

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» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Эксперименты в физике высоких энергий

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Физика элементарных частиц

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. Доктор физ.-мат. наук, профессор Ольшевский Александр Григорьевич, профессор физического факультета МГУ по совместительству
2. Дедович Дмитрий Владимирович, почасовик МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Эксперименты в физике высоких энергий»

Основной целью данной дисциплины является обучение основным способам регистрации и измерения свойств элементарных частиц, применяемым в экспериментальной ядерной физике. Рассматриваются основы проектирования экспериментальных ядерно-физических установок.

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 «Эксперименты в физике высоких энергий» 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

Бакалавр по любой физико-математической специализации. Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, методов математической физики, раздел оптика из курса общей физики, разделы теоретическая механика, электродинамика и квантовая механика из курса теоретической физики, а также курс атомной физики и физики атомного ядра и частиц.

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 физики элементарных частиц при решении задач профессиональной деятельности	ИМПК-3.2 Способен использовать численные методы при анализе экспериментальных данных, при моделировании работы экспериментальных установок физики элементарных частиц	З-1 Знать: основные виды экспериментов в физике высоких энергий и необходимое для этого оборудование У-1 Уметь: планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий В-1 Владеть: способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных

3. **Форма обучения:** очная.

4. **Язык обучения:** русский.

5. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Введение.

Обзор материала курса. Классификация и основные характеристики детекторов. Процессы, происходящие при прохождении частиц через вещество.

Тема 2. Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц.

Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. Вывод формулы Бете-Блоха и ее анализ.

Тема 3. Пробег заряженных частиц в веществе.

Пробег заряженных частиц в веществе. Флуктуации ионизационных потерь. Дельта-электроны. Ионизационные потери электронов.

Тема 4. Тормозное излучение.

Тормозное излучение. Формула Бете-Гайтлера. Радиационная длина. Критическая энергия.

Тема 5. Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами.

Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами. Многократное рассеяние.

Тема 6. Излучение Вавилова-Черенкова.

Излучение Вавилова-Черенкова. Физические основы черенковского излучения и его характеристики. Переходное излучение.

Тема 7. Взаимодействие фотонов с веществом.

Взаимодействие фотонов с веществом: фотоэффект, комптоновское рассеяние, рождение e^+e^- пар.

Тема 8. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов. Ядерные реакции.

Тема 9. Сцинтилляционные детекторы.

Сцинтилляционные детекторы. Сцинтилляционные материалы. Характеристики сцинтилляторов.

Тема 10. Фотоумножители.

Фотоумножители. Характеристики ФЭУ. Система питания ФЭУ. Шумы ФЭУ.

Тема 11. Вопросы светосбора и магнитной защиты.

Вопросы светосбора и магнитной защиты. Полупроводниковые фотоприемники. Временное и энергетическое разрешение сцинтилляционных детекторов.

Тема 12. Черенковские детекторы.

Черенковские детекторы. Типы радиаторов (газ, жидкость, твердое тело, аэрогель). Сместители спектра. Пороговые и дифференциальные счетчики. Спектрометры полного поглощения. RICH детекторы.

Тема 13. Газоразрядные детекторы.

Газоразрядные детекторы. Физика газового разряда. Лавинное усиление. Пропорциональный счетчик.

Тема 14. Режимы работы газоразрядных детекторов.

Выбор газового наполнения. Режимы работы газоразрядных детекторов: пропорциональный, гейгеровский, стримерный, искровой.

Тема 15. Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.

Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры. Варианты конструкции. Основы реконструкции треков.

Тема 16. Полупроводниковые детекторы.

Полупроводниковые детекторы. Физические основы работы полупроводниковых детекторов. Поверхностно-барьерные, диффузионно-дрейфовые детекторы. Микростриповые детекторы.

Тема 17. Ядерные фотоэмульсии.

Ядерные фотоэмульсии. «Классические» детекторы прежних лет: камеры Вильсона, диффузионные камеры, пузырьковые камеры.

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		
Эксперименты в физике высоких энергий	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 «Эксперименты в физике высоких энергий» 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.

№ темы	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	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)	Са мо сто ят ель на я ра бо та	
1	Введение	4	1	1		1	
2	Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц.	4	1	1		1	
3	Пробег заряженных частиц в веществе.	4	1	1		2	
4	Тормозное излучение.	4	1	1		2	
5	Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами.	4	1	1		2	
6	Излучение Вавилова-Черенкова.	4	1	1		2	
7	Взаимодействие фотонов с веществом	4	1	1		2	
8	Взаимодействие нейтронов с веществом.	4	1	1		2	
9	Сцинтилляционные детекторы	4	1	1		2	
10	Фотоумножители.	4	1	1		2	
11	Вопросы светосбора и магнитной защиты.	4	1	1		2	
12	Черенковские детекторы.	4	1	1		2	
13	Газоразрядные детекторы.	4	1	1		2	
14	Режимы работы газоразрядных детекторов	4	1	1		2	
15	Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.	4	1	1		2	
16	Полупроводниковые детекторы.	4	1	1		2	
17	Ядерные фотоэмульсии.	6	2	2		2	
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет
ИТОГО:		72	18	18		36	

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Эксперименты в физике высоких энергий» 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 «Эксперименты в физике высоких энергий» проводится в третьем семестре 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: основные виды экспериментов в физике высоких энергий и необходимое для этого оборудование ИМПК-3.2	Отсутствие знаний о основных видах экспериментов в физике высоких энергий и необходимого для этого оборудование	В целом успешные, но не систематические знания о основных видах экспериментов в физике высоких энергий и необходимого для этого оборудование	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания о основных видах экспериментов в физике высоких энергий и необходимого для этого оборудование	Успешные и систематические знания о основных видах экспериментов в физике высоких энергий и необходимого для этого оборудование
УМЕТЬ: планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий ИМПК-3.2	Отсутствие умения планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий	В целом успешное, но не систематическое умение планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий	Успешное и систематическое умение планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий
ВЛАДЕТЬ: способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных ИМПК-3.2	Отсутствие/фрагментарное владение способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных	В целом успешное, но не систематическое владение способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных	Успешное и систематическое владение способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

Вопросы по теории:

1. Принцип действия и конструкция ППД
2. Функция отклика детектора
3. Энергетическое разрешение γ -спектрометра с HPGe-детектором
4. Физическая суть излучения Вавилова-Черенкова
5. Принцип действия фотоумножителей и их свойства

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. Объяснить зависимость ионизационных потерь от импульса в формуле Бете- Блоха.
2. Флуктуации ионизационных потерь и их проявление в эксперименте.
3. Физическая суть излучения Вавилова-Черенкова и его свойства.
4. Сравнить характеристики двух видов излучения: черенковского и тормозного.
5. Объяснить явление многократного рассеяния и как оно проявляется в эксперименте.
6. Описать основные виды взаимодействия фотонов с веществом.
7. Общая схема сцинтилляционного детектора.
8. Фотоумножители и их характеристики.
9. Пороговые и дифференциальные черенковские счетчики.
10. Физические основы работы полупроводниковых детекторов и их основные типы.
11. Лавинное усиление и работа пропорционального счетчика.
12. Различные режимы работы газоразрядных детекторов.
13. Пропорциональные и дрейфовые камеры.

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

Основная литература

1. Д.Перкинс, Введение в физику высоких энергий, М., Энергоатомиздат, 1991
2. Е.А.Мурзина. Взаимодействие излучения высокой энергии с веществом. Изд-во МГУ, 1990.
3. Ю.В.Меликов. Экспериментальная техника в ядерной физике. Изд-во МГУ, 1973.
4. А.И.Абрамов и др. Основы экспериментальных методов ядерной физики. Атомиздат, 1977.
5. Д.Ритсон. Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Изд-во "Наука", 1964.
6. В.П.Зрелов. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Т.2. Атомиздат, 1968.
7. Ю.К.Акимов и др. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике. Атомиздат, 1989.
8. Ю.А.Будагов и др. Ионизационные измерения в физике высоких энергий. Атомиздат, 1988.
9. F.Sauli. Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. CERN 77-09, 1977.
10. Г.Д.Алексеев, В.В.Круглов, Д.М.Хазиис. Самогасящийся стримерный (СГС) разряд в проволочной камере. ЭЧАЯ, т.13, вып.3/ 1982.

Дополнительная литература

1. H.J.Hilke. Detectors for particle physics. CERN, 1993/1996.
2. P.Mato. Trigger and data acquisition. CERN, 1997.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

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

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования) <http://www.elibrary.ru>
2. Открытая данных Particle Data Group (<http://pdg.lbl.gov>)
3. Поисковая система INSPIRE (<http://inspirehep.net/>)
4. электронные версии журналов Phys. Lett., Phys. Rev., Eur. Phys. J., Nucl. Phys., Nucl. Instrum and Meth.

Материально-техническое обеспечение

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