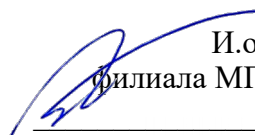


Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

УТВЕРЖДАЮ


И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
«01» сентября 2024 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Экспериментальная физика элементарных частиц

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

Форма обучения:

Очная

Дубна 2024

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению 03.04.02 «Физика», утвержденным приказом МГУ от 30.12.2020 г. № 1366.

Год (годы) приема на обучение _____

Авторы–составители:

1. Доктор физ.-мат. наук, профессор Ольшевский Александр Григорьевич, профессор физического факультета МГУ по совместительству
2. Кандидат физ.-мат. наук Анфимов Николай Владимирович

Руководитель магистерской программы:

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

Аннотация к рабочей программе дисциплины

Основной целью данной дисциплины является ознакомление студентов с основами физических принципов регистрации частиц, а также применение современных методов и подходов для создания детекторов и электронных устройств для современных систем физического эксперимента. Данная дисциплина предоставляет студентам знания о методах и принципах организации технических средств для физических экспериментов и их структурной организации. В рамках курса изучаются основные методы физического эксперимента, принципы построения устройств, современная схемотехника и последние тенденции в развитии наносекундной цифровой и аналоговой техники.

Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестре и входит в состав вариативной части.

Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) – зачет в 3 семестре.

1.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Экспериментальная физика элементарных частиц» 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. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Компетенции	Результаты обучения
ОПК-5	<p><u>Знать</u> тенденции и перспективы развития современной ядерной физики, а также смежных областей науки и техники</p> <p><u>Уметь</u> использовать передовой отечественный и зарубежный опыт в области современной ядерной физики при постановке научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> навыками научно-инновационного прогнозирования при решении исследовательских задач в области современной ядерной физики.</p>
МПК-1	<p><u>Знать</u> основные разделы и направления в физике элементарных частиц.</p> <p><u>Уметь</u> структурировать явления физики элементарных частиц, создавать или подбирать физическую модель для их описания.</p> <p><u>Владеть</u> методами оценки границы применимости физических моделей, определять их недостатки и несоответствия.</p>
МПК-3	<p><u>Знать</u> основные виды экспериментов в физике высоких энергий и необходимое для этого оборудование</p> <p><u>Уметь</u> планировать и ставить эксперименты для исследования явлений физики высоких энергий</p>

	<u>Владеть</u> способностью численно или теоретически моделировать результаты экспериментов в физике высоких энергий и анализировать отклонения реальных данных от моделированных
--	---

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя: занятия лекционного типа и занятия семинарского типа.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе				Форма текущего контроля успеваемости, наименование	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, академические часы¹</i>					академические часы Самостоятельная работа обучающегося,
		Занятия лекционного	Занятия семинарского типа				
Семинары	Лабораторные занятия		Практические занятия *				

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

				*				
Основы регистрации частиц и взаимодействие излучения с веществом	4	1 типa (лекции)	1			2	2	Опрос
Измерительные системы на основе газовых ионизационных детекторов	6	2	2			4	2	Опрос, Проверка домашнего задания
Применение полупроводниковых детекторов	6	2	2			4	2	Опрос, Проверка домашнего задания
Фотонные методы регистрации излучений	8	2	2			4	4	Опрос, Проверка домашнего задания
Прикладные исследования и разработки	8	2	2			4	4	Опрос, Тестирование
Методы измерения амплитуды и времени сигналов	8	2	2			4	4	Опрос, Проверка домашнего задания
Интегральные схемы специализированного назначения ASIC.	8	2	2			4	4	Опрос, Проверка домашнего задания
Построение сложных физических установок	4	1	1			2	2	Опрос, Проверка домашнего задания
Электромагнитная калориметрия (SPD, MPD)	8	2	2			4	4	Опрос, Проверка домашнего задания

Диффузионная оптика во временном домене	8	2	2			4	4	Опрос, Проверка домашнего задания
Промежуточная аттестация							4²	Зачет
Итого	72	36					36	

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

2 Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

Модуль 1: Основы регистрации частиц и взаимодействие излучения с веществом

- 1.1 Структура вещества. Единицы измерения в физике высоких энергий.
- 1.2 Регистрация частиц. Классификация детекторов.
- 1.3 Взаимодействие излучения с веществом. Источники и виды излучений.
- 1.4 Ускорители и детекторы в физике высоких энергий

Модуль 2: Измерительные системы на основе газовых ионизационных детекторов

- 2.1 Основные принципы ионизации в газах и регистрация частиц.
- 2.2 Регистрация без газового усиления.
- 2.3 Ионизационные методы регистрации с газовым усилением.
- 2.4 Преимущества и применение ионизационных камер и пропорциональных счетчиков.
- 2.5 Технические решения для считывания и обработки сигналов.
- 2.6 Счетчики Гейгера-Мюллера и их применение.
- 2.7 Пропорциональные и дрейфовые камеры.
- 2.7 Возможности многопроволочной пропорциональной камеры.
- 2.9 Беспроволочные камеры - Micromegas, GEM.
- 2.10 Рассмотрение многоззорной резистивно-плоской камеры и ее особенностей.
- 2.11 Перспективы и применение время-проекционной камеры в современной науке.

Модуль 3: Применение полупроводниковых детекторов

- 3.1 Понимание процессов образования носителей заряда в полупроводниках под воздействием заряженных частиц, p-n переход.
- 3.2 Применение диодов, включая PIN-диоды, в детектировании частиц.
- 3.3 Оценка энергетического разрешения и координатного разрешения полупроводниковых детекторов.
- 3.4 Современные методы и технологии изготовления полупроводниковых детекторов.
- 3.5 Принцип работы микростриповых детекторов.
- 3.6 Особенности дрейфовых детекторов и их применение.
- 3.7 Пиксельные детекторы, такие как ПЗС и Medipix, и перспективы их использования.
- 3.8 Современные считывающие электронные устройства для полупроводниковых детекторов.

Модуль 4: Фотонные методы регистрации излучений

- 4.1 Классификация фотометрических величин.
- 4.2 Органические и неорганические сцинтилляторы. Свечение сцинтилляторов и основные понятия.
- 4.3 Анализ методов дискриминации частиц по форме световой вспышки.
- 4.4 Возможности время-пролетных измерений при регистрации частиц.
- 4.5 Явление Вавилова-Черенкова и его применение.
- 4.6 Фотоэлектронные умножители: устройство, характеристики и сферы применения.
- 4.7 Лавинные фотодиоды, конструкция, характеристики.
- 4.8 Кремниевые фотоумножители, конструкция, характеристики и области применения

Модуль 5: Прикладные исследования и разработки

- 5.1. Применение протонов в онкологии для лучевой терапии.
- 5.2. Изготовление и исследование трековых мембран для разнообразных применений.
- 5.3. Оценка радиационной стойкости микросхем и электронных компонентов.
- 5.4. Изучение влияния радиации на живые системы.

- 5.5. Применение детекторов в ПЭТ для диагностики и изучения биологических процессов.
- 5.6. Разработка современных детекторов для улучшения рентгеновских исследований.
- 5.7. Применение нейтронов для радиографического исследования.
- 5.8. Нейтроны для изучения электродных материалов.
- 5.9. Использование нейтронов для обнаружения водородсодержащих материалов.
- 5.10. Применение нейтронов для обнаружения взрывчатых веществ и наркотиков.
- 5.11. Астробиологические исследования: Исследование возможности существования жизни на других планетах и космических объектах.
- 5.12. ЛИДАРЫ и умные автомобили

Модуль 6: Методы измерения амплитуды и времени сигналов

- 6.1 Анализ свойств коаксиальных кабелей, волнового сопротивления и задержки распространения сигналов.
- 6.2 Изучение отражений и опции согласования линий связи.
- 6.3 Преимущества и особенности дифференциальной передачи сигналов. Использование витых пар для передачи данных.
- 6.7. Логические элементы. Компаратор.
- 6.8 Цифро-аналоговые преобразователи.
- 6.9 Ознакомление с амплитудными преобразователями, основанными на методе Вилкинсона.
- 6.10 Применение преобразователей параллельного кодирования для точного аналого-цифрового преобразования.
- 6.11 Интегральная и дифференциальная нелинейностей.
- 6.13 Изучение стандартов NIM, CAMAC, VME и VXS и их применение в различных экспериментах
- 6.4. Применение математических методов: деконволюция, аппроксимация функцией ожидаемого сигнала.
- 6.5 Анализ методов измерения времени пролета частиц.
- 6.6 Перспективы привязки к переднему и заднему фронтам сигналов с фиксированным порогом.
- 6.7 Применение временно-амплитудной корреляции для точного измерения временного разрешения.
- 6.8 Оценка эффективности метода следящего порога в контексте измерений времени.
- 6.9 Изучение анализа формы импульса сигналов для оптимизации временного разрешения.
- 6.10 Примеры экспериментов с измерением временного разрешения и совместного анализа время-амплитуда.
- 6.11 Передискретизации сигналов для повышения точности измерений.

Модуль 7: Интегральные схемы специализированного назначения ASIC.

- 7.1. История развития интегральных схем (ИС) и основные понятия.
- 7.2. Биполярный и полевой транзистор. МОП и КМОП - технологии.
- 7.3. Изготовление конденсаторов в ИС.
- 7.4. Технология размещения индуктивностей на чипе
- 7.5. Резисторы из поликремния и металлов.
- 7.6. Пример ИС TLR431A: обратная инженерия простейшей ИС.
- 7.7. Технология производства ИС на пластине. Фотолитография.
- 7.8. ASIC CITIROC (Continuous Integration Time Readout Chip) - ИС для считывания сигналов с детекторов в физике высоких энергий и медицинской технике.

- 7.9. ASIC LArPix (Liquid Argon Pixel detector) - ИС для считывания заряда с пиксельной плоскости в жидкоргаоновой ВПК эксперимента DUNE.
- 7.10. ASIC SAMPA (Slow Acquisition and Monitoring for PArticle physics) - ИС применяемая в ВПК (ALICE/LHC и MPD/NICA).

Модуль 8: Построение сложных физических установок (2 темы на выбор)

- 8.1. Эксперимент COMPASS: Установка для изучения свойств ядерной материи
- 8.2. Эксперимент JUNO: Нейтринный реакторный эксперимент
- 8.3. Эксперимент DUNE: Нейтринный ускорительный эксперимент
- 8.4. Детектор MPD эксперимента NICA
- 8.5. Эксперимент Байкал: Астрофизический нейтринный детектор.

Модуль 9: Электромагнитная калориметрия (NICA/SPD)

- 9.1. Электромагнитный ливень, детекторы полного поглощения, утечки
- 9.2. Варианты реализации электромагнитных калориметров: гомогенные, гетерогенные.
- 9.3. Электромагнитный калориметр типа шашлык
- 9.4. Считывающая электроника
- 9.5. Конструкция калориметра в эксперименте NICA/SPD.
- 9.6. Методы испытаний и калибровки модулей калориметров.
- 9.7. Анализ данных

Модуль 10: Диффузионная оптика во временном домене (TD-DO)

- 10.1. Спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона
- 10.2. Диффузионная оптика: непрерывный свет, модуляция по частоте, временной домен
- 10.3. Источники света пикосекундного диапазона
- 10.4. Регистрация световых вспышек пикосекундного диапазона
- 10.5. Измерение и анализ DTOF спектров
- 10.6. Оптические фантомы: методы изготовления и валидации
- 10.7. Алгоритмы симуляций и реконструкции

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

- 6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Типовые вопросы для проведения текущей проверки успеваемости и задания для проведения промежуточной аттестации (зачета):

Модуль 1: Основы регистрации частиц и взаимодействие излучения с веществом

1. Какие единицы измерения в физике высоких энергий используются для характеристики элементарных частиц?
2. Перечислите и классифицируйте основные типы детекторов, используемых для регистрации частиц.
3. Какие источники и виды излучений используются в физике высоких энергий?

4. Как осуществляется ускорение заряженных частиц в ускорителях высоких энергий? Опишите основные параметры ускорителей и их роли в физике элементарных частиц.

Модуль 2: Измерительные системы на основе газовых ионизационных детекторов

5. Какие основные процессы происходят в газовых детекторах при регистрации частиц, и каковы их принципы работы?
6. Какие методы регистрации частиц без газового усиления существуют, и в каких ситуациях их применяют?
7. В чем заключаются ионизационные методы регистрации с газовым усилением, и какие детекторы используются на основе этих принципов?
8. Какие преимущества и области применения ионизационных камер и пропорциональных счетчиков в измерительных системах?
9. Какие существуют технические решения для считывания и обработки сигналов в газовых детекторах?

Модуль 3: Применение полупроводниковых детекторов

10. Какие процессы происходят в полупроводниках при попадании заряженных частиц, и как они влияют на их регистрацию?
11. В чем заключается применение диодов, включая PIN-диоды, в детектировании частиц?
12. Как оценивается энергетическое разрешение и координатное разрешение полупроводниковых детекторов, и как это влияет на их применение?
13. Какие современные методы и технологии используются при изготовлении полупроводниковых детекторов?
14. Как работают микростриповые детекторы, и каковы основные области их применения?
15. Какие особенности дрейфовых детекторов и в каких сферах они используются?
16. Какие пиксельные детекторы применяются, и какие перспективы их использования?

Модуль 4: Фотонные методы регистрации излучений

17. Что представляют собой органические и неорганические сцинтилляторы, и каковы основные характеристики их свечения?
18. Как проводится анализ методов дискриминации частиц по форме световой вспышки?
19. В чем заключается идея время-пролетных измерений при регистрации частиц?
20. Как используется излучение Вавилова-Черенкова в физических исследованиях?
21. Как устроены фотоэлектронные умножители, и в каких сферах их применяют?
22. Что такое лавинные фотодиоды, и каковы их характеристики?
23. Как работают кремниевые фотоумножители? Приведите примеры их применения.

Модуль 5: Прикладные исследования и разработки

24. Как работают протонные ускорители, и каким образом протоны используются для лечения опухолей?
25. Как создаются трековые мембраны для различных применений? Какие технические сложности возникают при их производстве, и как они преодолеваются?
26. Как оценивается радиационная стойкость микросхем и электронных компонентов? Какие методы испытаний применяются для определения радиационной стойкости?
27. Каким образом исследуется влияние радиации на живые системы?
28. Как применяются детекторы в ПЭТ для диагностики и изучения биологических процессов? Какие радиофармпрепараты используются в ПЭТ-сканировании, и как они взаимодействуют с тканями организма?
29. Рассмотрите разработку современных детекторов для улучшения рентгеновских исследований. Какие технические инновации применяются для увеличения информативности рентгеновской томографии?
30. Как работают нейтронные детекторы, и какие проблемы возникают при регистрации нейтронов?
31. В каких областях применяются нейтроны для изучения электродных материалов, и какие свойства этих материалов изучаются?
32. Как используются нейтроны для обнаружения водородсодержащих материалов, взрывчатых веществ и наркотиков? Какие методы детектирования применяются в данных приложениях, и каковы их характеристики?
33. Как применяются ЛИДАРЫ в сфере умных автомобилей и какие проблемы возникают при использовании ЛИДАРОВ?

Модуль 6: Передача наносекундных сигналов

34. Какие основные параметры коаксиальных кабелей оказывают влияние на их характеристики передачи наносекундных сигналов? Объясните свойства волнового сопротивления и задержки распространения сигналов в коаксиальных кабелях.
35. Что такое отражения сигналов, и как они возникают на линиях связи? Как решаются проблемы отражений с помощью опции согласования линий связи?
36. В чем состоят преимущества дифференциальной передачи сигналов, и как она применяется в передаче данных? Как витые пары используются для передачи наносекундных сигналов и каким образом это повышает качество передачи?
37. Какие методы измерения времени пролета частиц применяются в физических экспериментах? Оцените их эффективность и точность.
38. Что такое временно-амплитудная корреляция, и как она применяется для точного измерения временного разрешения? Какие технические аспекты учитываются при использовании этого метода?
39. Как передискретизация сигналов может повысить точность определения времени прихода сигналов? Какие методы передискретизации используются Вы знаете?

40. Опишите роль компаратора в процессе считывания сигналов. Какие с его помощью можно сделать измерения?
41. Что представляют собой цифро-аналоговые преобразователи, и как они применяются для обработки сигналов при их считывании?
42. Что такое интегральная и дифференциальная нелинейности, и как они влияют на процесс считывания сигналов? Каким образом можно учесть эти нелинейности?
43. Опишите применение стандартов NIM, CAMAC, VME и VXS. Какие преимущества предоставляют эти стандарты в процессе обработки и считывания сигналов?

Модуль 7: Интегральные схемы специализированного назначения ASIC.

44. Рассмотрите историю развития интегральных схем (ИС) и основные понятия, связанные с этой областью. Какие типы транзисторов применяются в ИС, и какие технологии используются для их изготовления?
45. Как создаются конденсаторы в ИС, и какие методы изготовления применяются для размещения индуктивностей на чипе?
46. Опишите технологии изготовления резисторов из поликремния в ИС.
47. Как осуществляется технология производства ИС на пластине, и что такое фотолитография в контексте производства ИС?
48. Опишите применение ASIC CITIROC в считывании сигналов с детекторов в физике высоких энергий и медицинской технике.

Модуль 8: Построение сложных физических установок

49. Какую цель преследует эксперимент COMPASS, и какие основные детекторы используются в установке?
50. Каким образом нейтрино взаимодействуют в детекторе JUNO, и какие методы и технологии применяются в эксперименте для их регистрации?
51. Какова основная задача эксперимента DUNE. Какие принципы и методы регистрации лежат в основе жидкоаргоновой ВПК ближнего детектора эксперимента?
52. Какие детекторы используются в установке MPD/NICA, и какие процессы и частицы они предназначены регистрировать?
53. Что представляет собой нейтринный эксперимент Байкал? Какие детекторы и принципы используются для регистрации астрофизических нейтрино в этом эксперименте?

Модуль 9: Электромагнитная калориметрия (NICA/SPD)

54. Электромагнитный ливень и его развитие в веществе. Энергетическое разрешение
55. Разница между гомогенными и гетерогенными калориметрами. Какие преимущества и недостатки у каждого из типов?
56. Приведите примеры материалов, применяемых в гомогенных и гетерогенных калориметрах.

57. Конструкция калориметра типа "шашлык". Считывание сигнала в калориметре типа "шашлык". Какие материалы используются в качестве активной и пассивной среды?
58. Какие основные требования предъявляются к считывающей электронике для калориметров?
59. Конструкция электромагнитного калориметра в эксперименте SPD?
60. Какие методы используются для калибровки калориметра. Тесты на пучках ускорителей.
61. Основные методы анализа данных с калориметра.

Модуль 10: Диффузионная оптика во временном домене (TD-DO)

62. Какие физические основы ближней ИК-спектроскопии используются в биомедицинских приложениях? Как измеряются концентрации оксигемоглобина и дезоксигемоглобина?
63. Сравните методы: непрерывный свет, модулированный по частоте свет и временной домен. Каковы преимущества использования временного домена в диффузионной оптике?
64. Что такое диффузионное приближение и когда оно применимо?
65. Типы источников света для генерации импульсов в пикосекундном диапазоне
66. Типы детекторов регистрации коротких импульсов в однофотонном режиме.
67. Что такое время пролета фотона (DToF) и как оно измеряется? Какие ограничения накладываются на электронику в этой области?
68. Как формируется спектр DToF и что он отражает? Какие параметры ткани можно извлечь из DToF спектров? Как проводится подгонка моделей под экспериментальные данные?
69. Для чего используются оптические фантомы в диффузионной оптике? Какие материалы применяются для создания фантомов? Как производится проверка оптических характеристик?
70. Методы моделирования распространения света в тканях. Что такое обратная задача в TD-DO и как она решается? Алгоритмы реконструкции.

6.2. Шкала и критерии оценивания

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематические знания	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы	Успешные и систематические знания

			знания	
Умения	Отсутствие умения применять знания фундаментальных и актуальных проблем.	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания	Успешное и систематическое умение применять знания
Навыки	Отсутствие/фрагментарные навыки в решении задач	В целом успешные, но не систематические навыки в решении задач	В целом успешные, но содержащее отдельные пробелы навыки в решении задач	Успешные и систематические навыки в решении задач

7. Ресурсное обеспечение

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

Основная литература:

1. К. Группен, Б. Шварц. Детекторы элементарных частиц: Основы и применения. Издательство Сибирский хронограф, 2008. ISBN: 978-5-87550-099-5.
2. А.П. Цитович. Ядерная электроника: Учебное пособие для вузов. Издательство Энергоатомиздат, 1984. ISBN: 5-283-00535-4.
3. Е.А. Мелешко. Быстродействующая импульсная электроника. Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2007. ISBN: 978-5-9221-0909-0.
4. Ю.К. Акимов. Фотонные методы регистрации излучений. Издательство ОИЯИ, 2014. ISBN: 978-5-9530-0380-3.
5. Ю.К. Акимов. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Издательство ОИЯИ, 2009. ISBN: 978-5-9530-0213-4.
6. Ю.К. Акимов. Газовые детекторы ядерных излучений. Издательство ОИЯИ, 2011. ISBN: 978-5-9530-0272-1.
7. Ю.В. Заневский. Пропорциональные и дрейфовые камеры. Издательство Атомиздат, 1979.
8. Дж. В. Биман. Полупроводниковые приборы и регистрация излучений. Издательство Академическая пресса, 1985. ISBN: 978-5-512-75212-7.
9. Б. Ф. Бусиновский, А. И. Беспалов. Физика детекторов. Учебное пособие. Издательство Лаборатория знаний, 2012. ISBN: 978-5-904933-59-2.
10. В. В. Зуев. Ионизационные детекторы частиц и фотонов. Издательство МГУ, 2009. ISBN: 978-5-211-05449-3.

Дополнительная литература:

1. Р. Л. Фэрроу. Современные методы дозиметрии радиации. Издательство Академическая пресса, 1996. ISBN: 978-5-12-247662-1.
2. С. Леруа, П. Дюамель. Детекторы радиации для медицинской томографии. Издательство Springer, 2016. ISBN: 978-5-32-929852-6.
3. Ф. Саули. Газовые радиационные детекторы: Основы и применения. Издательство Наука, 1988. ISBN: 5-02-008194-8.
4. Г. Екутьели. Полупроводниковые приборы и регистрация излучений. Издательство КомКнига, 2007. ISBN: 978-5-98223-782-1.
5. Г. Кнолл. Регистрация и измерение излучений. Издательство Вильямс, 2005. ISBN: 978-5-8459-0805-9.
6. А.И.Абрамов и др. "Основы экспериментальных методов ядерной физики." М. Атомиздат, 1977.
7. А.С.Воронов, П.А.Фролов. Импульсные измерения коаксиальных кабелей связи. – М.: Радио и связь, 1985. – 96 с., ил.
8. Л.И. Пономарев. Под знаком кванта. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 - 416 с.
9. Technical Design Report of the Spin Physics Detector at NICA. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.08317>
10. A review on time domain diffuse optics: principles and applications on human biological tissues. <https://doi.org/10.1007/s40766-025-00067-2>

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- ZNANIUM – www.znanium.com
- ЭБС Лань - <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС ЮРАЙТ -biblio-online.ru
- БД российских журналов East View : <http://dlib.eastview.com>
- Elibrary.ru. Научная электронная библиотека (РУНЭБ)
-

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Сайт филиала: <http://dubna.msu.ru>
2. Э. Кэбин "Ядерная электроника для пользователей" (Интернет-ресурс)

Описание материально-технической: курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски

8. Язык преподавания: русский