

Документ подписан простой электронной подписью Информация о владельце: ФИО: Таскаев Сергей Валерьевич Должность: Ректор Дата подписания: 17.06.2025 12:32:00 Уникальный программный ключ: 04c19ed8bfb98f3b6cb77a486b9a8788b8322323	МИНОВЕР НАУКИ РОССИИ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЧелГУ»)	Рабочая программа дисциплины "Атомная физика" по направлению подготовки (специальности) 24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика направленности (профилю) Баллистика и гидроаэродинамика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»	стр. 1
--	---	--	--------

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)\***

Атомная физика

Направление подготовки (специальность)

24.03.03 Баллистика и гидроаэродинамика

Направленность (профиль)

Баллистика и гидроаэродинамика

Присваиваемая квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Год(ы) набора 2025

\*Рабочая программа дисциплины (модуля) адаптирована для инклюзивного обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Челябинск 2025 г.



## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре ОПОП
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля)
5. Структура и содержание дисциплины (модуля)
6. Фонд оценочных средств
  - 6.1. Перечень видов оценочных средств
  - 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации
  - 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации
  - 6.4. Критерии оценивания
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)
  - 7.1. Рекомендуемая литература
  - 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"
  - 7.3. Перечень информационных технологий
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Специальные условия освоения дисциплины обучающимися с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья



### 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины «Атомная физика» состоит в формировании у студентов единой, стройной, логически непротиворечивой физической картины окружающего нас мира природы, приобретение навыков решения и исследования конкретных физических задач.

Основные задачи дисциплины: изучение основных понятий атомной физики; изучение основных методов исследования в физике атома; знакомство с некоторыми приложениями атомной физики.

Результаты обучения по дисциплине направлены на достижение индикаторов:

ОПК-1.1. Знать теорию и основные законы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин.

ОПК-1.2. Уметь применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.

ОПК-1.3. Уметь применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности.

### 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Цикл (раздел) ОПОП: Б1.О.14

#### 2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Механика

Молекулярная физика

Электричество и магнетизм

Оптика

#### 2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Физика атомного ядра и элементарных частиц

### 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**ОПК-1: Способен применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности**

#### Знать:

Для достижения ОПК-1.1: основы теории, принципы и методы атомной физики; методы теоретических и экспериментальных исследований в атомной физике; базовые теоретические знания по атомной физике.

#### Уметь:

Для достижения ОПК-1.2: понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями атомной физики; решать типовые задачи; использовать базовые теоретические знания по атомной физике.

#### Владеть:

Для достижения ОПК-1.3: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; навыком решения конкретных физических задач по атомной физике.

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен**

#### 3.1 Знать:

3.1.1 основы теории, принципы и методы атомной физики; методы теоретических и экспериментальных исследований в атомной физике; базовые теоретические знания по атомной физике.

#### 3.2 Уметь:

3.2.1 понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться основными понятиями, законами и моделями атомной физики; решать типовые задачи; использовать базовые теоретические знания по атомной физике.

#### 3.3 Владеть:

3.3.1 методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации; навыком решения конкретных физических задач по атомной физике.



#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану : 108 в том числе : аудиторные занятия : 52 самостоятельная работа : 19,6 часов на контроль : 27 контактная работа: 61,4 ИКР: 9,4	Виды контроля в семестрах:  экзамены 5

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Литература
	<b>Раздел 1. Введение. Атомы и ядра</b>			
1.1	Краткий исторический очерк развития представления об атоме и ядре. Порядки величин расстояний и энергий в атомных и ядерных процессах. Специфика законов микромира. Основные частицы, их характеристика. Ядерная модель атома. Опыт Резерфорда по рассеянию альфа частиц. Эффективное сечение. Энергия связи. Обоснование возможности раздельного рассмотрения физики атома и физики ядра. /Лек/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
1.2	Решение задач. Рассеяние частиц. Формула Резерфорда. /Пр/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
1.3	Рассеяние частиц. Формула Резерфорда. /Ср/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
	<b>Раздел 2. Экспериментальные основы квантовых представлений</b>			
2.1	Стационарность и дискретность атомных состояний. Опыт Франка и Герца. Пространственное квантование. Опыт Штерна и Герлаха. Корпускулярно-волновой дуализм. Эффект Комптона. Гипотеза де-Бройля. Дифракция электронов нейтронов, атомов. Соотношение неопределенности. /Лек/	5	6	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
2.2	Решение задач. Корпускулярно-волновой дуализм. Фотоэффект. Эффект Комптона. /Пр/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
2.3	Корпускулярно-волновой дуализм. Фотоэффект. Эффект Комптона. /Ср/	5	6	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
	<b>Раздел 3. Физические принципы квантовой механики</b>			
3.1	Волновая функция. Уравнение Шредингера. Отличие квантово-механического и классического описания движения. Простейшие одномерные задачи квантовой механики: свободное движение частицы, частица в потенциальной яме, гармонический осциллятор, прохождение частиц через потенциальный барьер. Излучение и поглощение энергии. Неразличимость одинаковых микрочастиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули. /Лек/	5	8	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
3.2	Решение задач. Волновая функция. Уравнение Шредингера. /Пр/	5	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7



3.3	Волновая функция. Уравнение Шредингера. /Ср/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 4. Строение атома и атомные спектры</b>				
4.1	Квантово-механическое описание водородоподобных систем. Уровни энергии, волновые функции, распределение плотности вероятности. Спектр атома водорода. Объяснение тонкой и сверхтонкой структуры атомных спектров. Электронные оболочки атома и их заполнение, физическое объяснение периодического закона. Рентгеновское излучение, природа, свойства и методы исследования. Действие магнитного поля на атом. Эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс. /Лек/	5	8	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
4.2	Решение задач. Квантово-механическое описание водородоподобных систем. Электронные оболочки. /Пр/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
4.3	Квантово-механическое описание водородоподобных систем. Электронные оболочки. /Ср/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 5. Строение и свойства молекул</b>				
5.1	Типы связей атомов в молекуле. Порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергии. Молекулярные спектры. Комбинационное рассеяние. Силы Ван дер Ваальса. /Лек/	5	6	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
5.2	Решение задач. Механический и магнитный момент атома. Атом в магнитном поле. /Пр/	5	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
5.3	Механический и магнитный момент атома. Атом в магнитном поле. /Ср/	5	4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 6. Квантовые свойства твердых тел</b>				
6.1	Типы связей атомов в твердых телах. Энергетические зоны. Проводимость твердых тел. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа. Теплоемкость. /Лек/	5	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
6.2	Решение задач. Связь атомов в молекуле. Колебательная и вращательная энергии. Квантовые свойства твердых тел. /Пр/	5	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
6.3	Связь атомов в молекуле. Колебательная и вращательная энергии. Квантовые свойства твердых тел. /Ср/	5	6,6	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7
<b>Раздел 7. Иная контактная работа</b>				
7.1	Индивидуальные консультации, текущий контроль /ИКР/	5	9,4	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7

## 6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 6.1. Перечень видов оценочных средств



Рабочая программа дисциплины "Атомная физика" по направлению подготовки (специальности) 24.03.03 "Баллистика и гидроаэродинамика" направленности (профилю) Баллистика и гидроаэродинамика ФГБОУ ВО «ЧелГУ»

стр. 6

Отчет по практическим заданиям.  
Контрольные вопросы.

### 6.2. Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации

Типовые контрольные задания и иные материалы для текущей аттестации представлены в Приложении 1.

### 6.3. Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации

Типовые контрольные вопросы и задания для промежуточной аттестации представлены в Приложении 2.

### 6.4. Критерии оценивания

Экзамен по дисциплине проводится в электронном виде. Вопросы подбираются из базы данных вопросов и задач. На экзамене студенту предлагается 20 вопросов, из них 6 задач. Если студент правильно отвечает на 11-12 вопросов, он может получить оценку «удовлетворительно», на 13-15 – «хорошо», 16 и более – «отлично». Если студент правильно отвечает лишь на 10 вопросов и менее, то он может получить оценку «неудовлетворительно». После введения ответа на последний вопрос теста и формального подведения компьютерной программой результатов тестирования, преподаватель обсуждает и задает дополнительные вопросы студенту по поводу того или иного ответа. По итогам такого собеседования преподаватель определяет уровень освоения проверяемых компетенций и выставляет соответствующую оценку: «отлично» – студент должен продемонстрировать отличное знание материала, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, студент правильно обосновывает принятые решения; «хорошо» – студент твердо знает учебный материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул или отсутствие некоторых элементов вывода; «удовлетворительно» в случае успешной сдачи базовых знаний основных понятий, названий и физического смысла величин, вида основных распределений и соотношений (без вывода); «неудовлетворительно» в случае отсутствия базовых знаний основных понятий, названий и физического смысла величин, вида основных распределений и соотношений (без вывода).

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 7.1. Рекомендуемая литература

#### 7.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л1.1	Сивухин Д. В.	Общий курс физики: учебное пособие ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=82991">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=82991</a> )	Москва : Физматлит, 2002	ЭБС
Л1.2	Савельев И. В.	Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц ( <a href="https://e.lanbook.com/book/210611">https://e.lanbook.com/book/210611</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2022	ЭБС

#### 7.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л2.1	Григорьев Ю. М., Кычкин И. С.	Физика атома и атомных явлений: учебное пособие ( <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=457657">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=457657</a> )	Москва : Физматлит, 2015	ЭБС
Л2.2	Шпольский Э. В.	Введение в атомную физику ( <a href="https://e.lanbook.com/book/210398">https://e.lanbook.com/book/210398</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2022	ЭБС

#### 7.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Ресурс
Л3.1	Калашников Н. П., Кожевников Н. М., Котырло Т. В., Спирин Г. Г.	Практикум по решению задач по общему курсу физики. Основы квантовой физики. Строение вещества. Атомная и ядерная физика ( <a href="https://e.lanbook.com/book/211592">https://e.lanbook.com/book/211592</a> )	Санкт- Петербург : Лань, 2022	ЭБС

### 7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Учебно-методический сайт «Преподавателям и студентам» <a href="http://teachmen.csu.ru">http://teachmen.csu.ru</a>
Э2	Научные и научно-популярные лекции <a href="http://elementy.ru">http://elementy.ru</a>
Э3	Научная электронная библиотека Российской Академии Наук <a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a>
Э4	ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a>
Э5	ЭБС издательства «Лань» <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Э6	ЭБС издательства «Инфра-М» <a href="http://znanium.com">znanium.com</a> <a href="http://znanium.com/">http://znanium.com/</a>
Э7	ЭБС «Юрайт» <a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>



### 7.3 Перечень информационных технологий

#### 7.3.1 Программное обеспечение

Adobe Reader

LibreOffice

WinDjView

Adobe Connect Acrobat

LMS Moodle

#### 7.3.2 Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы

1. Электронный каталог научной библиотеки ЧелГУ [Электронный ресурс] : база данных / Челябин. гос. ун-т. – Челябинск, 1992.
2. APS JOURNALS. Physical Review Letters, Physical Review X, Physical Review, and Reviews of Modern Physics : журналы American Physical Society : сайт. – URL: <http://journals.aps.org/about> – Яз. англ. – Режим доступа: только из сети университета. – Текст : электронный.
3. Web of Science : мультидисциплинарная реферативная база данных / компания Thomson Reuters. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.
4. Scopus : реферативная база данных / Elsevier BV. – URL: <http://www.scopus.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.
5. Springer Link : [сайт]. – URL: <http://link.springer.com/> – Яз. англ. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей ЧелГУ. – Текст : электронный.
6. Конспекты лекций с демонстрациями и виртуальными лабораторными экспериментами на сайте <http://teachmen.csu.ru>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения - мультимедийным оборудованием (экран, ноутбук, проектор, колонки).

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (мультимедийные презентации).

Используется электронный читальный зал научной библиотеки ЧелГУ (аудитория 206) для самостоятельной работы студента, оснащенный персональными компьютерами, мультимедийной аппаратурой. В аудитории обеспечен доступ к различной справочной литературе, энциклопедиям, библиографическим и полнотекстовым базам данных, информационным ресурсам «Интернет».

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Освоение содержания учебной дисциплины «Атомная физика» осуществляется на лекциях, практических занятиях и в процессе самостоятельной учебной деятельности студентов.

Лекционные занятия обеспечивают теоретическое изучение дисциплины. Основными методами обучения являются информационно-объяснительный и проблемный. На лекциях излагается основное содержание тем программы, проводится анализ основных понятий и рассматриваются примеры.

Лекционный материал является важным, но не единственным для усвоения учебной дисциплины. Его обязательно необходимо дополнить материалом основной и дополнительной литературы по теме.

Практические занятия служат для закрепления теоретических основ, излагаемых в лекциях. На практических занятиях обучаемые овладевают основными методами и приемами решения задач. Для проведения текущего и промежуточного контроля проводится контрольная работа и защиты задач по каждой теме практических занятий. Защита задач по теме подразумевает решение задач из предложенного списка задач и умение объяснить ход решения 1-2 задач из темы Система контрольных мероприятий должна обеспечивать объективную оценку знаний и навыков студентов, способствовать повышению эффективности всех видов учебных занятий, включая и самостоятельную работу.

Важным моментом при изучении любой дисциплины является организация самостоятельной работы. При освоении материала не следует стремиться к механическому запоминанию приведенных определений, формулировок и положений, если требования к Вам прямо не указывают на это. Вполне эффективной может оказаться попытка понять суть явления, выработать свое отношение к нему, опираясь на материал, содержащийся в рекомендованной литературе. Также рекомендуется равномерно распределять нагрузку самостоятельного обучения в течение семестра.



В освоении дисциплины (модуля) инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная работа. Под индивидуальной работой подразумевается две формы взаимодействия с преподавателем: индивидуальная учебная работа (консультации), т.е. дополнительное разъяснение учебного материала и углубленное изучение материала с теми обучающимися, которые в этом заинтересованы, и индивидуальная воспитательная работа. Индивидуальные консультации по предмету является важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или обучающимся с ограниченными возможностями здоровья.

В случае применения при обучении дисциплины электронного обучения, дистанционных образовательных технологий общение обучающихся и преподавателя осуществляется в режиме реального времени (онлайн-лекции (вебинары), чаты, видео-конференции и др.) или отложенного времени (система дистанционного обучения Moodle, MS Office365, форумы, электронная почта и др.).

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение, дистанционные образовательные технологии предусматривают возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий (далее – ЭО, ДОТ) осуществляется на основании «Положения о реализации основных и дополнительных образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Челябинский государственный университет», «Положения о порядке зачета обучающимися по основным профессиональным образовательным программам высшего образования в ФГБОУ ВО «ЧелГУ» результатов освоения в организациях, осуществляющих образовательную деятельность, учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практик, дополнительных образовательных программ» посредством электронной информационно-образовательной среды ФГБОУ ВО «ЧелГУ». В исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) при реализации образовательной деятельности с применением ЭО, ДОТ могут применять компоненты, не входящие в перечень электронной информационно-образовательной среды.

## **10. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИМИСЯ С ИНВАЛИДНОСТЬЮ И ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Освоение дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с использованием специальных технических средств и информационных технологий, предоставляемых Ресурсным учебно-методическим центром по обучению инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья ЧелГУ по запросу обучающегося (мобильные специальные технические средства для лиц с нарушениями зрения и с нарушением слуха, ассистивные информационные технологии).

При необходимости для обучающихся с нарушениями зрения на рабочих местах для проведения практических или лабораторных занятий устанавливается специальное программное обеспечение (программа речевой навигации, речевые синтезаторы, экранные лупы).

В учебные аудитории обеспечивается беспрепятственный доступ для обучающихся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья. В каждой аудитории, где обучаются инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, предусматривается соответствующее количество мест для обучающихся с учетом нарушений их здоровья.

Для освоения дисциплины инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется доступ к печатным источникам, имеющимся в научной библиотеке ЧелГУ, с помощью специальных технических средств; доступ с помощью специальных технических и программных средств к электронным источникам, представленным в форме электронного документа в фонде научной библиотеки ЧелГУ или электронно-библиотечных системах.

Учебно-методические материалы для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и особенностям восприятия информации.

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья освоение дисциплины может быть частично или полностью осуществлено с использованием дистанционных образовательных технологий.

При проведении промежуточной аттестации по дисциплине обучающимся с инвалидностью и с ограниченными возможностями здоровья обеспечивается по их заявлению предоставление в доступной форме в зависимости от их индивидуальных особенностей инструкции о порядке проведения промежуточной аттестации, оценочных средств и возможности ответов на задания (письменно на бумаге, набор ответов на компьютере, письменно шрифтом Брайля, с использованием услуг ассистента, устно).

При проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование предоставленных ЧелГУ или собственных технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями. При необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на задания, процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

## Приложение 1

### Примеры вариантов заданий к практическим занятиям

#### База вопросов для оценки базового уровня

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Введение. Атомы и ядра		
1	Эффективное сечение взаимодействия - это	1. площадь сечения атома - центра взаимодействия 2. площадь сечения центра взаимодействия 3. доля частиц, испытавших взаимодействие, отнесенная к числу центров взаимодействия на единице площади мишени 4. <b>доля частиц, прошедших без взаимодействия, отнесенная к числу центров взаимодействия на единице площади мишени</b> 5. площадь сечения ядра - центра взаимодействия
2	Какое взаимодействие является определяющим для понимания строения атома?	1. ядерное (сильное) 2. <b>электромагнитное</b> 3. слабое 4. гравитационное 5. все перечисленные одинаково важны
3	Прицельное расстояние (прицельный параметр) - это	1. расстояние между траекторией движения частицы и рассеивающим центром 2. расстояние между взаимодействующими частицами 3. понятие не имеет строгого определения 4. <b>расстояние между линией первоначального движения частицы и рассеивающим центром</b>
4	Отличительной особенностью упругого рассеяния частицы является	1. сохранение полной энергии при взаимодействии 2. сохранение импульса при взаимодействии 3. <b>неизменность состояний сталкивающихся частиц</b> 4. равенство углов рассеяния налетающей частицы и угла вылета частицы-мишени 5. неизменность направлений движения сталкивающихся частиц
6	Размер электрона следует учитывать при рассмотрении процессов	1. происходящих в атомах 2. происходящих в ядрах атомов 3. <b>никогда не учитывать</b> 4. происходящих в твердом теле 5. всегда учитывать
Экспериментальные основы квантовых представлений		
1	Уравнение Эйнштейна для	1. закона сохранения импульса

	фотоэффекта представляет собой применение к данному явлению...	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. <b>закона сохранения энергии</b></li> <li>3. закона сохранения заряда</li> <li>4. закона сохранения момента импульса</li> <li>5. закона отражения и преломления света</li> </ol>
2	От чего зависит количество электронов, вырываемых при фотоэффекте?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. от частоты электромагнитного излучения</li> <li>2. <b>от интенсивности электромагнитного излучения</b></li> <li>3. от величины задерживающей разности потенциалов</li> <li>4. от энергии падающих квантов</li> <li>5. от длины волны поглощаемого излучения</li> <li>6. это величина постоянная, характеризующая данный фотоэлемент</li> <li>7. правильный ответ не приведен</li> </ol>
3	Работа выхода электронов из никеля составляет 4.84 эВ. Можно ли наблюдать одноэлектронный фотоэффект на фотокатоде из никеля, облучая его мощным источником видимого света?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. да, в любом случае</li> <li>2. <b>нет, в любом случае</b></li> <li>3. да, при достаточной интенсивности светового потока</li> <li>4. да, но только при химически очень чистом никеле</li> <li>5. правильный ответ не приведен</li> </ol>
4	В каких случаях можно не учитывать волновые свойства электрона?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>электроны в газоразрядной трубке</b></li> <li>2. электрон в атоме водорода</li> <li>3. <b>электронный ускоритель на 1 ГэВ</b></li> <li>4. рассеяние электронов с энергией порядка эВ на атомах газа</li> <li>5. <b>электрон движется к аноду в радиолампе</b></li> </ol>
5	На пути узкого пучка электронов установлены последовательно диафрагма в виде щели и фотопластинка. После проявления на фотопластинке обнаружится	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. четкое изображение щели</li> <li>2. никакого изображения, т.к. электроны не действуют на фотослой</li> <li>3. дифракционная картина в виде полос</li> <li>4. <b>результат нельзя предсказать, не зная геометрии и энергии электронов</b></li> <li>5. дифракционная картина в виде ряда окружностей</li> </ol>
<b>Физические принципы квантовой механики</b>		
1	Частица движется в прямоугольной потенциальной яме в основном состоянии. Где вероятность нахождения частицы максимальна?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. у левого края</li> <li>2. у правого края</li> <li>3. по краям</li> <li>4. <b>в центре</b></li> <li>5. одинакова по всей ширине ямы</li> </ol>
2	Кинетическая энергия частицы отлична от нуля в основном состоянии - это справедливый результат	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. для всех задач классической механики</li> <li>2. <b>для всех задач квантовой механики</b></li> <li>3. только при движении частицы в потенциальной яме</li> <li>4. только при движении частицы в потенциале вида <math>U(x)=(kx^2)/2</math></li> <li>5. для всех задач классической и квантовой механики</li> </ol>

3	Квадрат модуля волновой функции имеет смысл плотности вероятности нахождения частицы в данном месте.	1. да 2. нет 3. не всегда
4	Чем определяется вид волновой функции частицы в стационарном уравнении Шредингера?	1. видом оператора Лапласа 2. кинетической энергией частицы $E$ 3. массой частицы $m$ 4. <b>видом функции потенциальной энергии частицы <math>U</math></b>
5	Волновая функция, описывающая реальную физическую систему, всегда является	1. конечной 2. однозначной 3. непрерывной 4. нормированной 5. <b>все ответы верны</b>
<b>Строение атома и атомные спектры</b>		
1	Электрон перешел из состояния с малым средним расстоянием от ядра в состояние с большим удалением от ядра. При этом ...	1. энергия атома мало изменится 2. <b>энергия атома увеличится</b> 3. атом превратится в ион 4. энергия атома уменьшится 5. атом испустит квант энергии 6. <b>правильный ответ не приведен</b>
2	Линейчатый спектр дают...	1. высокотемпературная плазма 2. жидкости 3. <b>газы в атомарном состоянии</b> 4. газы в молекулярном состоянии 5. <b>правильный ответ не приведен</b>
3	С какого энергетического уровня на какой переходит электрон в атоме водорода при испускании волны с наименьшей частотой в видимой области спектра?	1. со второго на первый 2. с третьего на первый 3. <b>с третьего на второй</b> 4. с четвертого на первый 5. с четвертого на второй
4	В оптическом диапазоне сплошные непрерывные спектры имеют :	1. пары металлов 2. нагретые жидкости и газы 3. газы 4. пары жидкостей 5. подогретые жидкости 6. <b>правильный ответ не приведен</b>
5	Принадлежность спектральной линии одной из серий атома водорода (Лаймана, Бальмера, Пашена и др.) определяется...	1. скоростью движения электрона вокруг ядра 2. начальным состоянием электрона 3. энергией электрона 4. импульсом электрона 5. <b>квантовым числом конечного состояния</b> 6. <b>правильный ответ не приведен</b>
6	Приведенная масса системы из двух частиц ...	1. больше массы легкой частицы 2. <b>меньше массы легкой частицы</b> 3. больше массы тяжелой частицы 4. равна сумме масс легкой и тяжелой частиц, деленной на два
<b>Строение и свойства молекул</b>		
1	При сближении атомов водорода и	<b>расщепляются</b>

	образовании молекулы $H_2$ электронные энергетические уровни ... . Вставьте пропущенное слово.	
3	Энергия молекулы $H_2$ ... сумме(ы) энергий двух изолированных атомов водорода. Вставьте пропущенное слово.	<b>меньше</b>
4	Если молекула при диссоциации распадается на атомы, то связь следует считать _____ (ионной или ковалентной).	<b>ковалентной</b>
5	Какие из приведенных ниже молекул имеют ковалентную химическую связь?	1. $O_2$ 2. CO 3. HCl 4. $NO_2$ 5. NaCl
6	Одно из перечисленных ниже заклучений относительно проявления в молекулах волновых свойств электронов неправильно. Укажите его.	1. <b>движение электронов волнообразное</b> 2. энергетический спектр электронов дискретный 3. имеется отличная от нуля вероятность найти электрон вдали от ядер 4. существует ковалентная химическая связь 5. электроны не падают на ядра, и молекула устойчива в целом
<b>Квантовые свойства твердых тел</b>		
1	В случае термодинамического равновесия в среде при комнатной температуре распределение молекул по колебательным уровням энергии имеет следующие закономерности:	1. большинство молекул характеризуется максимально возможной энергией 2. большинство молекул имеют энергию ( $3/2$ )kT 3. <b>молекулы распределены по колебательным уровням энергии в соответствии с формулой Больцмана;</b> 4. количество молекул монотонно убывает по мере возрастания номера колебательного уровня энергии
2	Относительно уровня Ферми можно сказать, что это:	1. энергия взаимодействия электронов с решеткой кристалла 2. суммарная кинетическая энергия свободных электронов кристалла при T больше или равно 0 3. <b>кинетическая энергия наиболее высокоэнергетических свободных электронов кристалла при T = 0</b> 4. <b>энергия электронного уровня кристалла в модели свободных электронов, вероятность заполнения которого 1/2</b>
3	В зонной модели полупроводники от диэлектриков отличаются шириной _____.	запрещенной зоны

4	Энергия кристалла NaCl... сумме(ы) энергий изолированных атомов натрия и хлора, составляющих кристалл. Вставьте пропущенное слово.	меньше
---	--	--------

### База вопросов для оценки среднего уровня

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Введение. Атомы и ядра		
1	Равновесное положение электрона в атоме водорода согласно модели Томпсона находится	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. в центре заряженного шара</b></li> <li>на поверхности заряженного шара</li> <li>в любой точке внутри заряженного шара</li> <li>в атоме Томпсона равновесное положение отсутствует</li> <li>положение электрона зависит от заряда</li> </ol>
2	Какой из перечисленных ниже методов позволяет измерить заряд электрона с наибольшей точностью?	<ol style="list-style-type: none"> <li>метод Милликена, основанный на измерении параметров движения заряженных капель в электрическом поле</li> <li>метод магнетрона</li> <li>измерение толщины следа электрона в камере Вильсона</li> <li><b>измерении параметров движения ускоренного электрона в магнитном поле (масс-спектрометр)</b></li> <li>ни один из перечисленных</li> </ol>
3	Для получения количественного согласия экспериментальных и расчетных данных по рассеянию альфа-частиц в тонких фольгах конечный размер ядра	<ol style="list-style-type: none"> <li>можно не учитывать</li> <li>надо учитывать всегда</li> <li><b>надо учитывать только для больших углов рассеяния</b></li> <li>надо учитывать только для малых углов рассеяния</li> </ol>
4	Поток альфа-частиц рассеивается тонкой мишенью из свинца. Детектор установлен под углом $30^\circ$ относительно первоначального направления движения частиц и регистрирует к имп/с. Как изменятся показания детектора, если альфа-частицы заменить на протоны той же скорости?	<ol style="list-style-type: none"> <li>Показания не изменятся</li> <li>Уменьшатся в 2 раза</li> <li>Уменьшатся в 4 раза</li> <li>Уменьшатся в 16 раз</li> <li><b>Увеличатся в 4 раза</b></li> <li>Правильный ответ не приведен</li> </ol>
5	При какой энергии электрон окажется тяжелее покоящегося протона? Ответ приведите в МэВ.	<b>938</b>
Экспериментальные основы квантовых представлений		
1	Определите энергию фотонов, соответствующих наиболее длинным волнам видимой части спектра 760 нм. Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.	<b>1.63</b>

2	Какому углу рассеяния (в градусах) соответствует максимальное комптоновское смещение длины волны?	<b>180</b>
3	Энергия фотона равна кинетической энергии электрона. Сравните их импульсы.	1. <b>импульс электрона больше, т.к. масса покоя электрона не равна нулю</b> 2. импульс фотона больше, т.к. у него больше скорость 3. импульсы частиц равны 4. ответ зависит от величины энергии фотона и кинетической энергии электрона
4	Потенциал, до которого может зарядиться металлическая пластина, работа выхода электронов из которой 1.6 эВ, при длительном освещении потоком фотонов с энергией 4 эВ, равен...	1. 5.6 В 2. 3.6 В 3. 2.8 В 4. 4.8 В 5. <b>2.4 В</b>
5	На графике представлены зависимости задерживающего напряжения $U$ от частоты падающего света. Чем отличаются условия, при которых получены эти прямые?	<b>работой выхода</b>
6	Энергия света, падающего на катод, уменьшилась, при неизменной длине волны. При этом произошло уменьшение...	1. <b>числа выбитых электронов</b> 2. массы фотоэлектронов 3. скорости фотоэлектронов 4. работы выхода электронов из катода 5. ничего не уменьшится
<b>Физические принципы квантовой механики</b>		
1	Квантовая частица находится в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $a$ в состоянии с главным квантовым числом $n = 3$ . В каких точках частица находится не может? Правильный(е) на Ваш взгляд номер(а) ответа(ов) введите через пробел.	1. <b><math>x = 0</math></b> 2. $x = a/2$ 3. <b><math>x = a</math></b> 4. <b><math>x = a/3</math></b> 5. <b><math>x = 2a/3</math></b>
2	Квантовая частица находится в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $a$ . В каких точках интервала $(0, a)$ плотность вероятности нахождения частицы в состояниях с главным квантовым числом $n = 1$ и $n = 2$ одинакова? Правильный(е) на Ваш взгляд номер(а) ответа(ов) введите через пробел.	1. $a/4$ и $3a/4$ , соответственно для $n = 1$ и $n = 2$ 2. <b><math>a/3</math> и <math>2a/3</math>, соответственно для <math>n = 1</math> и <math>n = 2</math></b> 3. $a/2$ 4. $a/5$ и $4a/5$ , соответственно для $n = 1$ и $n = 2$
3	Прозрачность прямоугольного потенциального барьера для электронов с энергией 5 эВ равна 0.1. Чему она будет равна при увеличении ширины барьера в 2 раза?	1. увеличится в 2 раза 2. уменьшится в 2 раза 3. <b>0.01</b> 4. 0.025 5. 0.4 6. 0.014

		7. <b>правильный ответ не приведен</b>
4	В опыте Рамзауэра наблюдались аномалии в зависимости сечения рассеяния электронов на атомах благородных газов. На основании этих измерений он пришел к выводу, что	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. столкновения электронов с атомами упругие</li> <li>2. атомы можно возбудить, сообщая им только определенные порции энергии</li> <li>3. столкновения электронов с атомами неупругие</li> <li>4. атомы имеют не равный нулю магнитный момент</li> <li>5. атомы можно возбудить, сообщая им любые порции энергии</li> <li>6. <b>при малых скоростях электронов заметно проявляются их волновые свойства</b></li> <li>7. поведение атомов противоречит постулатам Бора</li> </ol>
5	Какое из приведенных явлений не требует для объяснения представления о туннельном эффекте?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. холодная эмиссия электронов из металла</li> <li>2. эффект Джозефсона</li> <li>3. <b>аномалии в зависимости сечения рассеяния электронов на атомах благородных газов (опыт Рамзауэра)</b></li> <li>4. движение электронов в твердых телах</li> <li>5. альфа-распад радиоактивных ядер</li> </ol>
<b>Строение атома и атомные спектры</b>		
1	Какое из приведенных выражений позволяет рассчитать длину волны второй по счету линии серии линий в ультрафиолетовой части спектра атома водорода (серия Лаймана)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <math>c/R</math></li> <li>2. <math>4c/3R</math></li> <li>3. <b><math>9c/8R</math></b></li> <li>4. <math>16c/15R</math></li> <li>5. <b>правильный ответ не приведен</b></li> </ol>
2	Полная энергия электрона на $n$ -ом уровне определяется соотношением $E_n = -13.6/n^2$ эВ. Какую наименьшую энергию нужно сообщить невозбужденному атому водорода, чтобы спектр излучения газа из таких атомов содержал только одну спектральную линию? Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.	<b>10.2</b>
3	Атом водорода перешел из основного состояния в состояние с главным квантовым числом $n$ , при этом абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром уменьшилась в 4 раза. При последующем переходе из состояния с главным квантовым числом $n$ в	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2</li> <li>2. <b>4</b></li> <li>3. 8</li> <li>4. 16</li> </ol>

	состояние с главным квантовым числом $m$ абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром опять уменьшилась в 4 раза. Определите $m$ .	
4	Неподвижный атом водорода находился в первом возбужденном состоянии с квантовым числом $n = 2$ . Поглотив фотон с энергией, равной 0.24 энергии ионизации, атом водорода перешел в состояние с квантовым числом $m = \dots$ Определите квантовое число конечного состояния.	<b>10</b>
5	Через разреженный газ пропускают излучение с непрерывным спектром. Какой вид имеет спектр поглощения разреженного газа?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. разноцветные линии на темном фоне</li> <li>2. спектр имеет вид радуги</li> <li>3. <b>отдельные темные линии на фоне непрерывного спектра</b></li> <li>4. цвета линий неразличимо переходят один в другой</li> <li>5. на фоне непрерывного спектра видно множество темных полос</li> <li>6. правильный ответ не приведен</li> </ol>
6	Атом водорода находится в возбужденном состоянии со значением главного квантового числа $n = 4$ . Сколько спектральных линий будет содержать спектр излучения газа из таких атомов?	<b>6</b>
<b>Строение и свойства молекул</b>		
1	Система вращательных уровней энергии молекул имеет следующие характеристические особенности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями увеличивается</b></li> <li>2. <b>энергия уровня основного состояния равна 0 для всех молекул</b></li> <li>3. энергии уровней более легких двухатомных молекул меньше, чем более тяжелых</li> <li>4. по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями уменьшается</li> </ol>
2	Для вращательных спектров поглощения двухатомных молекул характерно следующее:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>интервал частот между соседними линиями спектра примерно одинаков</b></li> <li>2. <b>интервал частот между соседними линиями спектра зависит только</b> от момента инерции молекулы</li> <li>3. интервал длин волн между соседними линиями спектра одинаков</li> <li>4. интервал частот между соседними линиями спектра зависит от температуры</li> </ol>
3	Если сравнить чисто вращательные	<b>1. они отличаются частотами линий</b>

	спектры поглощения молекул HF и HBr, то можно обнаружить, что:	<p>2. они не отличаются интенсивностями линий</p> <p>3. <b>в спектре HF интервал частот между соседними линиями больше, чем в спектре HBr</b></p> <p>4. в спектре HF интервал частот между соседними линиями меньше, чем в спектре HBr</p> <p>5. наблюдение спектров поглощения молекул HBr невозможно</p>
4	В общем случае колебания атомов в молекулах не являются _____, однако такое приближение приемлемо при малых амплитудах колебаний. Вставьте пропущенное слово.	<b>гармоническими</b>
5	Вследствие _____ ангармоничности колебаний молекул при увеличении амплитуды колебаний интервал энергий между соседними энергетическими уровнями	<p>1. <b>увеличивается</b></p> <p>2. уменьшается</p> <p>3. не изменяется</p>
6	В _____ случае термодинамического равновесия в среде при комнатной температуре распределение молекул по колебательным уровням энергии имеет следующие закономерности:	<p>1. _____ большинство молекул характеризуется _____ максимальной возможной энергией</p> <p>2. большинство молекул имеют энергию <math>(3/2)kT</math></p> <p>3. <b>молекулы распределены по колебательным уровням энергии в соответствии с формулой Больцмана;</b></p> <p>4. количество молекул монотонно убывает по мере возрастания номера колебательного уровня энергии</p>
<b>Квантовые свойства твердых тел</b>		
1	О нулевых колебаниях молекул можно сказать, что:	<p>1. колебательное движение отсутствует</p> <p>2. амплитуда колебаний равна нулю</p> <p>3. <b>это колебания при <math>T = 0</math></b></p> <p>4. <b>это колебания с минимально возможной амплитудой</b></p> <p>5. <b>это колебания с минимально возможной энергией</b></p>
2	Относительно уровня Ферми можно сказать, что это:	<p>1. энергия взаимодействия электронов с решеткой кристалла</p> <p>2. суммарная кинетическая энергия свободных электронов кристалла при <math>T</math> равно или больше 0</p> <p>3. <b>кинетическая энергия наиболее высокоэнергетических свободных электронов кристалла при <math>T = 0</math></b></p> <p>4. <b>энергия электронного уровня кристалла в модели свободных электронов, вероятность заполнения которого 1/2</b></p>
3	При сближении атомов лития и _____	<b>разрешенные зоны</b>

	образовании кристалла электронные энергетические уровни образуют ... . Вставьте пропущенное.	
4	В хорошо проводящих электрический ток твердых телах (металлах)	1.валентная энергетическая зона заполнена электронами полностью 2. <b>валентная энергетическая зона частично заполнена электронами</b> 3.заполнение валентной зоны не имеет значения 4.валентная зона близка к первой целиком заполненной зоне 5.проводимость обусловлена движением ионов
5	Электроны в зоне проводимости металла	1.равномерно распределяются по всем возможным состояниям 2. <b>заполняют подряд все низколежащие состояния вплоть до энергии Ферми</b> 3.заполняют подряд все высоколежащие состояния с энергиями, превышающими энергию Ферми 4.имеют одну энергию, называемую энергией Ферми 5.располагаются вблизи дна зоны
6	Какого типа связи из перечисленных в кристаллах не существует?	1. ионная 2. ковалентная 3. водородная 4. молекулярная 5. металлическая 6. <b>полимерная</b>

#### База контрольных заданий для оценки высокого уровня

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Введение. Атомы и ядра		
1	Вычислите радиус атома водорода согласно модели Томпсона, если известна энергия ионизации атома $E_i = 13,6$ эВ. Ответ дайте в нм.	<b>237 нм</b>
2	Вычислите максимальную напряженность электрического поля в водородоподобном ионе согласно модели Томпсона. Порядковый номер $Z$ , радиус атома принять $r$ .	<b><math>E=1/(4\pi\epsilon)^*(Z*e/r)</math></b>
3	Неподвижный шар радиуса $R$ облучают параллельным потоком частиц, радиус которых $r$ . Считая столкновение частицы с шаром упругим, найти угол $\theta$ отклонения частицы в зависимости от ее прицельного параметра $b$	<b><math>\theta=\pi-2\phi, b=(R+r)\sin\phi</math></b>

4	Протон с кинетической энергией $T = 10$ МэВ пролетает на расстоянии $b = 10$ пм от свободного покоившегося электрона. Найти энергию, которую получит электрон, считая, что траектория протона прямолинейная и за время пролета электрон остается практически неподвижным.	<b>3,8 эВ</b>
5	Узкий пучок $\alpha$ -частиц с кинетической энергией 1,0 МэВ падает нормально на платиновую фольгу толщины 1,0 мкм. Наблюдение рассеянных частиц ведется под углом $60^\circ$ к направлению падающего пучка при помощи счетчика с круглым входным отверстием площади $1,0 \text{ см}^2$ , которое расположено на расстоянии 10 см от рассеивающего участка фольги. Какая доля рассеянных $\alpha$ -частиц падает на отверстие счетчика?	<b><math>3,35 \cdot 10^{-5}</math></b>
<b>Экспериментальные основы квантовых представлений</b>		
1	Предположим, что покоящийся атом поглотил фотон с энергией $1,2 \cdot 10^{-17}$ Дж. Чему равен импульс атома?	<b><math>4 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot \text{м/с}</math></b>
2	Узкий пучок $\alpha$ -частиц с кинетической энергией $T = 600$ кэВ падает нормально на золотую фольгу, содержащую $n = 1,1 \cdot 10^{19}$ ядер/см <sup>2</sup> . Найти относительное число $\alpha$ -частиц, рассеивающихся под углами $\vartheta < \vartheta_0 = 20^\circ$ .	<b>0,6</b>
3	Фотон с энергией 15,0 эВ выбивает электрон из покоящегося атома водорода, находящегося в основном состоянии. С какой скоростью $v$ движется электрон вдали от ядра?	<b><math>6,93 \cdot 10^5 \text{ м/с}</math></b>
4	Нейтрон с кинетической энергией $T = 25$ эВ налетает на покоящийся дейтон (ядро тяжелого водорода). Найти дебройлевские длины волн обеих частиц в системе их центра инерции.	<b>8,6 пм</b>
5	Пороговая чувствительность сетчатки человеческого глаза к желтому свету с длиной волны 600 нм составляет $1,7 \cdot 10^{-18}$ Вт. Сколько фотонов падает каждую секунду на сетчатку?	<b>5</b>
<b>Физические принципы квантовой механики</b>		
1	Прямоугольный потенциальный барьер имеет ширину 0,1 нм. Определите в эВ разность энергий $U-E$ , при которой вероятность прохождения электрона сквозь барьер составит 0,5	<b>0,454 эВ</b>

2	Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером $l = 0,20$ нм.	<b>1 эВ</b>
3	Частица находится в двумерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < a$ , $0 < y < b$ ). Определить вероятность нахождения частицы с наименьшей энергией в области $0 < x < a/3$ .	<b>19,5%</b>
4	Электрон с кинетической энергией $T \approx 4$ эВ локализован в области размером $l = 1$ мкм. Оценить с помощью соотношения неопределенностей относительную неопределенность его скорости.	<b><math>9,76 \cdot 10^{-5}</math></b>
5	Электрон с энергией $E$ движется в положительном направлении оси $X$ . При каком значении $U-E$ , выраженном в электрон-вольтах, коэффициент прозрачности $D=10^{-3}$ , если ширина $d$ барьера равна $0,1$ нм?	<b>45 эВ</b>
<b>Строение атома и атомные спектры</b>		
1	При переходе атома водорода из четвертого энергетического состояния во второе излучаются фотоны с энергией $2,55$ эВ (зеленая линия водородного спектра). Определить длину волны этой линии спектра.	<b>486 нм</b>
2	Энергия связи валентного электрона атома лития в состояниях $2S$ и $2P$ равна соответственно $5,39$ и $3,54$ эВ. Вычислить ридберговские поправки для $S$ - и $P$ -термов этого атома.	<b>-0,409 -0,037</b>
3	Атом находится в состоянии, мультиплетность которого равна трем, а полный механический момент — $h \sqrt{20}$ . Каким может быть соответствующее квантовое число $L$ ?	<b>3,4,5</b>
4	Найти напряжение на рентгеновской трубке с никелевым антикатодом, если разность длин волн $K\alpha$ -линии и коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра равна $84$ пм.	<b>15 кВ</b>
5	При увеличении напряжения на рентгеновской трубке от $U_1 = 10$ кВ до $U_2 = 20$ кВ интервал длин волн между $K\alpha$ -линией и коротковолновой границей сплошного рентгеновского	<b>29</b>

	спектра увеличился в $n = 3,0$ раза. Определить порядковый номер элемента антиматериала этой трубки.	
Строение и свойства молекул		
1	Сколько процентов свободных электронов в металле при $T = 0$ имеет кинетическую энергию, превышающую половину максимальной?	<b>65</b>
2	Найти число свободных электронов, приходящихся на один атом натрия при $T = 0$ , если уровень Ферми $E_F = 3,07$ эВ и плотность натрия равна $0,97$ г/см <sup>3</sup> .	<b>0,97</b>
3	Повышение температуры катода в электронной лампе от значения $T = 2000$ К на $\Delta T = 1,0$ К увеличивает ток насыщения на $\eta = 1,4\%$ . Найти работу выхода электрона из материала катода.	<b>4,45 эВ</b>
Квантовые свойства твёрдых тел		
1	Приняв для серебра значение температуры Дебая $\theta = 208$ К, определить: максимальное значение энергии $\epsilon_m$ фонона	<b>0,018 эВ</b>
2	Приняв для серебра значение температуры Дебая $\theta = 208$ К, определить: среднее число $\langle n_m \rangle$ фононов с энергией $\epsilon_m$ при температуре $T = 300$ К.	<b>1</b>
3	Полагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон, определить: среднюю кинетическую энергию $\langle E \rangle$ свободных электронов при абсолютном нуле	<b>4,23 эВ</b>
4	Полагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон, определить: температуру $T$ , при которой средняя кинетическая энергия электронов классического электронного газа равнялась бы средней энергии свободных электронов в меди при $T = 0$ .	<b><math>32,7 \cdot 10^3</math> К</b>

#### Вопросы к экзамену

1. Порядки величин расстояний и энергий в атомных и ядерных процессах.
2. Специфика законов микромира.
3. Основные частицы, их характеристика.
4. Ядерная модель атома.
5. Опыт Резерфорда по рассеянию альфа частиц.
6. Эффективное сечение.
7. Энергия связи.

8. Обоснование возможности отдельного рассмотрения физики атома и физики ядра.
9. Стационарность и дискретность атомных состояний.
10. Опыт Франка и Герца.
11. Пространственное квантование.
12. Опыт Штерна и Герлаха.
13. Корпускулярно-волновой дуализм.
14. Эффект Комптона.
15. Гипотеза де-Бройля.
16. Дифракция электронов нейтронов, атомов.
17. Соотношение неопределенности.
18. Волновая функция.
19. Уравнение Шредингера.
20. Отличие квантово-механического и классического описания движения.
21. Простейшие одномерные задачи квантовой механики: свободное движение частицы, частица в потенциальной яме, гармонический осциллятор, прохождение частиц через потенциальный барьер.
22. Излучение и поглощение энергии.
23. Неразличимость одинаковых микрочастиц.
24. Бозоны и фермионы.
25. Принцип Паули.
26. Квантово-механическое описание водородоподобных систем.
27. Уровни энергии, волновые функции, распределение плотности вероятности.
28. Спектр атома водорода.
29. Объяснение тонкой и сверхтонкой структуры атомных спектров.
30. Электронные оболочки атома и их заполнение, физическое объяснение периодического закона.
31. Рентгеновское излучение, природа, свойства и методы исследования.
32. Действие магнитного поля на атом.
33. Эффект Зеемана.
34. Электронный парамагнитный резонанс.
35. Типы связей атомов в молекуле.
36. Порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергии.
37. Молекулярные спектры.
38. Комбинационное рассеяние.
39. Силы Ван дер Ваальса.
40. Типы связей атомов в твердых телах.
41. Энергетические зоны.
42. Проводимость твердых тел.
43. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.

## Примеры экзаменационных заданий

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Равновесное положение электрона в атоме водорода согласно модели Томпсона находится	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>в центре заряженного шара</b></li> <li>2. на поверхности заряженного шара</li> <li>3. в любой точке внутри заряженного шара</li> <li>4. в атоме Томпсона равновесное положение отсутствует</li> <li>5. положение электрона зависит от заряда</li> </ol>
2	Какой из перечисленных ниже методов позволяет измерить заряд электрона с наибольшей точностью?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. метод Милликена, основанный на измерении параметров движения заряженных капель в электрическом поле</li> <li>2. метод магнетрона</li> <li>3. измерение толщины следа электрона в камере Вильсона</li> <li>4. <b>измерении параметров движения ускоренного электрона в магнитном поле (масс-спектрометр)</b></li> <li>5. ни один из перечисленных</li> </ol>
3	При какой энергии электрон окажется тяжелее покоящегося протона? Ответ приведите в МэВ.	<b>938</b>
4	Определите энергию фотонов, соответствующих наиболее длинным волнам видимой части спектра 760 нм. Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.	<b>1.63</b>
5	Какому углу рассеяния (в градусах) соответствует максимальное комптоновское смещение длины волны?	<b>180</b>
6	Энергия фотона равна кинетической энергии электрона. Сравните их импульсы.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>импульс электрона больше, т.к. масса покоя электрона не равна нулю</b></li> <li>2. импульс фотона больше, т.к. у него больше скорость</li> <li>3. импульсы частиц равны</li> <li>4. ответ зависит от величины энергии фотона и кинетической энергии электрона</li> </ol>
7	Квантовая частица находится в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $a$ в состоянии с главным квантовым числом $n = 3$ . В каких точках частица находится не может? Правильный(е) на Ваш взгляд номер(а) ответа(ов) введите через пробел.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b><math>x = 0</math></b></li> <li>2. <math>x = a/2</math></li> <li>3. <b><math>x = a</math></b></li> <li>4. <b><math>x = a/3</math></b></li> <li>5. <b><math>x = 2a/3</math></b></li> </ol>

8	<p>В опыте Рамзауэра наблюдались аномалии в зависимости сечения рассеяния электронов на атомах благородных газов. На основании этих измерений он пришел к выводу, что</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. столкновения электронов с атомами упругие</li> <li>2. атомы можно возбудить, сообщая им только определенные порции энергии</li> <li>3. столкновения электронов с атомами неупругие</li> <li>4. атомы имеют не равный нулю магнитный момент</li> <li>5. атомы можно возбудить, сообщая им любые порции энергии</li> <li>6. <b>при малых скоростях электронов заметно проявляются их волновые свойства</b></li> <li>7. поведение атомов противоречит постулатам Бора</li> </ol>
9	<p>Какое из приведенных явлений не требует для объяснения представления о туннельном эффекте?</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. холодная эмиссия электронов из металла</li> <li>2. эффект Джозефсона</li> <li>3. <b>аномалии в зависимости сечения рассеяния электронов на атомах благородных газов (опыт Рамзауэра)</b></li> <li>4. движение электронов в твердых телах</li> <li>5. альфа-распад радиоактивных ядер</li> </ol>
10	<p>Полная энергия электрона на <math>n</math>-ом уровне определяется соотношением <math>E_n = -13.6/n^2</math> эВ. Какую наименьшую энергию нужно сообщить невозбужденному атому водорода, чтобы спектр излучения газа из таких атомов содержал только одну спектральную линию?          Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.</p>	<p><b>10.2</b></p>
11	<p>Атом водорода перешел из основного состояния в состояние с главным квантовым числом <math>n</math>, при этом абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром уменьшилась в 4 раза. При последующем переходе из состояния с главным квантовым числом <math>n</math> в состояние с главным квантовым числом <math>m</math> абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром опять уменьшилась в 4 раза. Определите <math>m</math>.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 2</li> <li>2. 4</li> <li>3. 8</li> <li>4. 16</li> </ol>
12	<p>Неподвижный атом водорода находился в первом возбужденном</p>	<p><b>10</b></p>

	состоянии с квантовым числом $n = 2$ . Поглотив фотон с энергией, равной $0.24$ энергии ионизации, атом водорода перешел в состояние с квантовым числом $m = \dots$ . Определите квантовое число конечного состояния.	
13	Система вращательных уровней энергии молекул имеет следующие характеристические особенности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями увеличивается</li> <li>2. энергия уровня основного состояния равна <math>0</math> для всех молекул</li> <li>3. энергии уровней более легких двухатомных молекул меньше, чем более тяжелых</li> <li>4. по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями уменьшается</li> </ol>
14	Вследствие аангармоничности колебаний молекул при увеличении амплитуды колебаний интервал энергий между соседними энергетическими уровнями	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. увеличивается</li> <li>2. уменьшается</li> <li>3. не изменяется</li> </ol>
15	В случае термодинамического равновесия в среде при комнатной температуре распределение молекул по колебательным уровням энергии имеет следующие закономерности:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. большинство молекул характеризуется максимально возможной энергией</li> <li>2. большинство молекул имеют энергию <math>(3/2)kT</math></li> <li>3. молекулы распределены по колебательным уровням энергии в соответствии с формулой Больцмана;</li> <li>4. количество молекул монотонно убывает по мере возрастания номера колебательного уровня энергии</li> </ol>
16	О нулевых колебаниях молекул можно сказать, что:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. колебательное движение отсутствует</li> <li>2. амплитуда колебаний равна нулю</li> <li>3. это колебания при <math>T = 0</math></li> <li>4. это колебания с минимально возможной амплитудой</li> <li>5. это колебания с минимально возможной энергией</li> </ol>
17	Относительно уровня Ферми можно сказать, что это:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. энергия взаимодействия электронов с решеткой кристалла</li> <li>2. суммарная кинетическая энергия свободных электронов кристалла при <math>T</math> равно или больше <math>0</math></li> <li>3. кинетическая энергия наиболее высокоэнергетических свободных электронов кристалла при <math>T = 0</math></li> <li>4. энергия электронного уровня кристалла в модели свободных электронов, вероятность заполнения которого <math>1/2</math></li> </ol>

18	Электроны в зоне проводимости металла	<ol style="list-style-type: none"><li>1.равномерно распределяются по всем возможным состояниям</li><li>2.заполняют подряд <b>все низколежащие состояния вплоть до энергии Ферми</b></li><li>3.заполняют подряд все высоколежащие состояния с энергиями, превышающими энергию Ферми</li><li>4.имеют одну энергию, называемую энергией Ферми</li><li>5.располагаются вблизи дна зоны</li></ol>
----	---------------------------------------	--

**Типовые контрольные вопросы для промежуточной аттестации**

1. Порядки величин расстояний и энергий в атомных и ядерных процессах.
2. Специфика законов микромира.
3. Основные частицы, их характеристика.
4. Ядерная модель атома.
5. Опыт Резерфорда по рассеянию альфа частиц.
6. Эффективное сечение.
7. Энергия связи.
8. Обоснование возможности отдельного рассмотрения физики атома и физики ядра.
9. Стационарность и дискретность атомных состояний.
10. Опыт Франка и Герца.
11. Пространственное квантование.
12. Опыт Штерна и Герлаха.
13. Корпускулярно-волновой дуализм.
14. Эффект Комптона.
15. Гипотеза де-Бройля.
16. Дифракция электронов нейтронов, атомов.
17. Соотношение неопределенности.
18. Волновая функция.
19. Уравнение Шредингера.
20. Отличие квантово-механического и классического описания движения.
21. Простейшие одномерные задачи квантовой механики: свободное движение частицы, частица в потенциальной яме, гармонический осциллятор, прохождение частиц через потенциальный барьер.
22. Излучение и поглощение энергии.
23. Неразличимость одинаковых микрочастиц.
24. Бозоны и фермионы.
25. Принцип Паули.
26. Квантово-механическое описание водородоподобных систем.
27. Уровни энергии, волновые функции, распределение плотности вероятности.
28. Спектр атома водорода.
29. Объяснение тонкой и сверхтонкой структуры атомных спектров.
30. Электронные оболочки атома и их заполнение, физическое объяснение периодического закона.
31. Рентгеновское излучение, природа, свойства и методы исследования.
32. Действие магнитного поля на атом.
33. Эффект Зеемана.
34. Электронный парамагнитный резонанс.
35. Типы связей атомов в молекуле.
36. Порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергии.
37. Молекулярные спектры.
38. Комбинационное рассеяние.
39. Силы Ван дер Ваальса.
40. Типы связей атомов в твердых телах.
41. Энергетические зоны.
42. Проводимость твердых тел.
43. Сверхпроводимость и сверхтекучесть и их квантовая природа.

**Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации**

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
1	Равновесное положение электрона в атоме водорода согласно модели Томпсона находится	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>в центре заряженного шара</b></li> <li>2. на поверхности заряженного шара</li> <li>3. в любой точке внутри заряженного шара</li> <li>4. в атоме Томпсона равновесное положение отсутствует</li> <li>5. положение электрона зависит от заряда</li> </ol>
2	Какой из перечисленных ниже методов позволяет измерить заряд электрона с наибольшей точностью?	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. метод Милликена, основанный на измерении параметров движения заряженных капель в электрическом поле</li> <li>2. метод магнетрона</li> <li>3. измерение толщины следа электрона в камере Вильсона</li> <li>4. <b>измерении параметров движения ускоренного электрона в магнитном поле (масс-спектрометр)</b></li> <li>5. ни один из перечисленных</li> </ol>
3	При какой энергии электрон окажется тяжелее покоящегося протона? Ответ приведите в МэВ.	<b>938</b>
4	Определите энергию фотонов, соответствующих наиболее длинным волнам видимой части спектра 760 нм. Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.	<b>1.63</b>
5	Какому углу рассеяния (в градусах) соответствует максимальное комптоновское смещение длины волны?	<b>180</b>
6	Энергия фотона равна кинетической энергии электрона. Сравните их импульсы.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>импульс электрона больше, т.к. масса покоя электрона не равна нулю</b></li> <li>2. импульс фотона больше, т.к. у него больше скорость</li> <li>3. импульсы частиц равны</li> <li>4. ответ зависит от величины энергии фотона и кинетической энергии электрона</li> </ol>
7	Квантовая частица находится в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной $a$ в состоянии с главным квантовым числом $n = 3$ . В каких точках частица находиться не может? Правильный(е) на Ваш взгляд номер(а) ответа(ов) введите через пробел.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b><math>x = 0</math></b></li> <li>2. <math>x = a/2</math></li> <li>3. <b><math>x = a</math></b></li> <li>4. <b><math>x = a/3</math></b></li> <li>5. <b><math>x = 2a/3</math></b></li> </ol>
8	В опыте Рамзауэра наблюдались аномалии в зависимости сечения	1. столкновения электронов с атомами уругие

	<p>рассеяния электронов на атомах благородных газов. На основании этих измерений он пришел к выводу, что</p>	<p>2. атомы можно возбудить, сообщая им только определенные порции энергии</p> <p>3. столкновения электронов с атомами неупругие</p> <p>4. атомы имеют не равный нулю магнитный момент</p> <p>5. атомы можно возбудить, сообщая им любые порции энергии</p> <p><b>6. при малых скоростях электронов заметно проявляются их волновые свойства</b></p> <p>7. поведение атомов противоречит постулатам Бора</p>
9	<p>Какое из приведенных явлений не требует для объяснения представления о туннельном эффекте?</p>	<p>1. холодная эмиссия электронов из металла</p> <p>2. эффект Джозефсона</p> <p><b>3. аномалии в зависимости сечения рассеяния электронов на атомах благородных газов (опыт Рамзауэра)</b></p> <p>4. движение электронов в твердых телах</p> <p>5. альфа-распад радиоактивных ядер</p>
10	<p>Полная энергия электрона на <math>n</math>-ом уровне определяется соотношением <math>E_n = -13.6/n^2</math> эВ. Какую наименьшую энергию нужно сообщить невозбужденному атому водорода, чтобы спектр излучения газа из таких атомов содержал только одну спектральную линию?          Ответ в эВ дайте с точностью до трех значащих цифр.</p>	<p><b>10.2</b></p>
11	<p>Атом водорода перешел из основного состояния в состояние с главным квантовым числом <math>n</math>, при этом абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром уменьшилась в 4 раза. При последующем переходе из состояния с главным квантовым числом <math>n</math> в состояние с главным квантовым числом <math>m</math> абсолютная величина потенциальной энергии взаимодействия электрона с ядром опять уменьшилась в 4 раза. Определите <math>m</math>.</p>	<p>1. 2</p> <p>2. <b>4</b></p> <p>3. 8</p> <p>4. 16</p>
12	<p>Неподвижный атом водорода находился в первом возбужденном состоянии с квантовым числом <math>n = 2</math>. Поглотив фотон с энергией, равной</p>	<p><b>10</b></p>

	0.24 энергии ионизации, атом водорода перешел в состояние с квантовым числом $m = \dots$ . Определите квантовое число конечного состояния.	
13	Система вращательных уровней энергии молекул имеет следующие характеристические особенности	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями увеличивается</li> <li>2. энергия уровня основного состояния равна 0 для всех молекул</li> <li>3. энергии уровней более легких двухатомных молекул меньше, чем более тяжелых</li> <li>4. по мере увеличения энергии интервал между соседними уровнями уменьшается</li> </ol>
14	Вследствие аангармоничности колебаний молекул при увеличении амплитуды колебаний интервал энергий между соседними энергетическими уровнями	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. увеличивается</li> <li>2. уменьшается</li> <li>3. не изменяется</li> </ol>
15	В случае термодинамического равновесия в среде при комнатной температуре распределение молекул по колебательным уровням энергии имеет следующие закономерности:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. большинство молекул характеризуется максимально возможной энергией</li> <li>2. большинство молекул имеют энергию <math>(3/2)kT</math></li> <li>3. молекулы распределены по колебательным уровням энергии в соответствии с формулой Больцмана;</li> <li>4. количество молекул монотонно убывает по мере возрастания номера колебательного уровня энергии</li> </ol>
16	О нулевых колебаниях молекул можно сказать, что:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. колебательное движение отсутствует</li> <li>2. амплитуда колебаний равна нулю</li> <li>3. это колебания при <math>T = 0</math></li> <li>4. это колебания с минимально возможной амплитудой</li> <li>5. это колебания с минимально возможной энергией</li> </ol>
17	Относительно уровня Ферми можно сказать, что это:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. энергия взаимодействия электронов с решеткой кристалла</li> <li>2. суммарная кинетическая энергия свободных электронов кристалла при <math>T</math> равно или больше 0</li> <li>3. кинетическая энергия наиболее высокоэнергетических свободных электронов кристалла при <math>T = 0</math></li> <li>4. энергия электронного уровня кристалла в модели свободных электронов, вероятность заполнения которого <math>1/2</math></li> </ol>
18	Электроны в зоне проводимости металла	1. равномерно распределяются по всем возможным состояниям

		<p>2.заполняют <b>поряд</b> <b>все</b> <b>низколежащие состояния вплоть до</b> <b>энергии Ферми</b></p> <p>3.заполняют <b>поряд</b> все высоколежащие состояния с энергиями, превышающими энергию Ферми</p> <p>4.имеют одну энергию, называемую энергией Ферми</p> <p>5.располагаются вблизи дна зоны</p>
--	--	---

