	4	4	-	-	10	18
4.	Основные свойства сцинтилляционных детекторов	4	4	-	-	10	18
5.	Процессы преобразования энергии в сцинтилляционных детекторах	4	4	-	-	10	18
6	Принципы регистрации сигнала со сцинтилляционного детектора	4	4	-	-	10	18
		<b>24</b>	<b>24</b>			<b>60</b>	<b>108</b>

### 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые профессиональные компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Раздел 1.	Введение в сцинтилляционный метод. Измерение амплитудного спектра импульсов сцинтиллятора NaI-Tl	2	тест	ОПК-1, ПК-3
2.	Раздел 2	Измерение поглощенной дозы термолюминесцентным методом с использованием монокристаллического детектора на основе фтористого лития	2	Собеседование. Экспресс-опрос	
3.	Раздел 3	Измерение светового выхода сцинтилляционного	2	тест	

		детектора. Калибровка АЦП.			
4.	Раздел 4	Изучение методов обработки амплитудных спектров импульсов.	2	Собеседование. Экспресс-опрос	
5.	Раздел 5	Пропорциональность сцинтилляционного детектора. Изучение явления непропорциональности.	2	Собеседование. Экспресс-опрос	

## 6. 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 финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении лабораторных работ.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Границы между этими видами работ достаточно размыты, а сами виды самостоятельной работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

## 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):****а) 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.

**б) 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.

сверено с ГИБ ИГУ Г



в) *программное обеспечение:*

- 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>

В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по дисциплине Б1.В.ОД.6 "Физика плазмы".

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

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.

## **10. Образовательные технологии:**

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и

практических занятиях в виде самостоятельных работ

## 11. Оценочные средства (ОС)

### 11.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

### 11.2. Оценочные средства текущего контроля

#### 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  $90^\circ$

#### 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  $K_\alpha$  или  $K_\beta$  ?
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  $^{137}\text{Cs}$ .

5. Рассчитайте постоянную распада беспримесного трития ( $^3\text{H}$ ) с периодом полураспада 12,26 лет.
6. У некоторого легкого элемента длины волн  $K_\alpha$  и  $K_\beta$  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?

### 11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

#### Примерный список вопросов к экзамену:

1. Если энергетическое разрешение имеющегося сцинтиллятора NaI-Tl составляет 7% при использовании источника  $^{137}\text{Cs}$ , оценить его энергетическое разрешение для энергии гамма-излучения 1,28 МэВ от источника  $^{22}\text{Na}$ .
2. Определите энергию Комптоновского края от источника  $^{60}\text{Co}$ , 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  $^{137}\text{Cs}$ , а разрешение пика (1,17 КэВ) от источника  $^{60}\text{Co}$  составляет 5%.

**Разработчики:** д.ф.-м.н.

Е А Раджабов

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