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

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 01/08-577

от 28.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ (ЧАСТЬ 1)

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**
7	2	72	16	0	32		24	0	З
Итого	2	72	16	0	32	0	24	0	

АННОТАЦИЯ

Дисциплина дает основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, нанофотонике и т.п.

Курс состоит из двух основных частей: основные понятия спектроскопии и многоэлектронные атомы.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является получение знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области исследований, разработок и технологий, направленных на регистрацию и обработку спектральной информации, создание и применение установок и систем в области нанофотоники, физики нанообъектов и конденсированного состояния вещества

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины необходимо прослушать курс общей физики, в части квантовой оптики, физики атомного ядра, а также изучить курс квантовой механики. Дисциплина необходима студентам бакалавриата для понимания строения сложных атомов и молекул с учетом электростатического и спин-орбитального взаимодействия, а также для последующего изучения фотоники органических и неорганических наноструктур

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 отдельным разделам (этапам, заданиям)	Деятельность по разработке материалов, покрытий, приборов.	ПК-14.2 [1] - Способен проводить научные исследования в области физики конденсированного	З-ПК-14.2[1] - знать основные современные достижения физики твердого тела и

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.		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	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 и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры исследовательской и инженерной деятельности (В16)
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)

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**
	7 Семестр						
1	Основные понятия спектроскопии. Теория радиационных переходов. Систематика термов.	1-8	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
2	Многоэлектронные атомы. Тонкая структура термов. Возбужденные атомы.	9-16	8/8/0		25	КИ-16	З-ПК-14.2, У-ПК-14.2, В-ПК-14.2
	Итого за 7 Семестр		16/0/32		50		
	Контрольные мероприятия за 7 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.
	7 Семестр	16	0	32
1-8	**Основные понятия спектроскопии. Теория радиационных переходов. Систематика термов.**	8	8	0
1 - 2	**Тема 1** Роль спектроскопии в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	**Тема 2** Основы теории радиационных переходов. Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	**Тема 3** Атом водорода. Уравнение Шредингера для атома водорода. Распределение электронной плотности для состояний атома водорода. Тонкая структура спектров атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Сверхтонкое расщепление. Лэмбовский сдвиг.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	**Тема 4** Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	**Многоэлектронные атомы. Тонкая структура термов. Возбужденные атомы.**	8	8	0
9 - 10	**Тема 5** Спектры многоэлектронных атомов. Приближение центрального поля. Систематика состояний электронов в центральном поле. Оболочечная модель атома и границы ее применимости. Электростатическое расщепление. Понятие спектрального терма. Тонкая структура терма. Приближение LS- и jj –связи.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	**Тема 6** Спектры атомов с оболочкой ns и ns2. Спектры щелочных и щелочноземельных элементов. Атом гелия. Сериальные закономерности. Тонкая структура. Интенсивности спектральных линий. Спектры атомов меди, серебра, золота и ртути. Лазер на парах меди и золота.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	**Тема 7** Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p- , d- и f-оболочками. Термы основных и возбужденных	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		

	электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.	0	0	0
15 - 16	**Тема 8** Возбужденные атомы. Метастабильные атомы в газовых лазерах. Многоступенчатое селективное фотовозбуждение и фотоионизация атомов. Применение многоступенчатой селективной фотоионизация для разделения изотопов и в элементном анализе.	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 ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	**Темы занятий / Содержание**
	7 Семестр
1 - 2	**Тема 1** Роль спектроскопии в современной физике твердого тела, физике наноструктур и нанофотонике.
3 - 4	**Тема 2** Основы теории радиационных переходов. Спонтанные и индуцированные переходы. Вероятности переходов, сечения поглощения и вынужденного испускания. Правила отбора. Экспериментальные методы изучения атомарных спектров.
5 - 6	**Тема 3** Атом водорода. Уравнение Шредингера для атома водорода. Распределение электронной плотности для состояний атома водорода. Тонкая структура спектров атома водорода. Спин-орбитальное взаимодействие. Сверхтонкое расщепление. Лэмбовский сдвиг.
7 - 8	**Тема 4** Искусственные атомы, квантовые точки. Энергетические уровни типичных квантовых точек. Спектры поглощения и люминесценции. Систематика спектров полупроводниковых квантовых точек.
9 - 10	**Тема 5** Спектры многоэлектронных атомов. Приближение центрального поля. Систематика состояний электронов в центральном поле. Оболочечная модель атома и границы ее применимости. Электростатическое расщепление. Понятие спектрального терма. Тонкая структура терма. Приближение LS- и jj –связи.
11 - 12	**Тема 6** Спектры атомов с оболочкой ns и ns2. Спектры щелочных и щелочноземельных элементов. Атом гелия. Сериальные закономерности. Тонкая структура. Интенсивности спектральных линий. Спектры атомов меди, серебра, золота и

	ртути. Лазер на парах меди и золота.
13 - 14	**Тема 7** Спектры атомов с заполняющимися и заполненными p- , d- и f-оболочками. Термы основных и возбужденных электронных конфигураций. Тонкая структура термов, интенсивности спектральных линий.
15 - 16	**Тема 8** Возбужденные атомы. Метастабильные атомы в газовых лазерах. Многоступенчатое селективное фотовозбуждение и фотоионизация атомов. Применение многоступенчатой селективной фотоионизация для разделения изотопов и в элементном анализе.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Используются современные предметно- и личностно-ориентированные образовательные технологи

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-16
	У-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-14.2	З, КИ-8, КИ-16

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. ЭИ С21 Carbon Nanoparticles and Nanostructures : , , Cham: Springer International Publishing, 2016

2. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия : общие вопросы спектроскопииипособие для вузов, Ельяшевич М.А., Москва: Либроком, 2011

3. 539.1 Е59 Атомная и молекулярная спектроскопия. Атомная спектроскопия : , Ельяшевич М.А., Москва: Либроком, 2009

4. ЭИ А 92 Атомная физика Т. 2 Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома, , : , 2022

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 С54 Введение в теорию атомных спектров : , Собельман И.И., М.: Наука, 1977

2. 539.2 Г82 Колебания молекул : , Грибов Л.А., Москва: Либроком, 2009

3. 539.1 Л17 Лазерная спектроскопия колебательно-возбужденных молекул : , , М.: Наука, 1990

4. 539.1 Л52 Нелинейные селективные фотопроцессы в атомах и молекулах : , Летохов В.С., М.: Наука, 1983

5. 539.1 С50 Физика атома и иона : , Смирнов Б.М., М.: Энергоатомиздат, 1986

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

1. Демонстрационный проектор

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При изучении курса студент должен твердо усвоить основные представления о строении атомов и молекул, о современных методах спектроскопии и их применении в смежных областях, физике твердого тела, нанофотонике и т.п.

При изучении раздела «Основные понятия спектроскопии» студент должен твердо усвоить физические механизмы тонкого расщепления, а также квантово-механические принципы его расчета. Он должен уметь связать эти знания с представлениями об атоме водорода, полученными из курса общей физики и квантовой механики. В качестве самостоятельной работы студен должен повторить раздел «Атом водорода» из курса общей физики и квантовой механики, а также квантово-механическую теорию возмущений из курса теоретической физики.

Раздел «Строение многоэлектронного атома». Студент должен понять физические принципы электростатического расщепления и уметь провести его расчет для двухэлектронного атома с помощью квантово-механической теории возмущений. В качестве самостоятельной работы должен решать задачи по определению атомарного терма, исходя из оболочечной модели, а также задачи на определение величины электростатического расщепления.

Основы теории радиационных переходов. Студент должен твердо усвоить элементарные атомарные фотопроцессы и взаимосвязь между ними. Понять общие принципы формирования правил отбора исходя из законов сохранения и симметрии атомных систем. В качестве самостоятельной работы – повторить нестационарную квантово-механическую теорию возмущений, повторить теорию излучения Планка

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Студенты выносят из курса общей физики несколько искаженное представление о терме. Следует подробно объяснить зависимость электростатического расщепления от суммарного

спина и суммарного орбитального момента. Первое можно сделать на примере двухэлектронного атома (атома гелия). Важно дать понятия о коэффициентах Эйнштейна и об их взаимосвязи, а также дать квантово-механический вывод вероятности радиационного перехода и объяснить студентам, что такое матричный элемент оператора дипольного момента и его связь с вероятностью радиационного перехода. Чтобы избежать формального усвоения правил отбора, необходимо объяснить их физическую природу, обусловленную элементарным процессом взаимодействия фотона с атомом. Можно дать понятие о насыщении перехода. Для объяснения типичных спектров атомов различных периодов периодической таблицы, следует активно использовать: понятие спектрального терма, правила отбора, оболочечную модель, теорию тонкого расщепления и т.п. Удобно продемонстрировать некоторые основные принципы спектроскопии многоэлектронного атома на примере работы некоторых атомных и ионных лазеров - таких как лазер на парах меди и золота, иодный лазер, гелий-неоновый лазер. При рассмотрении многоступенчатого возбуждения атомов необходимо использовать понятие насыщения перехода. При этом студенты должны уметь самостоятельно сделать оценки для интенсивности лазерного излучения, требуемой для эффективной многоступенчатой ионизации. В этом разделе необходимо дать понятие о технологии лазерного разделения изотопов, а также аналитических методах детектирования атомарных примесей в конденсированных средах.

Автор(ы):

Чистяков Александр Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.