Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

Направление подготовки (специальность) [1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки, час.	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	2	72	22	22	0		28	0	З
Итого	2	72	22	22	0	0	28	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются физические явления в сверхпроводниках и современные экспериментальные методы их исследования. Рассматриваются методы получения сверхпроводников, сверхпроводящих пленок и тонких слоев, проводов, лент и кабелей. Рассматриваются также методы измерения основных критических параметров сверхпроводников – ширины энергетической щели, критической температуры, критического тока, критических полей. Курс знакомит с основополагающими экспериментами в области сверхпроводимости, обучает технике основных экспериментов на сверхпроводниках. Курс знакомит с последними достижениями в области сверхпроводимости. Значительное внимание в курсе уделено высокотемпературным сверхпроводникам.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Показать и обсудить методы получения сверхпроводников, сверхпроводящих пленок, тонких слоев, проводов, лент и кабелей. Научить методам и технике измерения основных критических параметров сверхпроводников – ширины энергетической щели, критической температуры, критического тока, критических полей. Дать ориентацию в физических явлениях в сверхпроводниках и основополагающих экспериментах в области сверхпроводимости.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина входит в число специализирующих, может читаться параллельно другим твердотельным курсам. Ожидается что студенты знакомы с квантовой механикой, ТФКП, макроэлектродинамикой и теорией металлов.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	**Код и наименование индикатора достижения компетенции**

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	**Объект или область знания**	**Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)**	**Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции**
научно-исследовательский			
Проведение научных и аналитических исследований по	Деятельность по разработке материалов,	ПК-14.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области	З-ПК-14.2[1] - знать основные современные

отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований. участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий; участие в проведении теоретических исследований, построении физических, математических и компьютерных моделей изучаемых процессов и явлений, в проведении аналитических исследований в предметной области по профилю специализации; участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок, участие во внедрении результатов исследований и разработок.	покрытий, приборов.	физики конденсированного состояния вещества с целью разработки полупроводниковых, сверхпроводниковых, тонкопленочных и наноструктурированных материалов, сверхпроводящих устройств и оптоэлектронных приборов; в области оптического приборостроения, оптических материалов и технологий; в области лазерной физики с целью создания новых эталонов, методик ведения измерений и средств измерений с их последующей аттестацией и вводом в реестр средств измерений для нужд нанометрологии *Основание:* Профессиональный стандарт: 25.049	достижения физики твердого тела и возможности современной экспериментальной техники; основы физической оптики, теорию интерференции, дифракции, основы атомной и молекулярной спектроскопии; способы и методы создания новых эталонов.; У-ПК-14.2[1] - уметь построить математическую модель явления, рассчитать схему эксперимента, провести оценки параметров материалов, выбрать необходимые материалы и методики для решения конкретных задач с учетом дальнейшего применения в сфере научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области физики конденсированного состояния вещества и средств измерений.; В-ПК-14.2[1] - владеть основами спектроскопии атомов и молекул, методиками ведения измерений и средств измерений; методами получения, анализа и описания параметров и характеристик процессов в экспериментальных

			установках физики твердого тела и лазерной физики.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	**Задачи воспитания (код)**
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (В22)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	**Наименование раздела учебной дисциплины**	**Недели**	**Лекции/ Практ. (семинары)/ Лабораторные работы, час.**	**Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)**	**Максимальный балл за раздел****	**Аттестация раздела (форма*, неделя)**	**Индикаторы освоения компетенции**
	8 Семестр						
1	Часть 1	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
2	Часть 2	9-12	8/8/0		25	КИ-12	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
	Итого за 8 Семестр		22/22/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	З	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	**Полное наименование**
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	**Темы занятий / Содержание**	**Лек., час.**	**Пр./сем., час.**	**Лаб., час.**
	8 Семестр	22	22	0
1-8	**Часть 1**	16	16	0
1	**Тема 1** Основные явления в области сверхпроводимости, критические параметры.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Тема 2** Классы сверхпроводников, высокотемпературные сверхпроводники.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Тема 3** Методы получения сверхпроводящих материалов. Получение сверхпроводящих пленок и тонких слоев.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Тема 4** Нетрадиционные методы получения сверхпроводников. Изготовление сверхпроводящих проводов, лент и кабелей.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	**Тема 5** Основные методики измерений критических магнитных полей и токов. Измерение критических температур.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Тема 6** Основные представления о сверхпроводящем состоянии. Электрон-фононное взаимодействие и куперовские пары. Энергетическая щель в спектре возбуждений. Теория БКШ.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	**Тема 7** Эксперименты, подтверждающие основные представления о сверхпроводящем состоянии. Изотопический эффект. Квантование потока. Измерение энергетической щели. Другие эксперименты.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Тема 8** Сверхпроводники в магнитном поле. Эффект Мейснера-Оксенфельда (идеальный диамагнетизм). Глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник. Промежуточное состояние. Граничная энергия и длина	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	когерентности.			
9-12	**Часть 2**	8	8	0
9	**Тема 9** Сверхпроводники 2го рода. Отрицательная поверхностная энергия. Вихри Абрикосова. Смешанное состояние. Кривые намагничивания. Фазовая диаграмма.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Тема 10** Критические токи в сверхпроводниках 1го и 2го рода. Ток распаривания Гинзбурга-Ландау. Пиннинг вихревых нитей. Центры пиннинга. Движение магнитного потока в сверхпроводниках.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Тема 11** Туннелирование в сверхпроводниках. Туннельный ток. Схемы измерений. Туннельная спектроскопия.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	**Тема 12** Применения сверхпроводников. Высокотемпературная сверхпроводимость и перспективы.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	**Полное наименование**
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	**Темы занятий / Содержание**
	8 Семестр
1 - 2	**Тема 1** Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.
3 - 4	**Тема 2** Лабораторная работа "Свойства жидкого азота".
5 - 6	**Тема 3** Лабораторная работа "Методы измерения критического тока."
7 - 8	**Тема 4** Лабораторная работа "Сверхпроводники в магнитном поле. Критическое поле."
9 - 10	**Тема 5** Лабораторная работа "Методы измерения критической температуры сверхпроводников."
11 - 12	**Тема 6** Лабораторные работы "Измерение критической температуры высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) при температурах выше 77,4 К", "Измерение критического

	тока ВТСП при температурах выше 77,4 К".
13 - 14	**Тема 7** Лабораторная работа "Сканирующая холловская магнитометрия".
15 - 16	**Тема 8** Лабораторная работа "Охлаждение сверхпроводников с помощью криокулерной техники".

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторные занятия и самостоятельная работа студентов. Для того чтобы дать современное состояние физики сверхпроводимости, предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по данной теме, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в НИЯУ МИФИ, а также в других московских университетах и институтах.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	**Индикаторы освоения**	**Аттестационное мероприятие (КП 1)**
ПК-14.2	З-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	У-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12
	В-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-12

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	**Оценка по 4-х балльной шкале**	**Отметка о зачете**	**Оценка ECTS**
90-100	5 – *«отлично»*	*«зачтено»*	A
85-89	4 – «*хорошо*»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		
60-64			E
ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	*«не зачтено»*	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.5 В29 Искусство криогеники. Низкотемпературная техника в физическом эксперименте, промышленных и аэрокосмических приложениях : , Ризегари Л., Вентура Г., Долгопрудный: Интеллект, 2011

2. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе соединений А-15 : Учебное пособие, Курилкин М.О. [и др.], М.: НИЯУ МИФИ, 2019

3. ЭИ Р83 Основы построения криогенных устройств : , Руднев И.А., Москва: МИФИ, 2008

4. 538.9 С24 Сверхтекучесть и бозе-конденсация : учебное пособие для вузов, Маймистов А.И. [и др.], Москва: МИФИ, 2008

5. ЭИ С 76 Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем : монография, Альтов В.А. [и др.], Москва: МЭИ, 2016

6. ЭИ С 76 Стабилизация сверхпроводящих магнитных систем : учебник, Альтов В.А. [и др.], Москва: МЭИ, 2019

7. ЭИ К 88 Техническая термодинамика и теплопередача : учебник для вузов, Кудинов В. А., Москва: Юрайт, 2022

8. 539.2 А72 Технология тонких пленок : учебное пособие для вузов, Антоненко С.В., Москва: МИФИ, 2008

9. ЭИ А72 Технология тонких пленок : учебное пособие для вузов, Антоненко С.В., Москва: МИФИ, 2008

10. 538.9 К12 Физика макроскопических квантовых систем : курс лекций; семинары, Каган М.Ю., Москва: Издательский дом МЭИ, 2014

11. ЭИ Б40 Физические основы сверхпроводимости : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Безотосный И.Ю., Руднев И.А., Москва: МИФИ, 2008

12. 538.9 Б40 Физические основы сверхпроводимости : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Безотосный И.Ю., Руднев И.А., Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 537 Т42 Введение в сверхпроводимость : , Тинкхам М., М.: Атомиздат, 1980

2. 538.9 Л12 Лабораторный практикум "Квантовые когерентные системы: сверхпроводники и наноструктуры" : , Опенов Л.А. [и др.], М.: МИФИ, 1999

3. ЭИ М 34 Материаловедение сверхпроводников на основе ВТСП, диборида магния и пниктидов : Учебное пособие, Цаплева А.С. [и др.], М.: НИЯУ МИФИ, 2019

4. 621.5 Р83 Основы расчета низкотемпературных устройств : учеб. пособие для вузов, Руднев И.А., М.: МИФИ, 2006

5. 621.5 Р83 Принципы конструирования криогенных устройств : учебное пособие для вузов, Руднев И.А., Москва: МИФИ, 2007

6. 537 Б90 Сверхпроводимость : Основы и приложения, Буккель В., М.: Мир, 1975

7. 539.2 К31 Современные проблемы физики твердого тела Ч.2 Высокотемпературная сверхпроводимость, Кашурников В.А., Москва: МИФИ, 2002

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

https://online.mephi.ru/

http://library.mephi.ru/

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Цель данного курса – Показать методы получения сверхпроводников, сверхпроводящих пленок, тонких слоев, проводов, лент и кабелей. Научить методам и технике измерения основных критических параметров сверхпроводников – ширины энергетической щели, критической температуры, критического тока, критических полей. Дать ориентацию в физических явлениях в сверхпроводниках и основополагающих экспериментах в области сверхпроводимости.

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: квантовая механика, макроэлектродинамика, статистическая физика и термодинамика, физика конденсированного состояния вещества.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам общей физики и университетскому курсу математики. Необходимо уметь работать с операторами, знать дифференциальное и интегральное исчисление, тензорный и векторный анализ, статистику и термодинамику, электричество и магнетизм, в том числе в материальных средах. Необходимо ориентироваться в задачах квантовой механики и статистической физики, основные квантовые и классические распределения, элементы квантовой статистики.

В результате освоения данной дисциплины студент должен:

1) Знать: понятие критических параметров, основные экспериментальные факты, характеризующие сверхпроводимость; классы сверхпроводников, методы получения сверхпроводящих материалов, основные методики измерений критических магнитных полей и токов; понятия сверхпроводящего состояния, электрон-фононное взаимодействие и куперовские пары, основы теории БКШ, квантование потока, сверхпроводники 2го рода, смешанное состояние, кривые намагничивания сверхпроводников 1го и 2го рода, применения сверхпроводников.

2) Уметь: применять фундаментальные законы в области физики сверхпроводимости для самостоятельного комбинирования и синтеза реальных идей, применять теоретические и компьютерные методы исследований в области физики сверхпроводимости; производить поиск нужной информации в специальной научно-технической и патентной литературе по тематике исследований и разработок, применять экспериментальные методы электрофизических, оптических и структурных исследования сверхпроводников.

3) Владеть современными методами измерения вольтамперных, магнитных, оптических и др. характеристик сверхпроводников.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

При чтении курса следует придерживаться следующей последовательности изложения. Сначала рассматриваются основные явления в области сверхпроводимости, критические параметры, классы сверхпроводников. Изучаются методы получения сверхпроводящих материалов, в том числе изготовление сверхпроводящих проводов, лент и кабелей. Затем обсуждаются основные методики измерений критических магнитных полей и токов, измерение критических температур. Подробно рассматриваются основные представления о сверхпроводящем состоянии, электрон-фононное взаимодействие и куперовские пары, энергетическая щель в спектре возбуждений. После этого требуется уделить внимание экспериментам, подтверждающим основные представления о сверхпроводящем состоянии. А именно, изотопический эффект, квантование потока, измерение энергетической щели. Важной

темой является сверхпроводники в магнитном поле, эффект Мейснера-Оксенфельда (идеальный диамагнетизм), глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник, промежуточное состояние, граничная энергия и длина когерентности. Особое внимание следует обратить на изучение сверхпроводников 2го рода, отрицательная поверхностная энергия, вихри Абрикосова, смешанное состояние, кривые намагничивания, фазовая диаграмма. Из этой темы следует следуюшая - критические токи в сверхпроводниках 1го и 2го рода, ток распаривания Гинзбурга-Ландау, пиннинг вихревых нитей, центры пиннинга, движение магнитного потока в сверхпроводниках. В конце курса следует изучить туннелирование в сверхпроводниках, туннельный ток, схемы измерений, туннельная спектроскопию. Также рассмотреть применения сверхпроводников.

Во время проведения лекция желательно использовать проекционную технику, а также инициировать обсуждение материала методом «вопросов в аудиторию».

В помощь лектору, а также преподавателям, ведущим лабораторные занятия по курсу «Экспериментальные методы физики сверхпроводимости», рекомендуется использовать книги :

1. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М.: Наука, 2000.
2. Тинкхам М. Введение в физику сверхпроводимости М.: Наука, 1980.
3. А.Роуз-Инс, Е.Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1972.

Автор(ы):

Руднев Игорь Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент