

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 14:25:05  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Атомная физика**

Направление подготовки

03.03.03 Физика

профиль

Физика и технология радиоэлектронных приборов и устройств

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н., доцент Шуклов А.Д.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Атомная физика

### **2. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является:

создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики и специализированных курсов.

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных принципов квантовой механики и явлений, происходящих на атомном уровне;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений;
- постановка и анализ задачи, применение различных методов решения.

### **3. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина входит в базовую часть учебного плана. «Модуль 2. Дисциплины, формирующие общепрофессиональные компетенции».

Общий курс «Атомная физика» ставит перед собой целью познакомить студентов с физическими основаниями квантовой теории дать представление о математическом аппарате волновой механики, научить использовать квантовые представления для анализа атомных явлений. Выпускник физико-технического факультета, изучивший курс, должен иметь полное представление об основных результатах и современных тенденциях развития физики атома и молекул, твердого тела. В первую очередь это касается: квантования энергии атомов и молекул, его отражение в атомах и молекулярных спектрах, квантовой классификации атомных и молекулярных термов, туннельного эффекта и дифракционных эффектов, различных приближений в атомной физике и физике твердого тела. Уровень начальной

подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины: иметь представление об основных понятиях и законах атомной физики в рамках программы средней школы; Знать алгебру, геометрию и основы математического анализа в рамках программы средней школы и 2-го курса университета.

Теоретические дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: общий физический практикум, курсы общей и теоретической физики.

**4. Объем дисциплины:** 3 зачетных единицы, 108 академических часов, в том числе **контактная работа:** лекции 36 часов, практические занятия 18 часов; **самостоятельная работа:** 54 часа.

**5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

<b>Формируемые компетенции</b>	<b>Требования к результатам обучения</b> В результате изучения дисциплины студент должен:
ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности	<b>Владеть:</b> методами решения типичных задач на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения <b>Уметь:</b> не предусмотрено <b>Знать:</b> основные законы и формулы, типичные алгоритмы решения задач
ОПК-2: Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	<b>Владеть:</b> способностью использовать законы атомной физики на практике <b>Уметь:</b> не предусмотрено <b>Знать:</b> основные законы и формулы

**6. Форма промежуточной аттестации** экзамен в 5 семестре.

**7. Язык преподавания** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические работы (час.)	
1. Введение. Атомная физика как физика квантовых явлений. Порядки величин расстояний и энергий для атомно-молекулярных процессов.	5	3	1	1
2. Корпускулярные свойства излучения. Фотоэффект. Эффект Комптона. Спектры испускания и поглощения. Спектральные серии. Комбинаторный принцип. Опыты Франка-Герца. Постулаты Бора.	8	4	2	2
3. Волновые свойства частиц. Дифракция электронов. Принцип неопределенности. Процесс измерения в микромире.	7	3	2	2
4. Основы квантовой механики. Волновая функция. Операторы квантовой механики. Уравнение Шредингера. Частица в одномерной потенциальной яме. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор. Колебания молекул. ...	8	4	2	2
5. Момент импульса в квантовой теории. Векторная модель. Пространственное квантование. Жесткий ротатор. Вращение молекул. Вращательная структура колебательных спектров.	8	4	2	2
6. Водородоподобные атомы. Полуклассическая теория. Изотопический сдвиг. Позитроний и мезоатомы. Квантовая теория атома водорода	9	3	3	3

7 Спин и магнитный момент электрона. Опыты Штерна-Герлаха. Магнитный момент электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атомных спектров.	8	4	2	2
8. Многоэлектронные атомы. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле. Принцип Паули. Периодическая система элементов. Рентгеновские спектры. Классификация атомных термов. Правило Хунда	8	4	2	2
9. Изучение атомов. Спин фотона. Правила отбора при излучении атома. Ширина спектральных линий. Спонтанное и вынужденное излучение. Квантовые усилители и генераторы. Типы лазеров. Эффект Зеемана	5	3	1	1
10. Твердое состояние вещества. Приближения сильной и слабой связи. Энергетические зоны. Полупроводниковые материалы. Колебания решетки. Приближение Дебая.	6	4	1	1
Экзамен	36			36
ИТОГО	108	36	18	54

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

– планы практических (семинарских) занятий.

– сборники задач.

– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса «Атомная физика» могут сдать экзамен по итогам рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе

обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-1: способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности.**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
Промежуточный	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
начальный	Решить задачу: Для некоторого металла красная граница фотоэффекта в $k=1,2$ раза меньше частоты падающего излучения. Определить работу выхода электрона (в эВ) из данного металла, если максимальная скорость фотоэлектронов равна $v_m=6 \cdot 10^5$ м/сек.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу фотоэффекта и уверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения. Получает	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу фотоэффекта. Неуверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу фотоэффекта. С трудом применяет ее, записывая необходимые соотношения.

		решение.	Получает решение.	
	Решите задачу: Найти коммутатор $[x, L_z]$	Понимает математический аппарат квантовой теории, и записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, и с трудом записывает основные соотношения квантовой механики. Получает неправильный ответ.
	<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Знать постулаты Бора.	Знает постулаты Бора. Умеет правильно построить энергетическую диаграмму атома.	Знает постулаты Бора. Неуверенно строит энергетическую диаграмму атома.	Знает постулаты Бора. Но не умеет правильно построить энергетическую диаграмму атома.
	Спин и магнитный момент электрона.	Имеет четкие представления о собственном механическом (спине) и магнитном моменте электрона.	Имеет четкие представления о собственном механическом (спине) и магнитном моменте электрона.	Имеет некоторые представления о собственном механическом (спине) и магнитном моменте электрона. И не умеет оценивать

		И умеет оценивать величину эффектов, связанных со спином.	И с трудом оценивает величину эффектов, связанных со спином.	величину эффектов, связанных со спином.
--	--	---	--	---

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 2: Способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
Промежуточный	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
начальный	Решить задачу: Дейтрон и ион гелия прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов. Найти отношение длин волн де-Бройля для этих частиц.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу для расчета длины волны де-Бройля. Получает решение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу для расчета длины волны де-Бройля. Неуверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает формулу для расчета длины волны де-Бройля. С трудом применяет ее, записывая необходимые соотношения.



			Получает решение.	
Решите задачу: Найти коммутатор $[x, H]$	Понимает математический аппарат квантовой теории, и записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, и с трудом записывает основные соотношения квантовой механики. Получает неправильный ответ.
<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>	
Знать основные положения волновой механики.	Знает основные положения волновой механики. Умеет правильно оценивать средние значения наблюдаемых физических величин.	Знает основные положения волновой механики. Умеет правильно оценивать средние значения наблюдаемых физических величин в основных частных случаях.	Знает основные положения волновой механики. Но не умеет оценивать средние значения наблюдаемых физических величин.	
Спектр щелочных металлов.	Имеет четкие представления о строении	Имеет четкие представления о строении	Имеет некоторые представления о строении	

		атомов щелочных металлов. Умеет оценивать спектроскопическую частоту различных спектральных серий.	атомов щелочных металлов. Не уверенно рассчитывает спектроскопическую частоту различных спектральных серий.	атомов щелочных металлов. Рассчитывает спектроскопическую частоту в наиболее простых случаях.
--	--	--	---	---

*Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.*

1. Интернет-ресурс «Ядерная физика в Интернете»

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

#### **1. Текущий контроль успеваемости**

*Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:*

#### **ОПК 1:**

1. Фотоэффект.
2. Спектры испускания и поглощения.
3. Столкновение электронов с атомами. опыты Франка и Герца.
4. Изотопический сдвиг.
5. Дифракция электронов. опыты Девиссона-Джермера и Томсона.
6. Влияние опыта на состояние микрочастиц. Принцип неопределенности.
7. Операторы основных физических величин.
8. Частица в одномерной потенциальной яме.
9. Колебательные спектры двухатомных молекул.
10. Эффект Рамзауэра
11. Жесткий ротатор. Вращение молекул.
12. Спин и магнитный момент электрона.
13. Спектры щелочных металлов.
14. Заполнение электронных оболочек. Периодическая система элементов.
15. Рентгеновские спектры.
16. Ширина спектральных линий.
17. Поглощение электромагнитных волн в равновесных и неравновесных квантовых системах.

## 18. Магнитный момент атома.

### ОПК 2:

1. Эффект Комптона.
2. Постулаты Бора.
3. Боровская теория атома водорода.
4. Гипотеза де Бройля.
5. Статистическая интерпретация волновой функции.
6. Одномерное уравнение Шредингера.
7. Колебательные спектры двухатомных молекул.
8. Туннельный эффект.
9. Эффект Рамзауэра
10. Квантование момента импульса.
11. Жесткий ротатор. Вращение молекул.
12. Квантовая теория атома водорода.
13. Спин и магнитный момент электрона.
14. Спин орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атома водорода.
15. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле.
16. Спектроскопические обозначения атомных термов.
17. Правила отбора при изучении атомов.
18. Спонтанное и вынужденное излучение
19. Квантовые генераторы.
20. Эффект Зеемана

*Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается решить следующие задачи:*

### ОПК 1:

1. Кинетическая энергия электрона на второй боровской орбите водородоподобного иона  $Li^{++}$  (в эВ) равна  
1. 25,4; 2. 30,6; 3. 35,4; 4. 20,6
2. Радиус 1-ой орбиты электрона в атоме водорода  $0,53 \cdot 10^{-10}$  м, а радиус 2-ой орбиты (в  $10^{-10}$  м):  
1. 3,18; 2. 1,06; 3. 2,12; 4. 5,30; 5. 4,24.
3. Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром иона  $Li^{++}$  в первом возбужденном состоянии ( $n=2$ ) (в э.в.) равна:  
1. -81,2; 2. -71,2; 3. -61,2; 4. -91,2.
4. При радиационном захвате электрона с кинетической энергией 0,6 э.в. ионом водорода на первый уровень возбуждения ( $n=2$ , энергия связи  $E_2 = -3,40$  э.в.,  $e^- + H^+ \rightarrow H + \gamma$ ) вылетает фотон с энергией (в э.в.)  
1. 3,0; 2. 5,2; 3. 4,0; 4. 3,6.

5. Спектральной серии Бальмера  $\nu_{kn}$  соответствует (при  $k < n$ )
1.  $\nu_{1n} = R(1/1^2 - 1/n^2)$ ; 2.  $\nu_{3n} = R(1/3^2 - 1/n^2)$ ; 3.  $\nu_{4n} = R(1/4^2 - 1/n^2)$ ; 4.  $\nu_{2n} = R(1/2^2 - 1/n^2)$ .
6. Полный момент импульса  $|j|$  электрона в атоме определяется формулой
1.  $\hbar(j+1)^{1/2}$ ; 2.  $\hbar(j(j+1))^{1/2}$ ; 3.  $\hbar(j+1)$ ; 4.  $\hbar \cdot j(j+1)$ .
7. Полная энергия электрона во втором возбужденном состоянии иона  $\text{He}^{++}$  (в эВ):
1. -7,04; 2. -6,04; 3. -9,04; 4. -8,04.
8. Минимальная кинетическая энергия электрона, локализованного в области размером  $0,52 \cdot 10^{-10}$  м, не менее (в эВ):
1. 45,3; 2. 34,4; 3. 67,1; 4. 56,2.
9. Если внутреннее квантовое число в атоме водорода  $j=3/2$ , то соответствующий механический момент импульса равен:
1.  $\sqrt{15} \hbar/2$ ; 2.  $\sqrt{11} \hbar/2$ ; 3.  $\sqrt{17} \hbar/2$ ; 4.  $\sqrt{19} \hbar/2$ .
10. В спектральной серии Лаймена атома водорода энергия фотона второй линии составляет (в эВ):
1. 9,09; 2. 12,09; 3. 11,2; 4. 13,09.
11. Орбитальному механическому моменту электрона  $\hbar 2^{1/2}$  соответствует орбитальное квантовое число  $l$ , равное:
1. 2; 2. 1; 3. 1/2; 4. 0.
12. Магнитному моменту атома  $\mu_j = (3/5)^{1/2} \mu_B$  (множитель Ланде  $g=2/5$ ) соответствует полное квантовое число  $J$ :
1. 5/2; 2. 1/2; 3. 3/2; 4. 7/2.
13. Граничной линии спектральной серии Лаймана соответствует длина волны (в единицах  $1/R$ , где  $R$  – постоянная Ридберга):
1. 3; 2. 2; 3. 4; 4. 1.
14. При  $l=1$  максимальное значение полного момента импульса электрона  $|j|$ :
1.  $\sqrt{13} \hbar/2$ ; 2.  $\sqrt{14} \hbar/2$ ; 3.  $\sqrt{15} \hbar/2$ ; 4.  $\sqrt{7} \hbar/2$ .
15. Орбитальному магнитному моменту электрона  $\mu_B 2^{1/2}$  соответствует орбитальное квантовое число  $l$ :
1. 3; 2. 1; 3. 2; 4. 0.
16. Энергия частицы  $E_n$ , находящейся в потенциальной яме шириной  $L$  и с бесконечно высоким потенциалом, выражается формулой:
1.  $\hbar^2 n^2 / 2mL^2$ ; 2.  $\pi \hbar n^2 / 2mL^2$ ; 3.  $\hbar^2 n^2 / 8mL^2$ ; 4.  $\pi \hbar n / 2mL^2$
17. Число компонент, на которое расщепляется терм с внутренним квантовым числом  $j$  в слабом магнитном поле, составляет:
1.  $j-1$ ; 2.  $j+1$ ; 3.  $2j-1$ ; 4.  $2j+1$ .
18. Полный момент импульса электрона в состоянии с внутренним квантовым числом  $j=3/2$ :
1.  $\sqrt{19} \hbar/2$ ; 2.  $\sqrt{17} \hbar/2$ ; 3.  $\sqrt{15} \hbar/2$ ; 4.  $\sqrt{3} \hbar/2$ .
19. Полному моменту импульса электрона  $3^{1/2} \hbar/2$  соответствует внутреннее квантовое число  $j$ :
1. 7/2; 2. 3/2; 3. 1/2; 4. 5/2.

## ОПК 2:

1. Длина волны де Бройля  $\lambda$  для нерелятивистского электрона:  
1.  $h/(2m_0E)^{1/2}$ ; 2.  $h/(2m_0E)^{1/2}$ ; 3.  $h/(2m_0c^2E)^{1/2}$ ; 4.  $c/(2m_0E)^{1/2}$
2. Возможная мультиплетность атомов H, He, Li соответственно равна  
1. 1, 2, 1; 2. 2, 1, 2; 3. 1, 4, 5; 4. 3, 2, 4.
3. Энергия первого основного состояния квантового гармонического осциллятора E:  
1.  $\hbar\omega$ ; 2.  $2\hbar\omega$ ; 3.  $3/2 \hbar\omega$ ; 4.  $5/2 \hbar\omega$ .
4. Длина волны фотона с релятивистской массой  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг равна (в  $10^{-12}$  м)  
1. 2,75; 2. 1,83; 3. 2,42; 4. 2,04.
5. При  $l=1$  внутреннее квантовое число  $j$  принимает значения  
1.  $3/2, 5/2$ ; 2.  $-3/2, -1/2$ ;  $1/2, 3/2$ ; 3.  $1/2, 3/2$ ; 4.  $-1, 0, 1$ .
6. Скорость электрона на 1-ой орбите атома водорода  $2,2 \cdot 10^6$  м/с, а на 2-ой орбите:  
1.  $2,75 \cdot 10^5$ ; 2.  $0,55 \cdot 10^6$ ; 3.  $1,1 \cdot 10^6$ ; 4.  $1,38 \cdot 10^5$ .
7. Терм с  $l=2$  при простом эффекте Зеемана в магнитном поле расщепляется на число компонент:  
1. 5; 2. 2; 3. 4; 4. 3.
8. Длина волны де Бройля электрона, находящегося на третьем энергетическом уровне атома водорода, равна (в нм):  
1. 3; 2. 0,8; 3. 1; 4. 2.
9. Период обращения электрона по 1-ой орбите в атоме водорода  $1,2 \cdot 10^{-16}$  с, а период обращения по 2-ой орбите (в  $10^{-16}$  с):  
1. 9,6; 2. 12,6; 3. 7,2; 4. 2,4; 5. 4,8.
10. Число электронов в состоянии с внутренним квантовым числом  $j=5/2$ :  
1. 4 и 12; 2. 10 и 14; 3. 6 и 10; 4. 2 и 6.
11. Максимальное изменение длины волны фотона  $\Delta\lambda$  при комптоновском рассеянии на свободном протоне (для протона  $\lambda_c=1,32 \cdot 10^{-15}$  м) равно (в ед.  $10^{-15}$  м):  
1. 5,64; 2. 4,64; 3. 2,64; 4. 1,64.
12. В результате комптоновского рассеяния длина волны  $\lambda_0$  фотона с энергией  $E_\phi=0,5$  МэВ увеличилась на  $\Delta\lambda=0,25 \lambda_0$ . При этом электрон получил энергию отдачи  $E_e$  (в эВ):

1. 0,30; 2. 0,25; 3. 0,15; 4. 0,1.

13. Фотон с энергией примерно 12 эВ выбивает электрон из иона  $\text{He}^+$ , находящегося во втором возбужденном состоянии ( $n=3$ ). Кинетическая энергия выбитого электрона (в эВ) равна:

1. 8,96; 2. 6,96; 3. 5,96; 4. 7,96.

14. Максимальная энергия фотоэлектронов из цезия 5,11 эВ (работа выхода для цезия 1,89 эВ). Энергия поглощенного фотона равна (эВ):

1. 8,0; 2. 6,5; 3. 7,5; 4. 7,0.

15. Энергия (в эВ) и момент импульса (в  $10^{-34}$  дж·с) электрона атома водорода в состоянии  $4p$ :

1. 0,85 и 1,48; 2. 1,12 и 1,24; 3. 2,05 и 1,05; 4. 0,78 и 0,94.

16. Собственному магнитному моменту электрона  $\mu_s = \sqrt{35} \mu_B$  соответствует спиновое квантовое число  $S$ :

1. 2; 2. 1/2; 3. 5/2; 4. 3/2.

17. Линии спектральной серии Бальмера атома водорода расположены в пределах спектральной области ( $R$  – постоянная Ридберга):

1. от  $5/36R$  до  $1/4R$ ; 2. от  $7/36R$  до  $4/5R$ ; 3. от  $13/46R$  до  $7/8R$ ; 4. от  $8/36R$  до  $3/8R$ .

18. Кинетическая энергия электрона, вырванного из иона фотонами с энергией 60 эВ, равна (в эВ):

1. 7,4; 2. 4,6; 3. 6,4; 4. 5,6.

19. При радиационном захвате электрона с кинетической энергией 0,4 эВ ионом  $\text{He}^+$  на основной уровень ( $1s$ , энергия ионизации атома гелия  $E_1=24,6$  эВ;  $e^- + \text{He}^+ \rightarrow \text{He} + \gamma$ ) вылетит фотон с энергией (в эВ):

1. 20; 2. 30; 3. 25; 4. 24.

20. Для «красной» границы фотоэффекта на серебре (работа выхода 4,28 эВ) длина волны  $\lambda$  (в нм) ( $h=4,14 \cdot 10^{-15}$  эВ·с)

1. 305; 2. 270; 3. 290; 4. 350.

21. Механическому моменту импульса  $M_l$  соответствует магнитный момент электрона  $\mu_e$  ( $q_l$  – множитель Ланде):

1.  $q_l \mu_B (l+1)^{1/2}$ ; 2.  $q_l \mu_B (l+1)$ ; 3.  $q_l \mu_B (l(l+1))^{1/2}$ ; 4.  $q_l \mu_B (l(l+1))$ .

22. При возбуждении атомарного водорода электронами с энергией 14 эВ появятся только линии:

1. серии Пашена; 2. серии Бальмера; 3. серии Лаймена; 4. все линии линейчатого спектра атома водорода.

23 Линия  $K_{\alpha}$  в рентгеновском спектре вольфрама имеет длину волны  $\lambda=0,21\text{Å}$ , которой соответствует энергия (в кэВ):

1. 0,450; 2. 0,591; 3. 0,502; 4. 0,692.

24 В спектральной серии Лаймана граничной линии испускания ( $n=\infty$ ) соответствует энергия  $\hbar\nu_{\text{гр}}$  (в эВ):

1. 9,6; 2. 13,6; 3. 10,6; 4. 11,2.

25 . Длина волны фотона с релятивистской массой  $9,1\cdot 10^{-31}\text{кг}$  равна (в  $10^{-12}\text{м}$ ):

1. 1,83; 2. 2,75; 3. 2,04; 4. 2,42.

26 Высшая мультиплетность атома  $^{11}_5\text{В}$ :

1. 2; 2. 1; 3. 3; 4. 4.

27 Гамма квант с длиной волны  $10^{-15}\text{м}$  имеет массу (в кг) ( $\hbar=6,62\cdot 10^{-34}\text{Дж}\cdot\text{с}$ )

1.  $2,0\cdot 10^{-28}$ ; 2.  $2,2\cdot 10^{-27}$ ; 3.  $1,2\cdot 10^{-27}$ ; 4.  $1,5\cdot 10^{-27}$ .

28 . Работа выхода электрона с поверхности вольфрама 4,5 эВ. Соответствующая длина волны красной границы фотоэффекта (в нм) составляет ( $\hbar=4,14\cdot 10^{-15}\text{эВ}\cdot\text{с}$ ):

1. 2760; 2. 2600; 3. 2500; 4. 2860.

29 . Неопределенность скорости электрона, локализованного в водородоподобном ионе  $\text{He}^+$ , линейный размер которого  $0,22\cdot 10^{-10}\text{м}$ , составляет ( $\hbar=1,055\cdot 10^{-34}\text{Дж}\cdot\text{с}$ , масса электрона  $9,1\cdot 10^{-31}\text{кг}$ ) (в м/с):

1.  $4,48\cdot 10^6$ ; 2.  $6,45\cdot 10^6$ ; 3.  $5,46\cdot 10^6$ ; 4.  $7,45\cdot 10^6$ .

## 2. Промежуточная аттестация

*Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:*

### ОПК 1:

1. Фотоэффект.
2. Спектры испускания и поглощения.
3. Постулаты Бора.
4. Столкновение электронов с атомами. Опыты Франка и Герца.
5. Боровская теория атома водорода.
6. Гипотеза де Бройля.
7. Частица в одномерной потенциальной яме.
8. Колебательные спектры двухатомных молекул.
9. Жесткий ротатор. Вращение молекул.
10. Спин и магнитный момент электрона.

## ОПК 2:

1. Эффект Комптона.
2. Дифракция электронов. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона.
3. Статистическая интерпретация волновой функции.
4. Операторы основных физических величин.
5. Туннельный эффект.
6. Квантовая теория атома водорода.
7. Спин и магнитный момент электрона.
8. Спин орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атома водорода.
9. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле.
10. Спектроскопические обозначения атомных термов.

*Задачи для проверки умений при освоении дисциплины.*

## ОПК 1:

1. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету с длиной волны  $\lambda=600\text{нм}$  составляет  $P=1,7\cdot 10^{-18}$  Вт. Сколько фотонов должно падать ежесекундно на сетчатку, чтобы свет был воспринят?
2. Радиопередатчик мощностью  $P=1\text{Мвт}$  излучает на частоте  $\nu=1\text{МГц}$ . Какова энергия в электрон-вольтах каждого излучаемого кванта. Сколько квантов излучается за каждый период колебаний?
3. Фотон, импульс которого  $p$  сталкивается с покоящимся электроном и отлетает под углом  $\theta$  к первоначальному направлению движения. Найти импульс фотона после столкновения.
4. Для некоторого металла красная граница фотоэффекта в  $k=1,2$  раза меньше частоты падающего излучения. Определить работу выхода электрона (в эВ) из данного металла, если максимальная скорость фотоэлектронов равна  $v_m=6\cdot 10^5\text{м/сек}$ .
5. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны  $\lambda=1,2\cdot 10^{-5}\text{см}$ . определить радиус орбиты электрона  $r$  возбужденного атома.
6. При увеличении энергии электрона на 500 эВ его дебройлевская длина изменилась в два раза. Найти первоначальную длину волны электрона.
7. Оценить для электрона, локализованного в области размером  $l=0,5\text{мкм}$ , относительную неопределенность скорости  $\Delta v/v$ ? Если его кинетическая энергия  $\epsilon_{\text{кин}}=5$  эВ.
8. Найти коммутатор  $[\mathbf{H}, \mathbf{p}_x]$ , где  $\mathbf{H}=\mathbf{p}_x^2/2m+U(x)$ .



9. Найти температуру, при которой средняя энергия поступательного движения молекулы  $N_2$  равна их вращательной энергии в состоянии с квантовым числом  $l=5$ . ( $r_0=1,1 \text{ \AA}$ ).

10. Найти угловую скорость вращения в состоянии с  $l=5$  молекулы  $CO$  ( $r_0=1,13 \text{ \AA}$ ).

## ОПК 2:

1. В результате столкновения фотона и электрона, летящих по взаимно перпендикулярным направлениям, электрон остановился, а длина волны фотона изменилась на  $\eta=10\%$ . Чему был равен импульс фотона?
2. Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0=234\text{ нм}$  в  $k=1,3$  раза больше длины волны излучения, вызвавшего фотоэффект. Какая максимальная скорость фотоэлектронов?
3. Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное, получив энергию  $E=12,8 \text{ эВ}$ . Какова наибольшая длина волны, которую может теперь излучить атом водорода?
4. Какую дополнительную энергию необходимо сообщить электрону с импульсом  $15 \text{ кэВ/с}$ , чтобы его длина волны стала  $\lambda=0,5 \text{ \AA}$ .
5. Найти коммутатор  $[x, L_z]$ .
6. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0 < x < l$ ,  $l=2 \text{ \AA}$ ). Найти частоту фотона испускаемого при переходе электрона из 1-го возбужденного состояния в основное. Чему равна величина  $\langle x^2 \rangle$  в 1-ом возбужденном состоянии?
7. Найти разность энергий (эВ) состояний с квантовыми числами  $n=1, J=1$  и  $n=0, J=6$  у молекулы  $OH$  ( $r_0=0,97 \text{ \AA}$ ;  $\nu_{\text{кол}}=3735 \text{ см}^{-1}$ ).
8. Найти разность энергий в (эВ) состояний с квантовыми числами  $n=1, l=0$  и  $n=0, l=5$  у молекулы  $CO$  ( $r_0=1,13 \text{ \AA}$ ;  $\nu_{\text{кол}}=2310 \text{ см}^{-1}$ ).
9. Головная линия резкой серии атомарного цезия представляет собой дублет с длинами волн  $\lambda_1=1469,5 \text{ \AA}$  и  $\lambda_2=1358,8 \text{ \AA}$ . Найти расщепление (э.в.) бр уровня атома цезия.
10. Длины волн желтого дублета натрия  $\lambda_1=589,00\text{ нм}$  и  $\lambda_2=589,59\text{ нм}$ . Найти для 3P уровня расщепление  $\Delta E$  (эВ), обусловленное спин-орбитальным взаимодействием.

## **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) основная литература:

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц. М.: Физматлит, 2006 Электронный ресурс. – Режим доступа: [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_red&id=82991&sr=1](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=82991&sr=1)
2. Шпольский Э.В. Атомная физика. Том 1, 2. Введение в атомную физику [Электронный ресурс]: учеб. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 560 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/442>

б) дополнительные источники

1. Фриш С. Э. Курс общей физики. В 3-х тт. Т.3. Оптика. Атомная физика [Электронный ресурс] : учеб. — Санкт-Петербург : Лань, 2008. — 656 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/419>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

1. Ядерная физика в Интернете <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>
2. Электронная библиотека издательства Лань: <http://e.lanbook.com/>
3. Университетская библиотека ONLINE: <http://www.biblioclub.ru/>
4. Сайт издательского дома ЮРАЙТ: <http://www.biblio-online.ru/>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

*– планы практических занятий:*

**Семинар 1:** Решение задач на тему «Квантовые свойства излучения». Примеры задач:

11. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету с длиной волны  $\lambda=600\text{нм}$  составляет  $P=1,7 \cdot 10^{-18}$  Вт. Сколько фотонов должно падать каждую секунду на сетчатку, чтобы свет был воспринят?
12. Фотон, импульс которого  $p$  сталкивается с покоящимся электроном и отлетает под углом  $\theta$  к первоначальному направлению движения. Найти импульс фотона после столкновения.

**Семинар 2:** Решение задач на тему «Боровская теория атома водорода».

Примеры задач:

11. Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное, получив энергию  $E=12,8\text{э.в.}$ . Какова наибольшая длина волны, которую может теперь излучить атом водорода?
12. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны  $\lambda=1,2\cdot 10^{-5}\text{см.}$  определить радиус орбиты электрона  $r$  возбужденного атома.

**Семинар 3:** Решение задач на тему «Волновые свойства частиц». Примеры задач:

1. Какую дополнительную энергию необходимо сообщить электрону с импульсом  $15\text{кэВ/с}$ , чтобы его длина волны стала  $\lambda=0,5\text{А}^\circ$ .
2. При увеличении энергии электрона на  $500\text{эВ}$  его дебройлевская длина изменилась в два раза. Найти первоначальную длину волны электрона.

**Семинар 4:** Решение задач на тему «Основы математического аппарата квантовой теории». Примеры задач:

1. Найти коммутатор  $[\mathbf{H}, \mathbf{p}_x]=?$  Где  $\mathbf{H}=\mathbf{p}_x^2/2m+U(x)$
2. Найти коммутатор  $[x, \mathbf{L}_z]=?$

**Семинар 5:** Решение задач на тему «Уравнение Шредингера». Примеры задач:

1. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками ( $0<x<l$ ,  $l=2\text{А}^\circ$ ). Найти частоту фотона испускаемого при переходе электрона из 1-го возбужденного состояния в основное. Чему равна величина  $\langle x^2 \rangle$  в 1-ом возбужденном состоянии?
2. Оценить для электрона, локализованного в области размером  $l=0,5\text{мкм}$ , относительную неопределенность скорости  $\Delta v/v$ , если его кинетическая энергия  $\epsilon_{\text{кин}}=5\text{эВ}$ .

**Семинар 6:** Решение задач на тему «Спектры атомов». Примеры задач:

1. Головная линия резкой серии атомарного цезия представляет собой дублет с длинами волн  $\lambda_1=1469,5\text{А}^\circ$  и  $\lambda_2=1358,8\text{А}^\circ$ . Найти расщепление (эВ) бр уровня атома цезия.
2. Длины волн желтого дублета натрия  $\lambda_1=589,00\text{нм}$  и  $\lambda_2=589,59\text{нм}$ . Найти для 3P уровня расщепление  $\Delta E$  (эВ), обусловленное спин-орбитальным взаимодействием.

**Семинар 7:** Решение задач на тему «Спектры молекул». Примеры задач:

1. Найти разность энергий (эВ) состояний с квантовыми числами  $n=1$ ,  $J=1$  и  $n=0$ ,  $J=6$  у молекулы OH ( $r_0=0,97\text{А}^\circ$ ;  $\nu_{\text{кол}}=3735\text{см}^{-1}$ ).
2. Найти разность энергий в (эВ) состояний с квантовыми числами  $n=1, l=0$  и  $n=0, l=5$  у молекулы CO ( $r_0=1,13\text{А}^\circ$ ;  $\nu_{\text{кол}}=2310\text{см}^{-1}$ ).

– *сборники задач:*

1. Сборник задач по общему курсу физики. Ч.3 Атомная и ядерная физика. Строение вещества./Под ред. В.А. Овчинкина. М.: Физматкнига, 2009.-512 с.
2. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб.: Лань, 2005.-288с.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. М.: Бином, 2001. – 432с.
4. Сборник задач по общему курсу физики. В 5 т. Кн. V. Атомная физика. Физика ядра и элементарных частиц / Под ред. Д. В. Сивухина. М.: ФИЗМАТЛИТ; ЛАНЬ, 2006. - 184 с.

**– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

**Требования к рейтинг-контролю.** В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:

## Модуль 1

1. Фотоэффект.
2. Туннельный эффект.
3. Эффект Комптона.
4. Эффект Рамзауэра
5. Давление излучения. Эффект Доплера.
6. Квантование момента импульса.
7. Спектры испускания и поглощения.
8. Жесткий ротатор. Вращение молекул.
9. Постулаты Бора.
- 10.Квантовая теория атома водорода.
11. Столкновение электронов с атомами. Опыты Франка и Герца.
12. Спин и магнитный момент Электрона.
13. Боровская теория атома водорода.
14. Спин орбитальное взаимодействие. Тонкая структура атома водорода.
15. Изотопический сдвиг.
16. Спектры щелочных металлов.
17. Гипотеза де Бройля.
18. Одноэлектронное приближение. Самосогласованное поле.

19. Дифракция электронов. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона.

### Модуль 2

1. Заполнение электронных оболочек. Периодическая система элементов.
2. Статистическая интерпретация волновой функции.
3. Спектроскопические обозначения атомных термов.
4. Влияние опыта на состояние микрочастиц. Принцип неопределенности.
5. Рентгеновские спектры.
6. Операторы квантовой механики.
7. Правила отбора при изучении атомов.
8. Операторы основных физических величин.
9. Ширина спектральных линий.
10. Условие одновременной измеримости двух физических величин.
11. Спонтанное и вынужденное излучение
12. Одномерное уравнение Шредингера.
13. Поглощение электромагнитных волн в равновесных и неравновесных квантовых системах.
14. Частица в одномерной потенциальной яме. (Случай конечной глубины).
15. Квантовые генераторы.
16. Гармонический осциллятор.
17. Магнитный момент атома.
18. Колебательные спектры двухатомных молекул.
19. Эффект Зеемана

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Лекционная аудитория № 226 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Микшерный пульт Yamaha MG-124C 2 Аудиокомплект (мик. пульт, акуст. усилитель, акуст. система,	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на

	<p>радиосистема)  3 Интерактивная система SMART Board 660i4  4 Мультимедийный проектор Epson EB-4850WU с потолочным креплением  5  Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками  6  Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками  7 Экран настенный ScreenMedia 213*213 (M082-08156)  8 Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21,5”  9 Комплект учебной мебели на 110 посадочных мест</p>	<p>передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017  Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
--	---	--

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт  2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2)  Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно  Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009  Google Chrome - бесплатно  Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно  Kaspersky Endpoint Security 10 для</p>

<p>курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-1016D  4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО  5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО  6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»  7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.  Lazarus 1.4.0 - бесплатно  Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно  Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011  MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012  Microsoft Express Studio 4 - бесплатно  MiKTeX 2.9 - бесплатно  MPICH 64-bit – бесплатно  MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно  Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017  MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
---	---	---

#### Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.