

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г. Дубне
/ Э.Э. Боос /
14 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения: Очная форма обучения

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. д.ф.-м.н., Васильев Андрей Николаевич, заведующий отделом НИИЯФ МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом»

Целью курса является изучение студентами практических и теоретических основ взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. В курсе рассматриваются ионизационные потери тяжелых заряженных частиц, ионизационные и радиационные потери электронов и позитронов, излучение Вавилова-Черенкова и переходное излучение, когерентное тормозное излучение, аннигиляция позитронов в веществе, фотоэффект, рассеяние γ -квантов и рождение пар γ -квантами в веществе, замедление, термализация и поглощение нейтронов в веществе, нейтронно-оптические (когерентные) и поляризационные явления.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры и входит в состав вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
МПК-3 Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики при решении задач профессиональной деятельности	ИМПК-3.1 Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики при решении задач профессиональной деятельности	Знать: возможные явления при взаимодействии излучения с веществом. Уметь: математически описывать процессы и явления при взаимодействии излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений. Владеть: методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а также методами их обработки и анализа.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Общие представления об ионизирующем излучении.

Общие представления об ионизирующем излучении. Виды ионизирующего излучения и характерные особенности его взаимодействия с веществом. Исследование и применение ионизирующих излучений в физике высоких энергий, медицине, промышленности, для различных видов активной и пассивной диагностики, в системах безопасности.

Тема 2. Поля быстро движущихся частиц.

Поля, создаваемые быстрой движущейся частицей в среде. Потенциал Льенара-Вихарда. Диэлектрическая проницаемость с учетом пространственной и временной дисперсии. Плазмонное приближение для диэлектрической проницаемости. Дисперсия плазмонов. Проявление межзонных переходов в диэлектрической проницаемости. Проявление фононов в диэлектрической проницаемости. Сила, действующая на движущийся заряд со стороны среды. Потери энергии в веществе и связь с диэлектрической проницаемостью. Релятивистская формулировка проблемы. Ионизационные и излучательные потери. Продольные и поперечные фотоны и их роль в передаче энергии среде. Черенковское излучение. Тормозное излучение. Эффект Комптона. Рождение пар. Взаимодействие нейтронов различной энергии с веществом.

Тема 3. Сцинтилляторы.

Сцинтилляторы. Требования к сцинтилляционным кристаллам со стороны различных применений. Выход сцинтилляторов, энергетическое разрешение, временные характеристики сцинтилляций. Послесвечение и длинные компоненты свечения. Радиационная стойкость сцинтилляторов.

Тема 4. Другие детекторы ионизирующего излучения.

Другие типы детекторов ионизирующего излучения. Токовые детекторы со сверхвысоким энергетическим разрешением (сверхчистый германий). Запоминающие фосфоры. Дозиметры. Датирование исторических событий – термостимулированная и оптически стимулированная люминесценция.

Тема 5. Сцинтилляторы в физическом поиске.

Сцинтилляторы для поиска темной материи и двойного безнейтринного бета-распада. Криогенные сцинтилляционные детекторы.

Тема 6. Непропорциональность выхода сцинтилляторов.

Непропорциональность выхода сцинтилляторов. Связь непропорциональности с энергетическим разрешением. Различные типы непропорциональности и общие причины этого эффекта.

Тема 7. Иерархия процессов при взаимодействии с ионизирующим излучением.

Иерархия процессов при взаимодействии с ионизирующим излучением по времени и энергии. Стадии релаксации энергии: каскадное размножение электронных возбуждений, термализация возбуждений, взаимодействие и захват, излучательные и безызлучательные процессы, дефектообразование. Отличие схем релаксации в кристаллах с редкоземельными ионами и в кристаллах с возможностью остожно-валентных переходов. Пространственно-временная структура треков.

Тема 8. Процессы, связанные с высокоэнергетической стадией релаксации энергии.

Процессы, связанные с высокоэнергетической стадией релаксации энергии. Рентгеновская фосфоресценция, остожно-валентные переходы, внутризонная люминесценция, процессы, связанные с многозарядной ионизацией, процессы в кластерах электронных возбуждений.

Тема 9. Пространственные масштабы процессов релаксации энергии.

Пространственные масштабы процессов релаксации энергии. Длина термализации и ее зависимость от особенностей фононного спектра. Особенности релаксации в бинарных ионных кристаллах и кристаллах с оксианионом. кристаллах. Зарядовая неоднородность в

треках и роль электрических полей, возникающих при разделении зарядов. Процессы в твердых растворах и аморфных системах. Инженерия сцинтилляционных материалов.

Тема 10. Экспериментальные методы определения параметров процессов.

Экспериментальные методы определения параметров процессов в областях с высокой плотностью возбуждений. Применение фемтосекундных лазеров и лазеров на свободных электронах для исследования этих процессов. Применение синхротронного излучения для исследования сцинтилляторов.

Тема 11. Процессы в треках тяжелых ионов.

Процессы в треках тяжелых ионов. Фазовые переходы и модификация структуры вещества в области треков.

Тема 12. Взаимодействие ионизирующего излучения.

Взаимодействие ионизирующего излучения с наночастицами и наноструктурированными объектами.

Тема 13. Калориметры и детекторы для физики высоких энергий.

Калориметры и детекторы для физики высоких энергий и исследования космических лучей. Разработка новых типов сцинтилляторов со сверхбыстрой регистрацией для физики высоких энергий и позитрон-эмиссионной томографии.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Учебно-практические занятия	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом	2	72	36	18	18	36	

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Са мо ст оя те ль на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Общие представления об ионизирующем излучении	5	1	1		3		
2	Поля быстро движущихся частиц	5	1	1		3		
3	Сцинтилляторы	5	1	1		3		
4	Другие детекторы ионизирующего излучения	6	1	2		3		
5	Сцинтилляторы в физическом поиске	6	1	2		3		
6	Непропорциональность выхода сцинтилляторов	6	1	2		3		
7	Иерархия процессов при взаимодействии с ионизирующим излучением	5	1	2		2		
8	Процессы, связанные с высокоэнергетической стадией релаксации энергии	5	1	2		2		
9	Пространственные масштабы процессов релаксации энергии	5	2	1		2		
10	Экспериментальные методы определения параметров процессов	5	2	1		2		
11	Процессы в треках тяжелых ионов	5	2	1		2		
12	Взаимодействие ионизирующего излучения	5	2	1		2		
13	Калориметры и детекторы для физики высоких энергий	5	2	1		2		
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет	
ИТОГО:		72	18	18		36		

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета в виде письменной работы.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ Зачтено
ЗНАТЬ: возможные явления при взаимодействии и излучения с веществом	Отсутствие знаний возможных явлений при взаимодействии излучения с веществом	В целом успешные, но не систематические знания возможных явлений при взаимодействии и излучения с веществом	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания возможных явлений при взаимодействии и излучения с веществом	Успешные и систематические знания возможных явлений при взаимодействии излучения с веществом
УМЕТЬ: математически описывать процессы и явления при взаимодействии и излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений	Отсутствие умения математически описывать процессы и явления при взаимодействии излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать процессы и явления при взаимодействии и излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать процессы и явления при взаимодействии и излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений	Успешное и систематическое умение математически описывать процессы и явления при взаимодействии излучения с веществом с учетом необходимых и достаточных приближений
ВЛАДЕТЬ: методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а также методами их обработки и анализа	Отсутствие/фрагментарное владение методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а также методами их обработки и анализа	В целом успешное, но не систематическое владение методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а также	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с	Успешное и систематическое владение методами постановки и проведения экспериментов для исследования процессов взаимодействия ионизирующего излучения с веществом, а также методами их обработки и анализа

		методами их обработки и анализа	веществом, а также методами их обработки и анализа	
--	--	---------------------------------	--	--

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу:

Пример:

Вопросы по теории:

1.

Задачи:

1.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

1. Связь между мощностью экспозиционной дозы, интенсивностью и потоком γ -излучения с энергией. Понятие активности радиоактивного вещества.
2. Кривая Брэгга.
3. Полные потери энергии электронов в среде.
4. Основные закономерности ионизационного торможения электронов.
5. Основные закономерности переходного излучения.
6. Сечение полного фотопоглощения γ -квантов атомами вещества
7. Основные закономерности процесса образования электрон-позитронных пар.
8. Рентгеноскопия. Флюорография. Рентгенография. Компьютерная рентгеновская томография.
9. Основные закономерности ядерного фотоэффекта
10. Основные закономерности взаимодействия нейтронов с веществом

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература

1. Черняев А.П., Белоусов А. В., Лыкова Е. Н. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом: Учеб. пособие — М.: ООП физического факультета МГУ, 2019 — 104 с.: ISBN 978–5–6042768–5–3

Дополнительная литература

1. R.A.L. Jones, Soft Condensed Matter, Oxford UP, 2002.
2. Бор Н. Прохождение атомных частиц через вещество / Пер. с англ. М.: ИЛ, 1950.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux (<https://astralinux.ru/>) или аналог, с офисным пакетом.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования)
<http://www.elibrary.ru>

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки 03.04.02 «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.