

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

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, экс./зач./КР/КП
7	2	72	16	16	0	24	16	3
Итого	2	72	16	16	0	24	16	

## АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина «Физика конденсированных сред» нацелена на вопросы теории химической связи и строения вещества, а также на изучение идей и методов, лежащих в основе квантовой химии. В ходе изучения данного курса студенты закрепляют навыки практического использования математических методов теоретической физики, квантовой механики, а также теории функций комплексного переменного. Рассмотрены понятия кулоновского и обменного интегралов, интеграла перекрытия и их роль в формировании химической связи, роль симметризации волновой функции электронов. Также уделено внимание простейшим многоэлектронным задачам (теория Хартри-Фока) и задачам экранирования (теория Томаса-Ферми и Дебая-Хюккеля).

Для большей наглядности в курс включены задачи, обсуждающиеся на семинарских занятиях и иллюстрирующие излагаемый теоретический материал.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная дисциплина «Физика конденсированных сред» закрепляет и развивает у студентов основные методы и подходы, используемые в теоретической и математической физике при описании процессов и явлений в физике конденсированных сред.

Курс нацелен на изучение идей и методов, используемых в квантовой химии. В ходе изучения данной дисциплины студенты приобретают и закрепляют навыки практического использования математических методов теоретической физики, теории функций комплексного переменного, математического анализа.

Для большей наглядности в курс включены задачи, обсуждающиеся на семинарских занятиях и иллюстрирующие излагаемый теоретический материал.

Одной из целей курса является освоение студентами навыков самостоятельного изложения научного материала. В связи с этим чтение лекций сочетается с краткими сообщениями студентов по некоторым вопросам курса.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Физика конденсированных сред» относится к профессиональному циклу дисциплин, обеспечивающих подготовку будущего бакалавра по образовательной программе «Применение потоков заряженных частиц в физике экстремальных состояний вещества и ядерных технологиях». Для изучения данной дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения следующих предшествующих дисциплин ООП подготовки бакалавра по направлению подготовки 140800.62:

Материаловедение,

Введение в ядерную физику,

Атомная физика,

Физика твердого тела,

Радиационная химия конденсированных сред.

Дисциплина «Физика конденсированных сред» является составляющей блока дисциплин по изучению конденсированного состояния вещества, в том числе в условиях экстремальных воздействий, в который так же входят дисциплины: «Материаловедение», «Физика твердого

тела», «Экспериментальные методы физики твердого тела», «Физика конденсированного состояния вещества», «Фазовые переходы в конденсированных средах».

Основные положения курса могут быть использованы при прохождении Практики, при выполнении Дипломной работы.

### 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
производственно-технологический			
контроль соблюдения технологической дисциплины при изготовлении и обслуживании технологического оборудования для реализации производственных процессов;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования

### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

## 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
	<i>7 Семестр</i>						
1	Первый раздел	1-8			25	КИ-8	
2	Второй раздел	9-16			25	КИ-16	
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50		

\* – 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.
	<i>7 Семестр</i>			
<b>1-8</b>	<b>Первый раздел</b>	8	8	
	<b>Раздел первый</b>	Всего аудиторных часов		
	1-2	8	8	
	Тема 1.	Онлайн		
	Лекция. Приближения, используемые при построении зонной теории. Разделение электронных и ядерных переменных в рамках адиабатического приближения Борна-Оппенгеймера.			
	Практическое занятие. Наблюдаемые в квантовой механике – действительные величины. Эрмитовы операторы, ортонормированность и полнота их собственных функций. Доказательство полноты спектра			

оператора импульса в свободном пространстве. Матричное представление операторов. Взаимодействие заряда с электро-магнитным полем. Выражения для действия и функций Лагранжа и Гамильтона. Обобщенный импульс и вектор-потенциал. Переход к операторам

Цель: Напомнить основные положения квантовой механики. Дать представление о подходах к описанию сложных электронно-ядерных систем.

3-4

Тема 2.

Практическое занятие. Рассмотрение движения ядерной подсистемы в адиабатическом приближении на примере колебаний линейной молекулы CO<sub>2</sub>. Анализ низших колебательных мод. Дельта-функция, ее интегральные представления через  $\sin x/x$ ,  $\sin 2x/x^2$  и через  $e^{ikx}$  [, обобщение на трехмерный случай]. Свойства интегралов с дельта-функцией. Доказательство основного соотношения Фурье анализа. Тождество Парсиваля.

Цель: Дать представление о квантово-механическом описании движения ядер (атомов) в сложных молекулах.

4-6

Тема 3.

Лекция. Поведение электрона в молекулярном ионе водорода в рамках адиабатического приближения.

Практическое занятие. Определение вариационным методом энергий и волновых функций электрона в наинизших связывающих и несвязывающих состояниях в ионе молекулы водорода (H<sub>2</sub><sup>+</sup>) в зависимости от расстояния между протонами. Природа хим. связи в H<sub>2</sub><sup>+</sup>. Вычисление кулоновских и обменных интегралов и интеграла перекрытия для H<sub>2</sub><sup>+</sup> посредством преобразования Фурье. Доказательство тождества и его производных, получающихся при его дифференцировании по  $k_0$ . Напоминания из ТФКП: условия аналитичности Коши-Римана и их связь с теоремой о циркуляции.

Интеграл и интегральная формула Коши. Вычисление контурных интегралов. Теория линейного отклика: Соотношения Краммера-Кронига. Вид частотной зависимости диэлектрической проницаемости в модели квазиупругих диполей и в случае дебаевской релаксации.

Цель: Продемонстрировать на простейшем примере как образуется химическая связь

7-8

Тема 4.

Практическое занятие. Операторы орбитального момента количества движения. Коммутационные соотношения.

Собственные функции и собств. значения  $L_z$  и  $L^2$ . Понятие спина электрона и оператор спина. Спиновая часть волн. функции. Симметрия полной волновой функции по отношению к перестановкам частиц. Связь со статистикой и принцип Паули. Детерминанты Слэтера.

Цель: Дать понятие о спине электрона

<b>9-16</b>	<b>Второй раздел</b>	8	8	
	<b>Раздел второй</b>	<b>Всего аудиторных часов</b>		
	8-9	8	8	
	Тема 5.	<b>Онлайн</b>		
	<p>Лекция. Низшие состояния простейшей многоэлектронной системы - молекулы <math>H_2</math>. Новые кулоновский и обменный интегралы. Вычисление проекции спина и его квадрата для волновых функций (синглетной и триплетной) <math>H_2</math>. Цель: Продемонстрировать как образуется химическая связь в многоэлектронных системах</p> <p>10-11 Тема 6. Лекция. Основы вариационного исчисления. Практическое занятие. Метод самосогласованного поля Хартри и Хартри-Фока. Цель: Дать представление о методах уточнения вида волновых функций электронов в многочастичных системах.</p> <p>12-13 Тема 7. Практическое занятие. Уравнение Пуассона и его решение методом Фурье. Фурье образ потенциала точечного заряда <math>e/r</math>. Вычисление электростатических потенциалов для различных случаев экранирования точечного заряда <math>+e</math>: 1) когда отрицательный заряд <math>-e</math> «размазан» пропорционально <math>\exp(-r/rD)/r</math> и просто <math>\sim \exp(-r/rD)</math>. Расчет корреляционной энергии в слабых электролитах. Теория Дебая-Хюккеля. Цель: Дать представление о различных способах замыкания уравнения Пуассона на основе распределения Гиббса.</p> <p>14-15 Тема 8. Практическое занятие. Модель Томаса-Ферми многоэлектронного атома. Приближенное решение ур-я Томаса-Ферми, полученное Зоммерфельдом. Вычисление объема фазового пространства, приходящегося на одно состояние пары (<math>\uparrow\downarrow</math>) электронов с одинаковым <math>k</math> при использовании периодических граничных условий. Цель: Дать представление о различных замыкании уравнения Пуассона на основе модели свободного электронного газа.</p> <p>16 Тема 9. Практическое занятие. Строение молекул. Теория направленной валентности. Постулаты Полинга. Атомные орбитали и <math>sp^3</math>-гибридизация. <math>\sigma</math>- и <math>\pi</math>-связи. Вычисление атомных орбиталей в случае <math>sp</math>-, <math>sp^2</math>-гибридизации. Цель: дать представление о формировании пространственной структуры молекул.</p>			

Сокращенные наименования онлайн опций:

<b>Обозначение</b>	<b>Полное наименование</b>
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**

Чтение лекций ведется традиционным способом, в некоторых случаях используется компьютерный проектор для показа презентаций. Студенты записывают содержание лекций и решения задач в рабочие тетради, в которых они также выполняют домашние и самостоятельные работы. Практические занятия (семинары) охватывают все разделы данного учебного курса. Студенты получают опыт самостоятельного решения задач, учатся систематизировать и излагать изученный материал.

Для контроля усвоения студентами различных разделов курса проводится тестирование (вопросы для тестирования, приведены ниже), по результатам которых можно судить об усвоении студентами данного раздела курса. Усвоение студентами материала курса контролируется как по результатам тестирования, так и выполнения домашних заданий, выполнение которых подразумевает проработку лекционного материала студентами с использованием рекомендованной литературы.

## **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:

<b>Компетенция</b>	<b>Индикаторы освоения</b>
--------------------	----------------------------

### **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, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	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			
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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 538.9 Б87 Квазичастицы в физике конденсированного состояния : , Москва: Физматлит, 2016
2. ЭИ Б 18 Физика конденсированного состояния : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2015

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:



1. ЭИ Б 18 Квантовая механика : учебное пособие, Москва: Лаборатория знаний, 2015

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

Автор(ы):

Степанов Сергей Всеволодович, д.ф.-м.н.

Рецензент(ы):

Бяков В.М.