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 № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

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/ В**	**СРС, час.**	**КСР, час.**	**Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП**
8	1	36	11	11	0		14	0	З
Итого	1	36	11	11	0	0	14	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе изучаются современные методы исследования физических свойств твердого тела и их зависимость от структуры и состава реальных объектов. Рассмотрены методы структурного анализа с помощью электронных, ионных, нейтронных пучков и рентгеновского излучения (в частности, растровая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ, нейтронография, технология фокусированных ионных пучков, оже-электронная спектроскопия, сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия). Приведены методы исследования электрических, магнитных, тепловых и оптических свойств твердого тела. Особое внимание уделено основным конструктивным особенностям аппаратуры для реализации вышеназванных методов анализа.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Показать особенности современных экспериментальных методов исследования физических свойств, структуры, элементного состава твердого тела и сплавов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина входит в список майноров, читаемых студентам различных специализаций, желающих освоить экспериментальные методы физики твердого тела.

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 соотвествии 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**
экспертно-аналитический			
Сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов	Результаты исследований, научные и аналитические отчеты.	ПК-14.1 [1] - Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих основные процессы в приборах физики твердого тела,	З-ПК-14.1[1] - знать основы физики конденсированных сред: энергетические зоны; классификацию веществ с точки зрения зонной теории, основы физики металлов,

вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий; изучение и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования, сбор и обработка научной и аналитической информации с использованием современных программ, средств и методов вычислительной математики, компьютерных и информационных технологий.		лазерных и плазменных установках, системах квантовой логики на основе ультрахолодных атомов и ионов в ловушках *Основание:* Профессиональный стандарт: 29.004	полупроводников и наноструктур; основные свойства и теоретические модели, описывающие ультрахолодные атомы и ионы в ловушке.; У-ПК-14.1[1] - уметь сформулировать математическую модель для прототипа или макета разрабатываемого прибора физики твердого тела, лазерной или плазменной установки.; В-ПК-14.1[1] - владеть квантовомеханическим описанием твердых тел, терминологией энергетических зон, квазичастиц и размерного квантования, методами компьютерного моделирования физических процессов.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (В20)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим

		нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры информационной безопасности (В23)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирование базовых навыков информационной безопасности через изучение последствий халатного отношения к работе с информационными системами, базами данных (включая персональные данные), приемах и методах злоумышленников, потенциальном уроне пользователям.

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	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1
2	Часть 2	9-11	3/3/0		25	КИ-11	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1
	Итого за 8 Семестр		11/11/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	З	З-ПК-14.1, У-ПК-14.1, В-ПК-14.1

* – 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	11	11	0
1-8	**Часть 1**	8	8	0
1	**Тема 1** Предмет изучения физики твердого тела. Основы методов экспериментальной физики. Классификация экспериментальных методов физики твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	**Тема 2** Плотность твердых тел. Экспериментальные методы измерения плотности твердого тела.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	**Тема 3** Теплоемкость. Закон Дюлонга-Пти. Квантовые теории теплоемкости (теория Эйнштейна, модель Дебая). Теплоемкость реальных металлов и сплавов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	**Тема 4** Основы термического и калориметрического анализов.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0

	Дифференциальная и импульсная калориметрия. Аппаратура и применение термического анализа и методов калориметрии.	Онлайн		
		0	0	0
5	**Тема 5** Основные закономерности и методы исследования теплового расширения тел. Применение дилатометрии.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	**Тема 6** Теплопроводность. Основные определения и зависимости. Стационарные и нестационарные методы измерения теплопроводности и температуропроводности твердых тел.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	**Тема 7** Термоэлектрические свойства твердых тел. Методы измерения термоЭДС и их применение.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	**Тема 8** Электропроводность твердых тел. Факторы, влияющие на электропроводность. Экспериментальные методы определения электрического сопротивления.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-11	**Часть 2**	3	3	0
9	**Тема 9** Магнитные явления в веществах. Классификация веществ по магнитным свойствам. Методы измерения магнитной восприимчивости, коэрцитивной силы, остаточной индукции и магнитострикции.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	**Тема 10** Оптические методы исследования структуры твердого тела. Оптический диапазон. Области применения. Оптическая микроскопия.	Всего аудиторных часов		
		0	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	**Тема 11** Исследование кристаллов при помощи дифракции рентгеновского излучения. Формула Вульфа-Брэгга. Свойства рентгеновского излучения, методы получения и регистрации.	Всего аудиторных часов		
		1	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	**Тема 12** Дифракция нейтронов и электронов в структурном анализе. Особенности нейтронографии и электронографии. Аппаратура и измерения рассеяния нейтронов и электронов кристаллами.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	**Тема 13** Просвечивающая электронная микроскопия. Абберации электронной оптики, контраст в изображении, разрешающая способность и глубина фокуса просвечивающего электронного микроскопа.	Всего аудиторных часов		
		0	1	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

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются презентации, обсуждения последних научных работ, новые модели в физике конденсированного состояния. Обязательным условием успешного освоения дисциплины является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

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-14.1	З-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-11
	У-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-11
	В-ПК-14.1	З, КИ-8, КИ-11

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-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – *«отлично»*	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «*хорошо*»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту,

75-84		C	если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
70-74		D	
65-69	3 – «*удовлетворительно*»		Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64		E	
Ниже 60	2 – «*неудовлетворительно*»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Н99 Solid-State Physics : An Introduction to Principles of Materials Science, Luth, Hans. , Ibach, Harald. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009

2. ЭИ С50 Сборник задач по физике конденсированного состояния : учебное пособие для вузов, Исаенкова М.Г., Елманов Г.Н., Смирнов Е.А., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

3. 539.2 Г95 Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие для вузов, Осауленко Р.И., Гуртов В.А., Москва: Техносфера, 2012

4. ЭИ Ф50 Физические основы методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела : лабораторный практикум, Троян В.И. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

5. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.1 Физика твердого тела, , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

6. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.3 Методы исследования структурно-фазового состояния материалов, , Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.2 К45 Введение в физику твердого тела : , Киттель Ч., М.: МедиаСтар, 2006

2. 669 Л55 Физические свойства металлов и сплавов : Учебник для вузов, Лившиц Б.Г., Крапошин В.С., Линецкий Я.Л., М.: Металлургия, 1980

3. 620 Ф50 Физическое материаловедение Т.2 Основы материаловедения, , : МИФИ, 2007

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

Студенты должны твердо усвоить основные понятия, относящиеся к современным методам анализа физических свойств твердого тела и сплавов и их зависимости от структуры и состава реальных объектов. Изучить методы определения физических свойств твердого тела: плотность (пикнометрия), термическое расширение (дилатометрия), теплоемкость (методы калометрического и термического анализов), теплопроводность и температуропроводность, электропроводность, термоэлектрические свойства, магнитные свойства, а также методы структурного анализа с помощью электронных, нейтронных пучков и рентгеновского излучения. Необходимо ознакомиться с основными принципами работы, конструктивными особенностями и элементами аппаратуры для реализации вышеназванных методов анализа.

При изучении курса студенты должны знать основные физические характеристики конденсированного состояния вещества, определяющие свойства твердых тел. Необходимо освоить основные элементы кристаллографического анализа, уметь различать основные типы кристаллических структур по соотношению длин и направлений основных векторов элементарных ячеек. Уметь чётко определять направления и плоскости в кубических кристаллах. Понимать природу межатомных и межмолекулярных взаимодействий, определяющих классификацию кристаллов по типам химической связи.

Необходимо глубоко разобраться в процессах взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Понимать физические причины рассеяния и поглощения рентгеновского излучения. Отличать комбинированные явления неупругого и аномального рассеяния. Иметь чёткое представление о физических явлениях, лежащих в основе рентгеноструктурного анализа.

При изучении метода просвечивающей электронной микроскопии студенты должны понимать оптическую схему микроскопа, физические принципы действия элементов формирования электронного пучка, знать особенности режимов дифракции и изображения (светлопольного и темнопольного). Иметь представление об абберациях электронной оптики,

контрасте в изображении, разрешающей способности и глубине фокуса просвечивающего электронного микроскопа.

Студенты должны изучить физические основы Оже-электронной спектроскопии, овладеть методами извлечения информации о свойствах твердого тела из электронных спектров. Следует детально разобраться в природе эффекта Мессбауэра, иметь понятие об энергии отдачи, понимать особенности экспериментального применения гамма-резонансной спектроскопии.

При изучении методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела следует понимать физические принципы сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии, иметь представление о задачах, аппаратуре и особенностях применения методов сканирующей зондовой микроскопии, способах формирования и исследования наноструктур с использованием технологии фокусированных ионных пучков.

Интерактивная форма занятий может включать кратковременный внутрисеместровый контроль усвоения знаний по читаемому курсу в форме решения несложных задач или ответов на достаточно простые вопросы по пройденному материалу.

Активная форма освоения дисциплины предполагает, в частности, что студенты часть материала прорабатывают самостоятельно.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Необходимо дать студентам возможность усвоить основные понятия, относящиеся к современным методам анализа физических свойств твердого тела и сплавов и их зависимости от структуры и состава реальных объектов. Рассмотреть методы определения физических свойств твердого тела: плотность (пикнометрия), термическое расширение (дилатометрия), теплоемкость (методы калометрического и термического анализов), теплопроводность и температуропроводность, электропроводность, термоэлектрические свойства, магнитные свойства, а также методы структурного анализа с помощью электронных, нейтронных пучков и рентгеновского излучения. Должны быть объяснены основные принципы работы, конструктивные особенности и элементы аппаратуры для реализации вышеназванных методов анализа.

Необходимо описать основные физические характеристики конденсированного состояния вещества, определяющие свойства твердых тел. Следует ознакомить студентов с основными элементами кристаллографического анализа, научить различать основные типы кристаллических структур по соотношению длин и направлений основных векторов элементарных ячеек, определять направления и плоскости в кубических кристаллах. Дать представление о природе межатомных и межмолекулярных взаимодействий, определяющих классификацию кристаллов по типам химической связи.

Необходимо детально рассмотреть процессы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Разъяснить физические причины рассеяния и поглощения рентгеновского излучения. Показать отличие комбинированных явлений неупругого и аномального рассеяния. Дать чёткое представление о физических явлениях, лежащих в основе рентгеноструктурного анализа.

При изучении метода просвечивающей электронной микроскопии студенты рассмотреть оптическую схему микроскопа, объяснить физические принципы действия элементов формирования электронного пучка, остановиться на особенностях режимов дифракции и изображения (светлопольного и темнопольного). Дать подробное представление об абберациях

электронной оптики, контрасте в изображении, разрешающей способности и глубине фокуса просвечивающего электронного микроскопа.

Познакомить студентов с физическими основами Оже-электронной спектроскопии, описать методы извлечения информации о свойствах твердого тела из электронных спектров. Выявить природу эффекта Мессбауэра, дать понятие об энергии отдачи, показать особенности экспериментального применения гамма-резонансной спектроскопии.

При изучении методов исследования наноструктур и поверхности твердого тела детально описать физические принципы сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии, дать представление о задачах, аппаратуре и особенностях применения методов сканирующей зондовой микроскопии, способах формирования и исследования наноструктур с использованием технологии фокусированных ионных пучков.

Интерактивная форма занятий может включать кратковременный внутрисеместровый контроль усвоения знаний по читаемому курсу в форме решения несложных задач или ответов на достаточно простые вопросы по пройденному материалу.

Активная форма освоения дисциплины предполагает, в частности, что студенты часть материала прорабатывают самостоятельно.

Автор(ы):

Шеляков Александр Васильевич, к.ф.-м.н.