

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт физических исследований и технологий

Рекомендовано МССН

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

АТОМНАЯ ФИЗИКА

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности
03.03.02 Физика**

**Квалификация (степень) выпускника
бакалавр**

1. Цели и задачи дисциплины:

Дисциплина излагается для студентов-физиков на 3-ем курсе бакалавриата (5-ый семестр). Главной целью дисциплины является создание фундаментальной базы знаний в области квантовой физики, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение квантовой теории и явлений микромира в рамках цикла курсов по теоретической физике и специализированных курсов.

Задачи дисциплины: сформировать у студентов единую, стройную, логически непротиворечивую физическую картину микромира. Создание такой картины происходит поэтапно, путем обобщения экспериментальных данных и на их основе производится построение моделей наблюдаемых явлений.

2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Атомная физика» относится к модулю «Общая физика» базовой части профессионального цикла дисциплин Б1.О.01.07. Для изучения дисциплины студент должен обладать знаниями и умениями дисциплин высшей математики, методов математической физики, теории вероятностей, дисциплин модуля «Общей физики» (механика, молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика), а также дисциплин модуля «Теоретической физики» (теоретическая механика, электродинамика). Дисциплина «Атомная физика» предшествует дисциплинам модуля «Теоретической физики» (квантовая теория, статистическая физика, физика конденсированного состояния), а также специализированным курсам.

В дисциплину «Атомная физика» включаются лабораторные работы, которые входят в состав дисциплин модуля «Общий физический практикум» базовой части профессионального цикла Б1.О.01.09 с общей трудоемкостью 4 зачетные единицы.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
1	ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Механика Молекулярная физика Электричество и магнетизм Оптика	Специальный физический практикум (по профилю подготовки) Физика атомного ядра и элементарных частиц Квантовая теория Термодинамика и статистическая физика Электродинамика

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

В результате изучения дисциплины студент **должен**:

Знать: экспериментальные основы атомной физики, основные явления и законы физики микромира, основные теоретические представления и модели квантовой теории.

Уметь: решать физические задачи, связанные с атомными явлениями, использовать при решении задач основные законы, теоретические представления и модели квантовой теории, а также применять полученные знания для анализа и интерпретации результатов физических экспериментов.

Владеть: способностью пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3 зачетные единицы**.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		9	A		
Аудиторные занятия (всего)	51	27	24		
В том числе:	-		-	-	-
<i>Лекции</i>	34	18	16		
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	17	9	8	-	-
<i>Семинары (С)</i>			-	-	-
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>					
Самостоятельная работа (всего)	57	9	48		
Общая трудоемкость час	108	36	72		
зач. ед.	3	1	2		

5. Содержание дисциплины

5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1.	Модели атома.	Ядерная модель Резерфорда. Комбинационный принцип. Атом Бора. Принцип соответствия. Опыты Франка и Герца.
2.	Корпускулярно-волновой дуализм	Гипотеза де Бройля. Опыты Дэвиссона-Джермера и Томсона. Интерпретация волн де Бройля. Соотношения неопределенностей. Принцип дополнительности.
3.	Уравнение Шредингера.	Квантование как проблема собственных значений. Операторы физических величин. Потенциальные “ямы” и “барьеры”. Линейный гармонический осциллятор.
4.	Момент импульса. Принцип Паули.	Квантовый ротатор. Магнитные свойства атомов. Опыт Штерна и Герлаха. Спин.
5.	Спонтанные и вынужденные переходы	Коэффициенты Эйнштейна. Правила отбора. Ширина и форма спектральных линий. Общие принципы индуцированного усиления электромагнитного излучения
6.	Атом водорода.	Спектр атома водорода. Вырождение уровней энергии. Тонкая структура термов. Лэмбовский сдвиг.
7.	Многоэлектронные атомы.	Типы связей электронных моментов. Электронные оболочки атомов. Периодическая система элементов Менделеева. Атомы щелочных металлов. Атом гелия. Правила Хунда.
8.	Рентгеновское излучение (РИ) атомов.	Тормозное и характеристическое РИ. Рассеяние и поглощение РИ. Эффект Комптона. Оже-эффект.
9.	Атом в магнитном и электрическом полях.	Простой и сложный эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака. Магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Эффект Штарка.
10.	Возбужденные атомы.	Ридберговские атомы. Неупругие удары второго рода. Процессы хемоионизации.
11.	Строение и свойства молекул.	Адиабатическое приближение. Вращение и колебания ядер. Полосатые спектры молекул. Электронные спектры молекул. Принцип Франка-Кондона. Комбинационное рассеяние света. Типы химической связи молекул. Ионная и ковалентная связи. Силы Ван-дер-Ваальса.

5.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Лекции	ПЗ/С	ЛР	СРС	Всего
1.	Модели атома	2	2		6	18
2.	Корпускулярно-волновой дуализм	4	2		4	19
3.	Уравнение Шредингера	4	2		6	12
4.	Момент импульса. Принцип Паули	2	2		4	9
5.	Спонтанные и вынужденные переходы	2			5	15
6.	Атом водорода	4	2		6	20
7.	Многоэлектронные атомы.	2	2		4	13
8.	Рентгеновское излучение (РИ) атомов	4	1		6	19
9.	Атом в магнитном и электрическом полях	4	2		6	20
10.	Возбужденные атомы	2	2		6	18
11.	Строение и свойства молекул	4			4	17
	ИТОГО	34	17		57	108

6. Лабораторный практикум не предусмотрен

7. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	1.	Рассеяние альфа-частиц. Атом Бора. Условия квантования	4
2.	2.	Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей	4
3.	3.	Операторы. Средние значения. Барьерные задачи	4
4.	4.	Спин электрона	2
5.	6.	Коэффициенты Эйнштейна. Правила отбора	2
6.	7.	Средние значения. Спин-орбитальное взаимодействие	1
7.	8.	Электронные оболочки атомов. Обозначение состояний. Правила Хунда.	1
8.	9.	Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения	1
9.	10.	Эффект Зеемана	1

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лекционный компьютер, компьютерный проектор, электронная доска, аудитория для компьютерного тестирования. Проведение лабораторных занятий обеспечено необходимыми приборами и оборудованием.

9. Информационное обеспечение дисциплины

базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
телекоммуникационная учебно-информационная система (ТУИС)
Учебный портал РУДН

Научная электронная библиотека РУДН

<http://www.edu.ru/> – федеральный образовательный портал.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/demo/> - кабинет физических демонстраций МГУ.

<http://genphys.phys.msu.ru/rus/ofp/>

<http://www.alpud.ru/> - автоматизированные лабораторные практикумы удаленного доступа.

<http://prac-gw.sinp.msu.ru/atom.htm> - атомный и ядерный практикум МГУ.

10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. В.П. Милантьев. Физика атомов и атомных явлений. М.: Высшая школа, 2010
2. М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов. Лекции по атомной физике. М.: Физматлит, 2008.
3. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Т.5. М.: Физматлит, 2006.
4. И.Е. Иродов. Задачи по квантовой физике. М.: Высшая школа, 1991.

5. Сб. задач по общему курсу физики. Часть 3./Под ред. В.А.Овчиникина. М.: МФТИ, 2001.

б) дополнительная литература

1. Э.В. Шпольский. Атомная физика. Т.1,2. М.: Наука, 1984.
2. А.М. Попов, О.В. Тихонова. Лекции по атомной физике. М.: Изд. МГУ, 2007.
3. А.Н. Матвеев. Атомная физика. М.: Высшая школа, 1989.
4. Дж. Гринштейн, А. Зайонц. Квантовый вызов. Изд. Дом Интеллект. 2008.

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

<http://www.ict.edu.ru/vconf/files/8544.pdf>

<http://www.affp.mics.msu.su/prak/>

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Необходимо обеспечить себя рекомендованными учебными материалами. Для получения глубоких и прочных знаний, твердых навыков и умений, необходима, кроме проработки лекционного материала, систематическая самостоятельная работа студента. Дополнить конспект лекций, выделить главное студент должен самостоятельно, пользуясь предлагаемыми учебными пособиями.

Для текущей аттестации студентов ими проводится самостоятельная работа, которая оценивается на 4 коллоквиумах. Программа курса предусматривает выполнение 8 домашних заданий и проведение четырех очных коллоквиумов, состоящих из трех частей: устной (в форме ответа на вопросы), письменной (2-3 вопроса) и списка задач из домашнего задания. Для подготовки к коллоквиуму необходимо ознакомиться с информацией в соответствующем разделе. Задачи к коллоквиумам представляются в электронном виде в соответствующем разделе с учетом нижеследующих требований.

Письменные решения необходимо сфотографировать/сканировать и объединить в файл формата pdf. Размер итогового файла не должен превышать 1 Мбайт.

Решение должно содержать: краткие условия задачи, рисунок, ход решения, итоговую расчетную формулу, численное решение и ответ с единицами измерения (за исключением задач на доказательство). Если представлен только ход решения и численный ответ без расчета задача оценивается в половину баллов. Если решение требует рисунка, а он не представлен, задача оценивается в половину баллов.

Задачи, дословно переписанные из учебника, считаются списанными, и баллы не даются. Для того, чтобы получить баллы за такую задачу, необходимо проделать все промежуточные вычисления, прописать логические переходы и представить численный расчет.

12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Шкала оценок

Соответствие систем оценок (согласно Приказу Ректора № 996 от 27.12.2006 г.)

Баллы БРС	Традиционные оценки в РФ	Баллы для перевода оценок	Оценки	Оценки
86-100	5	95-100	5+	A
		86-94	5	B
69-85	4	69-85	4	C
51-68	3	61-68	3+	D
		51-60	3	E
0-50	2	31-50	2+	FX
		0-30	2	F
51-60	Зачет		Зачет	Passed

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине Атомная физика (3-й курс, 5-й семестр)

Направление/Специальность: 03.03.02 «Физика»

Раздел	Тема	Формы контроля уровня освоения ООП				Баллы темы	Баллы раздела	Экзамен	
		Самостоятельная работа студентов		Коллоквиум					
		Выполнение д/р	Задачи по теме	Тест	Опрос				
Атомные модели. Теория Бора. ОПК-1	Рассеяние альфа-частиц. Формула Резерфорда	2	7	4	2	8,5	17	30	
	Атом Бора. Принцип соответствия	2				8,5			
Волны де Бройля. ОПК-1	Корпускулярно-волновой дуализм. Интерпретация волн де Бройля	2	7	4	2	8,5	17		
	Соотношения неопределенностей	2				8,5			
Физические принципы квантовой механики. ОПК-1	Уравнение Шредингера. Потенциальные ямы и барьеры	3	7	4	2	9,5	18,5		
	Квантовый осциллятор и ротатор. Спин. Принцип Паули. Правила отбора	2,5				9			
Атом водорода. Состояния электронов в атоме. ОПК-1	Энергетический спектр. Момент импульса. Сложение моментов. Периодическая система Менделеева	2,5	7	4	2	9	17,5		
	Рентгеновское излучение. Эффект Зеемана. ЭПР	2				8,5			
		18	28	16	8	70	70		30
						Итого:	100		

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине; тестовые задания по темам (для текущего контроля)

Вопросы для тестирования

1. Каково отношение классических радиусов электрона (масса m_e) и протона (масса m_p)?
 m_e/m_p
 m_p/m_e
 $\sqrt{m_e/m_p}$
 $\sqrt{m_p/m_e}$
2. Как изменится спектроскопическое волновое число, если длина волны увеличилась в два раза?
Увеличится в два раза
Уменьшится в два раза
Уменьшится в 2π раз.
Увеличится в 2π раз.
3. Чему равен спектральный терм для атома водорода при $n=3$.
 $T_3 = 3R$
 $T_3 = R/3$
 $T_3 = 9R$
 $T_3 = R/9$ #
4. К какой спектральной серии атома водорода относятся линии: $\bar{\nu}_{4n_1} = T_4 - T_{n_1}$?
Серия Лаймана
Серия Бальмера
Серия Пашена
Серия Брэкетта
Серия Пфунда
5. Протоны, альфа-частицы и ядра лития, ускоренные одной и той же разностью потенциалов, проходят через тонкую фольгу. Какие из этих частиц рассеиваются всего сильнее?
Протоны
Альфа-частицы
Одинаково #
Ядра лития
6. Чему равно отношение моментов импульса электрона на 2-ой и 4-ой Боровских орбитах?
2,
1/2,
4,
1/4.
7. Электрон находится на первой боровской орбите a_1 . Чему равен его импульс p_1 на этой орбите?
 $p_1 = \hbar/a_1$,
 $p_1 = h/a_1$,
 $p_1 = \eta/a_1$, #
 $p_1 = \eta a_1$.
8. Каково отношение комптоновских длин волн для электрона и протона?
 m_e/m_p
 m_p/m_e
 $\sqrt{m_e/m_p}$
 $\sqrt{m_p/m_e}$

9. Как изменится величина импульса фотона, если длина волны увеличилась в три раза?
 Увеличится в три раза
 Уменьшится в три раза
 Уменьшится в 3π раз.
 Увеличится в 3π раз.
10. Как изменится длина волны де Бройля для электрона, если его импульс уменьшился в три раза?
 Увеличится в три раза
 Уменьшится в три раза
 Уменьшится в 3π раз.
 Увеличится в 3π раз.
11. Погрешность измерения координаты Δx частицы уменьшилась в два раза. Как изменилась погрешность в измерении импульса Δp_x ?
 Не изменилась,
 Уменьшилась в два раза,
 Увеличилась в два раза,
 Увеличилась в 2π раз.
12. Волновая функция $\psi(x) = a \equiv const$ на интервале $0, \ell$, и равна нулю вне этого отрезка. Чему равна постоянная нормировки?
 ℓ ,
 $1/\ell$,
 $\sqrt{\ell}$,
 $1/\sqrt{\ell}$. #
13. Частица с энергией E и массой m падает на одномерный потенциальный барьер высотой $U_0 > E$. На какую глубину K проникает частица в «запрещенную» область?
 $k = \eta\sqrt{m(U_0 - E)}$
 $k = \sqrt{2m(U_0 - E)}/\eta$
 $k = \eta\sqrt{2m(U_0 - E)}$
 $k = \eta/2\sqrt{2m(U_0 - E)}$ #
14. Как изменятся значения энергии частицы в потенциальной яме, если ширина ямы увеличится в два раза?
 Увеличатся в 2 раза,
 Уменьшатся в 2 раза,
 Уменьшатся в 4 раза,
 Увеличатся в 4 раза.
15. Чему равна длина вектора момента импульса $|\mathbf{L}|$ при значении орбитального квантового числа $\ell = 2$?
 2η ,
 $\eta\sqrt{2}$,
 $\eta\sqrt{6}$, #
 $\eta\sqrt{3}$.
16. Величина вектора момента импульса ротатора увеличилась в два раза. Как изменилась энергия ротатора?
 Увеличилась в 2 раза,
 Уменьшилась в 2 раза,
 Уменьшилась в 4 раза,
 Увеличилась в 4 раза.

17. Во сколько раз энергия квантового гармонического осциллятора в первом состоянии выше энергии основного состояния?

- В 2 раза
- В 3 раза
- В 2,5 раза
- В 3,5 раза

18. Чему равна величина вектора спина электрона

- $\eta\sqrt{1/2}$
- $\eta\sqrt{3/2}$
- $\eta/2$
- $\eta\sqrt{3/4}$

19. Сколько проекций имеет магнитный момент атома при орбитальном движении с квантовым числом $l = 3$?

- 4
- 5
- 6
- 7

20. Как изменяются значения энергии атома водорода при увеличении главного квантового числа в три раза?

- Увеличиваются в три раза
- Уменьшаются в три раза
- Уменьшаются в 9 раз.
- Увеличиваются в 9 раз.

21. Сколько значений принимает орбитальное квантовое число λ при данном числе n ?

- n
- $2n$
- n^2
- $n+1$

22. Сколько волновых функций описывают состояния атома водорода при данном значении числа n ?

- n
- $2n$
- n^2
- $n+1$

23. Какие значения принимает внутреннее квантовое число j в p – состоянии атома водорода?

- 5/2 и 3/2
- 3/2 и 1/2
- +1/2 и -1/2
- 1 и 0.

24. Какова вероятность спонтанного перехода в единицу времени из состояния атома со временем жизни 10^{-9} с?

- 10^6с^{-1}
- 10^8с^{-1}
- 10^9с^{-1}
- 10^{12}с^{-1}

25. Какова мультиплетность терма при значении $S = 3/2$?

- 2,
- 3,

- 4,
5.
26. Складываются моменты с числами 2 и 3. Сколько значений имеет квантовое число полного момента?
2
3
4
5
27. Сколько электронов находится в слое $n=2$?
6,
8,
10,
12.
28. Каково основное состояние атома водорода?
 1^1S_1
 1^1S_0
 $1^2S_{1/2}$ #
 1^2S_1
29. Какие из состояний $^2S_1, ^3S_0, ^3S_{1/2}, ^2D_{1/2}, ^2S_{1/2}, ^4P_0$ возможны?
 2S_1,
 $^3S_{1/2},$
 $^2S_{1/2}$ #
 $^2D_{1/2},$
30. На сколько подуровней расщепляется в сложном эффекте Зеемана уровень энергии $^2P_{3/2}$?
2,
3,
4,
6.
31. Как изменится длина волны коротковолновой границы тормозного рентгеновского излучения при увеличении ускоряющего напряжения в два раза?
Увеличится в два раза,
Уменьшится в два раза,
Изменится в $\sqrt{2}$ раз,
Изменится в $1/\sqrt{2}$ раз.
32. Во сколько раз коэффициент поглощения рентгеновского излучения веществом с номером 82 (свинец) больше, чем коэффициент поглощения веществом с $Z=41$ (ниобий)?
В 4 раза
В 8 раз
В 12 раз
В 16 раз

Контрольные вопросы к коллоквиумам:

Коллоквиум 1. Атомные модели. Теория Бора.

1. Модель атома Резерфорда.
2. Опыты Гейгера и Марсдена.
3. Следствия из экспериментального подтверждения формулы Резерфорда?
4. Определение заряда ядра.
5. Недостатки планетарной модели атома.
6. Спектральный терм. Спектральная серия и спектр атома.
7. Комбинационный принцип Ритца.
8. Формула Бальмера-Ридберга. Спектроскопическое волновое число. Термы для атома водорода.
9. Обобщенная формула Бальмера. Спектральные серии атома водорода.
10. Постулаты Бора. Их смысл.
11. Энергетический спектр атома водорода. Главное квантовое число.
12. Диаграмма уровней энергии атома водорода. Основное и возбужденные состояния.
13. Квантовая теория Бора для водородоподобных атомов. Условие квантования орбит.
14. Изотопическое смещение спектральных линий.
15. Принцип соответствия.
16. Опыты Франка и Герца. Значение этих опытов.
17. Упругие и неупругие соударения. Критический потенциал. Потенциал ионизации.
18. Простейшие методы монохроматизации пучков заряженных частиц.
19. Недостатки теории Бора.

Коллоквиум 2. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.

1. Волновой пакет и его свойства.
2. Корпускулярно-волновой дуализм света. Привести примеры.
3. Комптон-эффект. Комптоновская длина. Фотон.
4. Гипотеза де Бройля. Свойства волн де Бройля.
5. Формула Вульфа-Брэгга. Ее обобщение с учетом преломления волн де Бройля.
6. Эксперименты, подтвердившие гипотезу де Бройля. Опыты Дэвиссона-Гермера. Опыты Томсона.
7. Обладают ли волновыми свойствами отдельные фотоны?
8. Почему нельзя рассматривать электрон как волновой пакет?
9. Статистическая интерпретация волн де Бройля.
10. Волновая функция. Ее смысл и свойства. Условие нормировки волновой функции.
11. Средние значения физических величин, зависящих от координат.
12. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Смысл этих соотношений.
13. Соотношения неопределенностей для обобщенных координат и импульсов.
14. Мысленные эксперименты, подтверждающие соотношения неопределенностей.
15. Следствия из соотношений неопределенностей.
16. Границы применимости классических представлений. Привести примеры.

Коллоквиум 3. Уравнение Шредингера. Физические принципы квантовой механики.

1. Уравнение Шредингера. Принцип суперпозиции.
2. Оператор импульса и оператор Гамильтона.
3. Вектор плотности потока вероятности. Уравнение сохранения вероятности.
4. Операторы, собственные функции и собственные значения физических величин. Условие ортонормировки собственных волновых функций.
5. Определение средних значений физических величин.
6. Условие эрмитовости операторов. Матричные элементы операторов.

7. Координатное и другие представления волновой функции.
8. Условие одновременного измерения физических величин. Коммутатор операторов.
9. Одномерные задачи с потенциальными ямами и барьерами.
10. Задача о потенциальном ящике.
11. Коэффициенты отражения и прозрачности барьера. «Запрещенная» область.
12. Туннельный эффект. Коэффициент прозрачности.
13. Квантовый гармонический осциллятор. Принцип соответствия.
14. Момент импульса. Квантовый ротатор. Магнитное квантовое число. Орбитальное квантовое число.
15. Обозначения состояний квантового ротатора. Вырожденные состояния. Кратность вырождения.
16. Четность состояний ротатора.
17. Гиромагнитное отношение. Магнитомеханические эффекты. Магнетон Бора.
18. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона.
19. Принцип тождественности одинаковых частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
20. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Вероятность квантовых переходов.
21. Правила отбора.
22. Естественная ширина спектральных линий. Форм-фактор. Лоренцова кривая. Доплеровское уширение спектральной линии.
23. Методы измерения времени жизни атома в возбужденном состоянии.
24. Общие принципы индуцированного усиления электромагнитного излучения.

Коллоквиум 4. Атом водорода. Состояния электронов в атоме.

1. Уравнение Шредингера для двух тел в центрально-симметричном поле.
2. Волновая функция для водородоподобного атома. Энергетический спектр Радиальное квантовое число. Орбитальное квантовое число.
3. Обозначение состояний электрона в атоме. Диаграммы Гротриана.
4. Вероятное распределение электронного заряда по радиусу.
5. Спин-орбитальное взаимодействие. Вектор полного момента импульса. Внутреннее квантовое число.
6. Мультиплетность состояний. Обозначение состояний. Правила отбора для внутреннего квантового числа и проекции полного момента импульса.
7. Формула тонкой структуры термов. Статистический вес (кратность вырождения) состояний.
8. Диаграмма уровней энергии с учетом тонкой структуры. Интенсивность спектральных линий.
9. Лэмбовский сдвиг. Опыт Лэмба и Ризерфорда.
10. Правило сложения электронных моментов. Четность состояний многоэлектронного атома.
11. Нормальный и j - j типы связи электронных моментов.
12. Квантовые числа при нормальном типе связи. Обозначение состояний многоэлектронных атомов. Спектральный терм. Мультиплетное расщепление. Правила отбора для квантовых чисел. Принцип запрета интеркомбинаций.
13. Электронная оболочка атома. Электронная конфигурация атома.
14. Физическое объяснение периодической системы элементов.
15. Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов. Квантовый дефект.
16. Атом гелия. Пара- и орто-состояния.
17. Спектры атомов второй группы.
18. Основные состояния сложных атомов. Правила Хунда. Правило интервалов Ланде.
19. Рентгеновское излучение атомов. Тормозное и характеристическое излучение. Коротковолновая граница тормозного излучения. Закон Мозли.
20. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения. Полосы поглощения. Оже эффект.

21. Эффект Зеемана. Простой и сложный эффект Зеемана. Множитель Ланде. Эффект Пашена-Бака. Электронный парамагнитный резонанс.
22. Эффект Штарка.
23. Резонансно-возбужденные и метастабильные состояния атомов. Ридберговские состояния атомов. Неупругие удары второго рода. Сенсibilизированная флуоресценция.

Примерный перечень задач

1. Покажите, что из уравнений движения частицы в центральном поле сил следуют законы сохранения энергии и момента импульса.
2. Оцените величину скорости электрона в атоме с помощью комбинации фундаментальных постоянных: постоянной Планка, заряда и массы электрона.
3. Найти частоту обращения электрона в водородоподобном атоме на n -ой боровской орбите.
4. На какое минимальное расстояние приблизится альфа-частица с заданной энергией к покоящемуся ядру при лобовом соударении?
5. Найти первый боровский радиус мезоатома, ядро которого представляет протон, а электрон заменен отрицательным μ -мезоном с массой в 207 раз большей массы электрона.
6. Определить изотопический сдвиг головной линии серии Лаймана для двух изотопов атома водорода.
7. Определить величину импульса отдачи, приобретаемого ядром при рассеянии альфа-частицы.
8. Определить скорость, которую приобрел покоившийся атом водорода в результате излучения фотона, соответствующего головной линии серии Лаймана.
9. Считая ядро неподвижным, вычислить для иона He^+ радиус первой боровской орбиты, кинетическую энергию и энергию связи электрона в основном состоянии.
10. Оцените энергию, излучаемую электроном на круговой орбите за один оборот
11. Найти скорость электрона на n -ой орбите водородоподобного атома
12. Найти минимальную скорость атома водорода, при которой в результате лобового соударения с другим атомом водорода один из них испускает фотон.
13. Водородоподобный ион лития испускает фотон при переходе с третьего уровня на второй. Может ли этот фотон ионизовать атом водорода?
14. Найти длину волны излучения, способного сообщить электрону атома водорода некоторую кинетическую энергию.
15. Энергия связи электрона в атоме гелия равна $E_0=24,6$ эВ. Найти энергию, необходимую для того, чтобы последовательно удалить оба электрона из этого атома.
16. Вывести формулу, определяющую Комpton-эффект.
17. Определить направление вылета электрона отдачи при комптоновском рассеянии.
18. Какую часть энергии первичного фотона получает электрон отдачи при комптоновском рассеянии?
19. Показать, что при столкновении со свободным электроном фотон не может передать ему всю свою энергию.
20. При увеличении энергии электрона на величину ΔE его длина волны де Бройля изменилась в n раз. Какова первоначальная длина волны де Бройля?
21. Получить выражение для длины волны де Бройля в релятивистском случае.
22. Используя релятивистскую инвариантность фазы плоской волны и преобразования Лоренца, найти формулы, связывающие энергию и импульс частицы, соответственно, с частотой и волновым вектором волны де Бройля.
23. При какой энергии электрона его дебройлевская длина волны равна комптоновской длине?
24. Найти дебройлевскую длину волны молекулы при наиболее вероятной скорости.

25. При максвелловском распределении молекул по скоростям найти распределении молекул по волнам де Бройля и вычислить наиболее вероятную волну де Бройля.
26. Найти длину волны де Бройля заряженной частицы, если известно, что в магнитном поле $H = 10^4$ Э радиус кривизны ее траектории равен $r = 5$ см.
27. Оценить размеры волнового пакета по истечении достаточно большого промежутка времени, если в начальный момент его переменные определялись соотношением неопределенностей. Найти время расплывания пакета до атомных размеров, если его начальный размер был порядка классического радиуса электрона.
28. Поток моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму с узкой щелью $b = 2.0$ мкм. Найти скорость электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстоянии $l = 50$ см, ширина центрального дифракционного максимума равна $\Delta x = 0.4$ мм.
29. Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов $U = 130$ кВ, дифрагирует на поликристаллической фольге. На экране, отстоящем от фольги на расстоянии $l = 10$ см, радиус первого кольца равен $r = 0.15$ см. Вычислить период решетки материала фольги.
30. Вывести формулу Вульфа-Брэгга с учетом преломления волн де Бройля.
31. С помощью соотношения неопределенностей оценить размеры атома водорода и энергию связи электрона.
32. Оценить минимальное расстояние электронов в атоме гелия и их минимальную энергию.
33. Показать, что расчет Резерфордовского сечения рассеяния альфа-частиц можно проводить классически.
34. Показать, что в кинескопе телевизора волновыми свойствами электронов можно пренебречь.
35. Ускоряющее напряжение на электронно-лучевой трубке $U = 10$ кВ. Расстояние от электронной пушки до экрана $l = 20$ см. Оценить неопределенность положения электрона на экране, если след электронного пучка на экране имеет диаметр $d = 0.5$ мм.
36. Параллельный пучок атомов натрия из печи с температурой $T = 10^3$ К через коллиматорную щель попадает на экран, отстоящий от щели на расстоянии $l = 1$ м. При какой ширине щели ширина следа пучка на экране будет минимальной?
37. С помощью принципа неопределенности оцените энергию частицы в ящике с размерами l : для электрона в ящике с размерами атома, для нуклона в ящике с размерами ядра, для электрона в ящике с размерами ядра. Сравните эти энергии. Оцените энергию макрочастицы с массой 1 г в ящике с размерами 1 см.
38. С помощью соотношения неопределенностей оцените величину минимальной энергии гармонического осциллятора.

Контрольные вопросы

1. Опыты Резерфорда. Ядерная модель атома
2. Спектральные закономерности. Квантовая теория Бора. Главное квантовое число. Принцип соответствия.
3. Диаграмма уровней энергии атома водорода. Спектральные серии.
4. Значение опытов Франка и Герца.
5. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де Бройля
6. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля
7. Статистическая интерпретация волн де Бройля. Волновой пакет.
8. Соотношения неопределенностей. Принцип дополнительности
9. Нестационарное и стационарное уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона и Оператор вектора импульса в координатном представлении. Смысл волновой функции
10. Операторы физических величин. Собственные значения операторов. Собственные волновые функции. Условие ортонормировки. Средние значения.
11. Одновременно измеряемые физические величины. Коммутатор операторов.
12. Потенциальные ямы и барьеры. Потенциальный ящик
13. Квантовый гармонический осциллятор. Энергия нулевых колебаний.

14. Вектор момента импульса. Квантовый ротатор. Энергетический спектр. Орбитальное и магнитное орбитальное квантовые числа.
15. Магнитные свойства атомов. Магнетон Бора. Гиромагнитное отношение.
16. Спин электрона. Опыт Штерна и Герлаха. Вектор спина.
17. Принцип тождественности одинаковых микрочастиц. Принцип Паули.
18. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни атома в возбужденном состоянии.
19. Правила отбора. Четность состояний.
20. Ширина уровней энергии. Ширина и форма спектральных линий.
21. Общие принципы индуцированного усиления электромагнитного излучения. Мазеры и лазеры.
22. Атом водорода по Шредингеру. Вырождение состояний. Диаграмма уровней энергии.
23. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая структура термов. Обозначение термов.
24. Лэмбовский сдвиг.
25. Сложение моментов импульса. Типы связей электронных моментов в атоме.
26. Правило сложения моментов. Вектор полного момента импульса. Мультиплетность термов. Обозначение термов.
27. Электронные оболочки и слои атомов. Периодическая система элементов.
28. Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов.
29. Спектры атома гелия и атома ртути. Метастабильные состояния.
30. Нижние уровни энергии сложных атомов. Правило Хунда. Правило Ланде.
31. Рентгеновское тормозное и характеристическое излучения. Рентгеновские спектры. Тонкая структура.
32. Рассеяние и поглощение рентгеновского излучения. Комптон-эффект. Оже-эффект.
33. Простой и сложный эффект Зеемана. Эффект Пашена-Бака.
34. Электронный парамагнитный резонанс.
35. Эффект Штарка.
36. Неупругие удары второго рода. Сенсibilизированная флуоресценция.
37. Ридберговские состояния атомов.
38. Адиабатическое приближение. Полосатые спектры молекул.
39. Энергия и частоты при электронных, колебательных и вращательных переходах в молекуле.
40. Вращательные и колебательные спектры молекул.
41. Атомные и молекулярные орбитали.
42. Типы химической связи молекул: ионная и ковалентная связи, силы Ван-дер-Ваальса.
43. Комбинационное рассеяние света.

Руководитель направления 03.03.02

Директор института физических исследований и технологий, д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза