

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 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Статистическая теория ядерных реакций

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. канд. физ.-мат. наук, доцент, Левтерова Екатерина Анатольевна, почасовик 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 «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния»

Курс направлен на изучение основ экспериментальных методов физики конденсированного состояния вещества, включая устройство и принципы работы экспериментальных установок и лабораторного оборудования, научные основы методов, области их применения в междисциплинарных фундаментальных и прикладных научных исследованиях, технику эксперимента.

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 «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» 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-3.3 Способен использовать численные методы в модельных расчетах свойств атомных ядер и сечений ядерных реакций, при моделировании работы экспериментальных установок и анализе экспериментальных данных	Знать: параметры и особенности веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния. Уметь: математически описывать процессы в физике конденсированного состояния. Владеть: навыками планирования эксперимента в физике конденсированного состояния и применения экспериментальных исследовательских установок и методов.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Введение.

Перекрестная классификация материалов и методов их исследования. Альтернативные подходы.

Тема 2. Основные физические величины и планирование эксперимента.

Температура и методы ее измерения. Реперные точки. Методы получения и регулирования низких и сверхнизких температур. Методы получения и измерения магнитного поля.

Сверхпроводящие соленоиды. Импульсные поля. Методы получения высоких давлений и сильных деформаций при низких температурах. Элементы вакуумной техники.

Тема 3. Измерительные устройства.

Основные блоки. Датчики, детекторы, преобразователи, чувствительные элементы. Статические и динамические передаточные характеристики. Принцип обратной связи. Модуляционные методы. Элементы импульсной техники. Электрические кабельные линии и их характеристики. Передача сигналов по световодам. Спектроскопия высокого разрешения. Выходные регистрирующие устройства. Естественные пределы измерений. Шумы и флуктуации. Обработка результатов измерений. Классификация ошибок.

Тема 4. Металлы, полуметаллы.

Основные параметры. Поверхности Ферми. Методы контроля чистоты металлов гальваномангнитными методами. Методы исследования квантовых осцилляционных эффектов. Акустическая диагностика. Калориметрические методы.

Тема 5. Полупроводники и методы их исследования.

Основные параметры, характеризующие полупроводниковые материалы. Зондовые методы измерения удельного сопротивления. Вспомогательные операции при монтаже образцов. Методы изготовления омических контактов. Бесконтактные методы. Методы раздельного определения концентраций носителей заряда, концентраций доноров и акцепторов, подвижности носителей заряда. Неравновесные процессы и методы измерения времен жизни носителей заряда. Оптические методы исследования. Элементы инфракрасной техники. Основные области применения полупроводников.

Тема 6. Диэлектрики и сегнетоэлектрики.

Измерение диэлектрической проницаемости в различных диапазонах частот. Диэлектрические потери и диэлектрическая релаксация. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Методика измерений диэлектрических параметров с учетом заметной проводимости. Наблюдение сегнетоэлектрических доменов и петли гистерезиса. Спонтанная поляризация. Эквивалентные схемы пьезоэлектрических и пирозэлектрических преобразователей.

Тема 7. Магнитные вещества и магнитные измерения.

Основные методы исследования магнитных свойств веществ. Устройства и принципы действия различных магнитометров. Индукционные методы. Методы исследования слабомагнитных веществ. Основные методы измерения магнитострикции. Исследования магнитной анизотропии ферромагнитных веществ. Нейтронография.

Тема 8. Сверхпроводники.

Основные параметры. Методы исследования транспортных и тепловых свойств. Критические поля и токи. Промежуточное состояние. Глубина проникновения магнитного поля. Методы определения энергетической щели. Туннельная спектроскопия. Основы работы сверхпроводящих квантовых интерферометров.

Тема 9. Методы нейтронографии.

Введение. Свойства нейтрона. Источники нейтронов. Формирование нейтронных пучков. Детекторы нейтронов. Взаимодействие тепловых нейтронов с веществом. Закон рассеяния. Дифракция нейтронов. Малоугловое рассеяние нейтронов. Неупругое когерентное рассеяние нейтронов. Неупругое некогерентное рассеяние нейтронов. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Поляризованные нейтроны. Нейтронное спиновое эхо.

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		
Экспериментальные методы физики конденсированного состояния	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 «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» 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					Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Самостоятельная работа		
1	Введение	8	2	2		4	ДЗ	
2	Основные физические величины и планирование	8	2	2		4	ДЗ	

	эксперимента					
3	Измерительные устройства	8	2	2		4 ДЗ
4	Металлы, полуметаллы	8	2	2		4 ДЗ, КР
5	Полупроводники и методы их исследования	8	2	2		4 ДЗ
6	Диэлектрики и сегнетоэлектрики	7	2	2		3 ДЗ
7	Магнитные вещества и магнитные измерения	7	2	2		3 ДЗ
8	Сверхпроводники	7	2	2		3 ДЗ
9	Методы нейтронографии	7	2	2		3 ДЗ, КР
	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 «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» проводится в форме зачета.

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	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	
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: параметры и особенности веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния	Отсутствие знаний параметров и особенностей веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния	В целом успешные, но не систематически знания параметров и особенностей веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания параметров и особенностей веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния	Успешные и систематические знания параметров и особенностей веществ, изучаемых в физике конденсированного состояния
УМЕТЬ: математически описывать процессы в физике конденсированного состояния	Отсутствие умения математически описывать процессы в физике конденсированного состояния	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать процессы в физике конденсированного состояния	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать процессы в физике конденсированного состояния	Успешное и систематическое умение математически описывать процессы в физике конденсированного состояния

			ного состояния	
ВЛАДЕТЬ: навыками планирования эксперимента в физике конденсирован ного состояния и применения экспериментал ьных исследовательс ких установок и методов	Отсутствие/фра гментарное владение навыками планирования эксперимента в физике конденсирован ного состояния и применения эксперименталь ных исследовательс ких установок и методов	В целом успешное, но не систематическо е владение навыками планирования эксперимента в физике конденсирован ного состояния и применения экспериментал ьных исследовательс ких установок и методов	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками планирования эксперимента в физике конденсирован ного состояния и применения экспериментал ьных исследовательс ких установок и методов	Успешное и систематическое владение навыками планирования эксперимента в физике конденсированн ого состояния и применения эксперименталь ных исследовательс ких установок и методов

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Контрольные работы

№	Тема задания	неделя
КР1	Измерения и средства измерений	6
КР2	Магнитные вещества и магнитные измерения	14

Пример заданий для контрольной работы 1

1. Основы метрологии

1.1. Учение об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности называется...

1. Государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ);
2. квалиметрией;
3. стандартизацией;
4. метрологией.

1.2. По способу нахождения значения измеряемой величины измерения разделяют...

1. однократные и многократные;
2. статические и динамические;
3. абсолютные и относительные
4. прямые, косвенные, совокупные, совместные.

2. Погрешности измерений

2.1. Приведенной погрешностью средств измерений (СИ) является:

1. отношение предела допускаемой погрешности СИ к значению

- измеряемой величины в %;
2. отношение предельной погрешности СИ к нормирующему значению в %;
 3. отношение погрешности средства поверки к погрешности данного СИ;
 4. абсолютное значение предела допускаемой погрешности.
- 2.2. По способу выражения погрешности средств измерений могут быть...
1. случайные;
 2. систематические;
 3. абсолютные;
 4. грубые.
3. Средства измерений и обработка результатов измерений
- 3.1. По назначению средства измерений подразделяют на...
1. эталон;
 2. измерительный прибор;
 3. рабочее;
 4. образцовое.
- 3.2. Технические характеристики, описывающие свойства средств измерений и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называется...
1. метрологическими характеристиками;
 2. метрологическими нормами;
 3. динамическими характеристиками;
 4. нормативно-техническими требованиями.

Пример заданий для контрольной работы 2

Ответить на вопросы

Категория знать:

- Какие измерительные приборы используются для измерения изменения магнитного потока?
- Описать алгоритм получения измерительной информации для определения величины максимального энергетического произведения магнитотвердого материала с помощью объекта исследования кубической формы.

Категория уметь:

- Объяснить возможные причины магнитного старения постоянного магнита, используемого в магнитной системе с рабочей точкой в районе максимального энергетического произведения (ВН)max.
- Сформировать схему для измерения проницаемости возрастания и убывания объекта исследования из магнитомягкого ферромагнитного материала.

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. Перекрестная классификация материалов и методов их исследования. Альтернативные подходы.
2. Температура и методы ее измерения. Реперные точки. Методы получения и регулирования низких и сверхнизких температур.

3. Методы получения и измерения магнитного поля. Сверхпроводящие соленоиды. Импульсные поля.
4. Методы получения высоких давлений и сильных деформаций при низких температурах.
5. Элементы вакуумной техники.
6. Основные параметры, характеризующие полупроводниковые материалы.
7. Методы исследования металлов, полупроводников.
8. Методы измерения времен жизни носителей заряда.
9. Типы детекторов.
10. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Характеристики и свойства. Поляризованность и диэлектрическая проницаемость.
11. Основные методы исследования магнитных свойств веществ.
12. Основные методы нейтронографии в исследовании конденсированного состояния.
13. Сверхпроводники. Характеристика, теории, объясняющие сверхпроводимость.

Вопросы к зачету по дисциплине “Методы нейтронографии”, подраздел курса «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния»

1. Нейтрон и его свойства. Малогабаритные источники нейтронов и источники нейтронов на основе реакции деления.
2. Источники нейтронов на основе ускорителей частиц (реакции синтеза, фотоядерной реакции, испарительной реакции).
3. Замедление нейтронов. Импульсный и непрерывный режим работы нейтронного источника. Метод времени пролета.
4. Коллимация нейтронных пучков. Зеркальные нейтронводы, изогнутые нейтронводы, их свойства.
5. Механические селекторы скоростей и прерыватели нейтронного пучка. Кристаллические фильтры и монохроматоры.
6. Ядерные реакции, используемые для регистрации тепловых нейтронов. Требования к детекторам тепловых нейтронов. Сцинтилляционные детекторы.
7. Газовый пропорциональный детектор, его амплитудная характеристика. Позиционно-чувствительные детекторы.
8. Взаимодействие тепловых нейтронов с веществом. Сечение рассеяния (дифференциальное, дважды дифференциальное, полное) и поглощения. Ядерное и магнитное рассеяние нейтронов, форм фактор.
9. Псевдопотенциал Ферми. Когерентная и некогерентная длина рассеяния, сечение когерентного и некогерентного рассеяния, полное сечение рассеяния, спиновая некогерентность.
10. Парная корреляционная функция и автокорреляционная функция, их связь с когерентным и некогерентным сечением рассеяния. Формула Ван Хофа для закона рассеяния.
11. Дифференциальное сечение упругого когерентного рассеяния на кристалле. Формула Вульфа-Брэгга. Фактор Дебая-Валлера. Формула интегральной интенсивности дифракционных пиков для моно- и поликристаллов.
12. Экспериментальные методы нейтронной дифракции на стационарных и импульсных источниках нейтронов, их особенности.
13. Парная радиальная функция распределения атомов в веществе $g(r)$. Полный структурный фактор для аморфного вещества (жидкости), его особенности, связь с $g(r)$.
14. Спектрометры для исследования структуры аморфных твердых тел и жидкостей, особенности постановки эксперимента, поправки к экспериментальным данным.
15. Полный структурный фактор для многокомпонентных аморфных и жидких систем. Формализм Фабера-Займана. Формализм Бхатия-Торнтон.
16. Малоугловое рассеяние нейтронов. Формула Дебая. Понятие контраста, вариация контраста. Постановка эксперимента на непрерывных и импульсных источниках нейтронов.

17. Малоугловое рассеяние нейтронов. Приближение однородных частиц. Понятие радиуса инерции. Приближение Гинье.
18. Малоугловое рассеяние нейтронов. Рассеяние вперед. Инвариант Порода. Случай сферически симметричной частицы.
19. Основные принципы нейтронной рефлектометрии. Коэффициент преломления и отражения, полное внешнее отражение.
20. Нейтронная рефлектометрия, случай тонкой плоскопараллельной пленки. Условие интерференции. Коэффициенты Френеля, метод оптической матрицы.
21. Нейтронная рефлектометрия, случай шероховатых поверхностей. Модифицированные коэффициенты Френеля, влияние шероховатости поверхности на коэффициент отражения. Влияние поглощения и некогерентного рассеяния на отражение нейтронов.
22. Магнитная рефлектометрия. Устройство нейтронных рефлектометров.
23. Неупругое когерентное рассеяние нейтронов. Дважды дифференциальное сечение рассеяния в однофононном приближении. Динамический структурный фактор.
24. Трехосный кристаллический спектрометр для исследования неупругого когерентного рассеяния. Методы сканирования обратного пространства – метод постоянного Q, метод постоянного ω .
25. Неупругое некогерентное рассеяние нейтронов. Функция плотности фононных состояний. Дважды дифференциальное сечение неупругого некогерентного рассеяния нейтронов, обобщенная плотность фононных состояний.
26. Некогерентное приближение. Времяпролетные спектрометры прямой и обратной геометрии для исследования неупругого некогерентного рассеяния нейтронов.
27. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Модель прыжковой диффузии, закон рассеяния.
28. Квазиупругое рассеяние нейтронов. Модель вращательной диффузии, закон рассеяния, упругий некогерентный структурный фактор.
29. Спектрометры для исследования квазиупругого рассеяния нейтронов, их особенности. Энергетическое разрешение спектрометров.
30. Поляризованные нейтроны, поляризационные зеркала и фильтры.
31. Поляризованные нейтроны, типы поляризации нейтронного пучка, прецессия магнитных моментов поляризованных нейтронов во внешнем магнитном поле, случай монохроматического и полихроматического нейтронного пучка. Эффект ведущего магнитного поля. Адиабатическое и мгновенное изменение внешнего магнитного поля.
32. Устройства для поворота спина нейтронов, π -катушка Мезеи, $\pi/2$ -катушка Мезеи, спин-флиппер Корнеева. Постановка эксперимента с поляризованными нейтронами.
33. Эффект нейтронного спинового эха, спиновое эхо при неупругом рассеянии нейтронов.

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

Основная литература

1. Суровцев Н. В. Спектроскопия конденсированных сред: учеб. пособие / Новосибир. гос. ун-т. Новосибирск, 2010. 237 с. Дополнительная литература
2. З.Ю.Беккер. Спектроскопия. М.: Техносфера, 2009.
3. Е.В.Чупрунов, А.Ф.Хохлов, М.А.Фаддеев. Основы кристаллографии. М.: Физматлит, 2006.
4. Ю.П.Солнцев. Нанотехнологии и специальные материалы. СПб.: Химиздат, 2007.
5. Е.В. Кучис. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. Москва, Радио и связь, 1990.
6. П. Блад. Дж.В. Ортон. Методы измерений электрических свойств полупроводников. "Зарубежная радиоэлектроника", 1981 (N1,2).

7. Н.Б. Брандт, С.М. Чудинов. Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах (физические основы). Москва, МГУ, 1983.
8. В.И. Чечерников. Магнитные измерения. Москва, МГУ, 1969.
9. А. Бароне, Дж. Патерно. Эффект Джозефсона. Физика и применения (пер. с англ. под ред. Л.Г. Асламазова и др.). Москва, Мир, 1984.
10. А.П. Сенченков. Техника физического эксперимента. Москва, Энергия, 1983.
11. Л.И. Слабкий. Методы и приборы предельных измерений в экспериментальной физике. Москва, Наука, 1973.
12. Е.П. Скипетров, В.А. Кульбачинский, Б.А. Акимов. Экспериментальные методы физики конденсированного состояния вещества. Лабораторный практикум. Под ред. Е.П. Скипетрова. Москва, УНЦ ДО МГУ, 2001.

Дополнительная литература

1. Е.В.Чупрунов, А.Ф.Хохлов, М.А.Фаддеев. Основы кристаллографии. М.: Физматлит, 2006.
2. Ю.П.Солнцев. Нанотехнологии и специальные материалы. СПб.: Химиздат, 2007.
3. Физика твердого тела. Спецпрактикум. Под ред. Б.А. Струкова. Москва, МГУ, 1983. Под ред. А.А. Кацнельсона. Москва, МГУ, 1982.
4. Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Москва, Мир, 1972.
5. Д. Шенберг. Магнитные осцилляции в металлах. Москва, Мир, 1986.
6. Д. Монтгомери. Получение сильных магнитных полей с помощью соленоидов. Москва, Мир, 1971.
7. Г. Виглеб. Датчики. Устройство и применение. Москва, Мир, 1989.
8. Р.Ф. Баррон. Криогенные системы. Москва, Энергоатомиздат, 1989.
9. М.П. Орлова. Низкотемпературная термометрия. Москва, Издательство стандартов, 1975; Энергоатомиздат, 1987.
10. Н.Б. Брандт и др. УФН, т.104, с.459, 1971.
11. Справочник "Методы получения и измерения низких и сверхнизких температур". Киев, Наукова думка, 1987.
12. Н.И. Яковлев. Бесконтактные электроизмерительные приборы для диагностирования электронной аппаратуры. Ленинград, Энергоатомиздат, 1990.
13. Ф. Мейзда. Электронные измерительные приборы и методы измерений (пер. с англ.). Москва, Мир, 1990.
14. Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. Ленинград, Энергоатомиздат, 1983.
15. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC. Под ред. У. Томпсона. Москва, Мир, 1992.
- 16.

Периодические издания

1. Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики (ЖЭТФ)
2. Успехи Физико-математических Наук (УФН)
3. Наука и Жизнь

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.