

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король



1 января 2025 г.
Регистрационный № 13571/гэ.

ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

для специальности

1-31 04 08 Компьютерная физика

2025 г.

Программа государственного экзамена для специальности 1-31 04 08 Компьютерная физика разработана на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 04 08-2018, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 22.12.2018 № 124; учебных программ по учебным дисциплинам “Молекулярная физика” № УД-10856/уч. от 06.01.2022, “Электричество и магнетизм” УД-10853/уч. от 01.07.2022, “Оптика” № УД-11128/уч. от 08.07.2022, “Физика атома и атомных явлений” №-12165/уч. от 05.07.2023.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.И.Горбачук — заместитель декана физического факультета по учебной работе и образовательным инновациям Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

К.В.Козадаев — заведующий кафедрой физической оптики и прикладной информатики Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

В.Б.Оджаев — заведующий кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

О.Г.Романов — заведующий кафедрой компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

А.И.Слободянюк — заведующий кафедрой общей физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Советом физического факультета
(протокол № 5 от 28.12.2024);

Председатель Совета



М.С.Тиванов

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 6 от 16.01.2025)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Государственный экзамен является одной из обязательных составляющих итоговой аттестации студентов. Программа государственного экзамена по специальности 1-31 04 08 “Компьютерная физика” разработана в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта I ступени высшего образования и Правилами проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования.

Программа государственного экзамена определяет и регламентирует структуру и содержание государственного экзамена по специальности 1-31 04 08 “Компьютерная физика”.

В программу государственного экзамена включаются следующие учебные дисциплины, модули: “Молекулярная физика”, “Электричество и магнетизм”, “Оптика”, “Физика атома и атомных явлений”.

Государственный экзамен проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии.

Цель проведения государственного экзамена по специальности 1-31 04 08 “Компьютерная физика” – выявление компетенций специалиста, т. е. теоретических знаний и практических умений, необходимых для решения теоретических и практических задач специалиста с высшим образованием.

Программа государственного экзамена носит системный, междисциплинарный характер и ориентирована на выявление у выпускника общепрофессиональных и специальных знаний и умений. Выпускник должен:

знать:

- общие методы измерений физических величин; статистический и термодинамический подходы к описанию термодинамических систем; основные законы и методы термодинамики; основные принципы статистической механики; микроканоническое и каноническое распределения; свойства реальных газов и жидкостей;
- основные законы электромагнитных взаимодействий; законы постоянного и переменного тока; уравнения Максвелла для полей в вакууме и сплошных средах; свойства диэлектриков и магнетиков; тензор энергии-импульса, потенциалы электромагнитного поля;
- основы электромагнитной теории света; явления интерференции и дифракции; принципы генерации света; физический механизм излучения электромагнитных волн;
- основы истории развития физики микроявлений (эксперимента и теории); основные положения и принципы квантовой механики; операторы физических

величин; уравнение Шредингера; методы квантово-механического описания атомов, молекул и кристаллов;

уметь:

- выполнять расчеты термодинамических процессов; использовать статистические распределения при решении задач; обосновывать законы термодинамики методами статистической механики; решать практически важные задачи термодинамики и физической кинетики;
- рассчитывать электрические и магнитные поля в вакууме и веществе; выполнять расчет цепей квазистационарных переменных токов; использовать законы электромагнетизма при решении задач; применять уравнения Максвелла для расчета электромагнитных полей;
- решать задачи геометрической и физической оптики; анализировать практически важные схемы интерференции и дифракции;
- применять теорию Бора для оценки основных параметров атомов; применять квантово-механический подход для объяснения атомно-молекулярных явлений и расчета характеристик атомов, молекул и кристаллов; связывать характеристики атомов и молекул с их оптическими и рентгеновскими спектрами; находить собственные значения и собственные функции разных операторов физических величин для практически важных случаев;

владеть:

- методами экспериментальных исследований термодинамических систем; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач термодинамики и статистической физики;
- методами экспериментальных исследований электрических и магнитных свойств веществ; методами экспериментального исследования электрических цепей; математическими методами решения задач по электричеству и магнетизму; математическими методами электродинамики; методами расчёта электромагнитных полей
- методами экспериментальных исследований оптических явлений; – математическими методами решения задач по оптике.
- терминологией физики микроявлений; навыками проведения экспериментальных исследований атомно-молекулярных явлений; математическими методами решения задач атомной физики; приближенными методами описания квантовомеханических систем.

Освоение образовательной программы специальности 1-31 04 08 «Компьютерная физика» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

базовых профессиональных компетенций:

БПК. Владеть основными понятиями и представлениями термодинамического подхода к описанию физических систем, обладать базовыми навыками экспериментальных исследований газов, жидкостей и твердых тел.

БПК. Владеть основными понятиями и базовыми законами электромагнетизма, навыками расчетов и практической работы с электрическими цепями и устройствами.

БПК. Владеть основными законами и понятиями, определяющими взаимодействие оптического излучения с веществом, законами волновой и геометрической оптики, методами решения задач и экспериментального исследования оптических систем.

БПК. Быть способным интерпретировать проявления корпускулярно-волнового дуализма в атомных явлениях, уметь связывать структуру атомных и молекулярных систем с их физическими и химическими свойствами.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Экзамен (ответы студентов и беседа с экзаменуемыми) проводится на русском или белорусском языке.

В ходе подготовки экзаменующиеся имеют право использовать учебные программы соответствующих дисциплин, научную и справочную литературу. Также в процессе подготовки может быть использован эвристический подход, который предполагает: осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира; демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем; творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов; индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

На подготовку ответа обучающемуся отводится не менее 30 минут и не более одного астрономического часа. В случае необходимости подготовка к практической части проходит дополнительно в компьютерном классе в течение 30-60 минут. Время, которое отводится на ответ одного экзаменующегося, – до 30 минут.

СТРУКТУРА ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

Вопросы экзаменационного билета по учебным дисциплинам: “Молекулярная физика”, “Электричество и магнетизм”, “Оптика”, “Физика атома и атомных явлений” отражают содержание образовательной программы специальности 1-31 04 08 “Компьютерная физика” и специализациям 1-31 04 08

02 Физическая информатика; 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов; 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений.

Экзаменационный билет состоит из двух частей: теоретической (3 вопроса) и практической (1 задание в виде мини-кейса), позволяющих оценить полученные в процессе обучения теоретические знания и практические навыки.

Характеристика теоретической части:

В теоретической части представлены вопросы, относящиеся к основным положениям физических теорий, описывающих термодинамические, электрофизические, оптические и квантовомеханические явления и свойства физических объектов и систем. Примеры вопросов представлены в разделах 1-4 теоретической части «Содержание программы государственного экзамена».

Характеристика практической части:

Содержание практической части экзаменационного билета отвечает учебным программам дисциплин “Молекулярная физика”, “Электричество и магнетизм”, “Оптика”, “Физика атома и атомных явлений” в части их практического использования по специализациям 1-31 04 08 02 Физическая информатика; 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов; 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений. Примеры заданий представлены в разделах 1-3 практической части.

Распределение теоретических вопросов и практических заданий по билетам для специализаций 1-31 04 08 02 Физическая информатика; 1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов; 1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений представлены в таблице:

Специализация	Вопрос №1	Вопрос №2	Вопрос №3	Практическое задание
1-31 04 08 02 Физическая информатика	Раздел 1 теор-й части	Раздел 3 теор-й части	Раздел 4 теор-й части	Раздел 2 теор-й. части, Раздел 1 практ-й. части
1-31 04 08 03 Компьютерное моделирование физических процессов	Раздел 1 теор-й части	Раздел 2 теор-й части	Раздел 4 теор-й части	Раздел 3 теор-й. части, Раздел 2 практ-й. части
1-31 04 08 04 Физическая метрология и автоматизация измерений	Раздел 1 теор-й части	Раздел 2 теор-й части	Раздел 4 теор-й части	Раздел 3 теор-й. части, Раздел 3 практ-й. части

Для уточнения экзаменационной отметки члены ГЭК могут задавать обучающемуся дополнительные вопросы в соответствии с программой государственного экзамена. Количество дополнительных вопросов не должно превышать трех.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Раздел 1. Учебная дисциплина “Молекулярная физика”

Тема 1. Макроскопическое и микроскопическое состояния вещества.

Микроканонический ансамбль, различие микросостояний. Постулат равновероятности микросостояний, среднее по ансамблю и среднее по времени, эргодическая гипотеза. Расчет вероятности макросостояния идеального газа. Формула вероятности макросостояния, формула Стирлинга.

Тема 2 Статистические распределения.

Распределение Максвелла - Больцмана. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Распределение Гиббса. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

Тема 3. Основное уравнение кинетической теории газов.

Температура. Термодинамическое равновесие, понятие температуры, эмпирические шкалы температур. Основное уравнение кинетической теории газов.

Тема 4. Первое начало термодинамики.

Внутренняя энергия тел, калорическое и термическое уравнение состояния, количество теплоты, работа. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Термические и тепловые свойства тел. Теплоемкость изотропных и однородных тел. Внутренняя энергия идеального газа. Теплоемкость идеального газа, расхождение теории теплоемкостей идеального газа с экспериментом.

Тема 5. Процессы в идеальном газе.

Уравнение политропного процесса. Работа при изопроцессах.

Тема 6. Второе начало термодинамики.

Тепловая машина, цикл Карно. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Энтропия, энтропия идеального газа. Неравенство Клаузиуса, закон неубывания энтропии в замкнутой системе. Изменение энтропии при необратимых процессах. Статистический характер второго начала термодинамики.

Тема 7. Термодинамические потенциалы.

Преобразование производных термодинамических величин. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал. Термодинамические неравенства

Тема 8. Силы межатомного и межмолекулярного взаимодействия.

Ионная связь, ковалентная связь. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Ленарда – Джонса.

Тема 9. Фазовые переходы

Фазовые переходы первого и второго рода. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Кипение, конденсация, фазовая диаграмма жидкость-пар. Кристаллизация и плавление, сублимация, фазовые диаграммы. Аномальные вещества. Полиморфизм. Жидкие кристаллы. Метастабильные состояния. Пузырьковая камера. Камера Вильсона. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов.

Тема 10. Жидкости.

Свойства и структура жидкостей. Теплоёмкость жидкостей. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления. Поверхностно-активные вещества. Давление насыщенных паров вблизи искривленной поверхности жидкости.

Тема 11. Растворы.

Идеальные растворы, закон Рауля, закон Генри. Растворимость, теплота растворения, зависимость растворимости от температуры. Диаграмма состояния раствора. Кипение жидких растворов, диаграмма состояния бинарных смесей. Осмос и осмотическое давление.

Тема 12. Сплавы, твердые растворы, полимеры.

Твердые тела, симметрия твердых тел, трансляционная симметрия, точечные группы симметрии. Кристаллические решетки, примитивная решетка, неоднозначность выбора базиса примитивной решетки. Элементы симметрии решетки, обозначения атомных плоскостей и направлений. Методы исследования структуры твердых тел.

Тема 13. Реальные кристаллы.

Дислокации. Физические процессы в кристаллах при деформациях.

Тема 14. Процессы переноса.

Кинематические характеристики молекулярного движения, поперечное сечение, средняя длина свободного пробега молекул. Диффузия, диффузия в газах и твердых телах, законы Фика. Уравнение Бернулли.

Примерный перечень вопросов по разделу 1 для подготовки к государственному экзамену

1. Микроканонический ансамбль, различие микросостояний.
2. Расчет вероятности макросостояния идеального газа. Формула вероятности макросостояния, формула Стирлинга.
3. Распределение Максвелла - Больцмана.

4. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.
5. Распределение Гиббса.
6. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.
7. Температура. Термодинамическое равновесие, понятие температуры, эмпирические шкалы температур.
8. Основное уравнение кинетической теории газов.
9. Внутренняя энергия тел, калорическое и термическое уравнение состояния, количество теплоты, работа.
10. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы.
11. Внутренняя энергия идеального газа.
12. Уравнение политропного процесса. Работа при изопроцессах.
13. Тепловая машина, цикл Карно.
14. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики.
15. Абсолютная термодинамическая шкала температур.
16. Энтропия. Неравенство Клаузиуса, закон неубывания энтропии в замкнутой системе.
17. Изменение энтропии при необратимых процессах. Статистический характер второго начала термодинамики.
18. Преобразование производных термодинамических величин.
19. Системы с переменным числом частиц. Химический потенциал.
20. Ионная связь, ковалентная связь.
21. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал Ленарда – Джонса.
22. Фазовые переходы первого и второго рода.
23. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.
24. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
25. Кипение, конденсация, фазовая диаграмма жидкость-пар, фазовые диаграммы
26. Кристаллизация и плавление, сублимация, фазовые диаграммы.
27. Полиморфизм.
28. Метастабильные состояния.
29. Пузырьковая камера. Камера Вильсона. Эффект Джоуля-Томсона. Сжижение газов.
30. Свойства и структура жидкостей.
31. Теплоёмкость жидкостей.
32. Поверхностное натяжение.
33. Капиллярные явления.
34. Поверхностно-активные вещества.

35. Давление насыщенных паров вблизи искривленной поверхности жидкости.
36. Идеальные растворы, закон Рауля, закон Генри.
37. Растворимость, теплота растворения, зависимость растворимости от температуры.
38. Диаграмма состояния раствора. Кипение жидких растворов, диаграмма состояния бинарных смесей.
39. Осмос и осмотическое давление.
40. Твердые тела, симметрия твердых тел, трансляционная симметрия.
41. Кристаллические решетки, примитивная решетка, неоднозначность выбора базиса примитивной решетки.
42. Элементы симметрии решетки, обозначения атомных плоскостей и направлений.
43. Методы исследования структуры твердых тел.
44. Дислокации. Физические процессы в кристаллах при деформациях.
45. Кинематические характеристики молекулярного движения, поперечное сечение, средняя длина свободного пробега молекул.
46. Диффузия, диффузия в газах и твердых телах, законы Фика.
47. Уравнение Бернулли.

Раздел 2. Учебная дисциплина “Электричество и магнетизм”

Тема 1. Электростатическое поле в вакууме.

Закон Кулона, электрическое поле, напряженность, принцип суперпозиции. Теорема Остроградского-Гаусса. Работа сил электростатического поля, теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля, разность потенциалов. Потенциал поля: точечного заряда, системы точечных зарядов и непрерывного распределения зарядов. Поле электрического диполя. Основная задача электростатики.

Тема 2. Электростатическое поле при наличии проводников.

Поле заряженного проводника произвольной формы, распределение зарядов по поверхности проводника. Проводники в электростатическом поле, электростатическая защита. Емкость уединенного проводника и системы проводников, конденсаторы и их соединение.

Тема 3. Электростатическое поле при наличии диэлектриков.

Классификация диэлектриков, молекулярная картина поляризации диэлектриков. Поляризованность диэлектриков (вектор поляризации) и связанные заряды. Описание электростатического поля в диэлектриках, вектор электрического смещения, диэлектрическая восприимчивость и

диэлектрическая проницаемость. Температурная зависимость восприимчивости полярных и неполярных диэлектриков. Граничные условия, преломление линий векторов напряженности и смещения на границе раздела диэлектриков. Основные сведения о сегнетоэлектриках, доменная структура, гистерезис. Пьезоэлектрики и их практическое использование, пьезоэлектрики.

Тема 4. Энергия электростатического поля.

Энергия взаимодействия дискретных зарядов. Энергия взаимодействия при непрерывном распределении зарядов. Энергия заряженного проводника, конденсатора. Энергия электрического поля, плотность энергии. Силы, действующие в электрическом поле на: дискретно и непрерывно распределенные заряды, проводники, диэлектрики.

Тема 5. Электрический ток.

Уравнение непрерывности, сила и плотность тока. Законы постоянного тока. Условия существования электрического тока, Э.Д.С. Падение напряжения, закон Ома для замкнутой цепи. Работа и мощность в цепи постоянного тока. Линейные цепи, правила Кирхгофа. Квазистационарные токи, условия квазистационарности.

Тема 6. Стационарное магнитное поле в вакууме.

Закон взаимодействия элементов тока (закон Лапласа – Био - Савара – Ампера). Сила Лоренца. Линии вектора магнитной индукции, магнитный поток, теорема о полном потоке, теорема о циркуляции вектора магнитной индукции. Вихревой характер магнитного поля, магнитный поток, теорема о полном потоке. Контур с током в магнитном поле, работа по перемещению контура с током.

Тема 7. Магнитное поле в веществе.

Классическая теория намагничивания, вектор намагничивания. Описание магнитного поля в магнетиках, напряженность магнитного поля. Классификация магнетиков, магнитная восприимчивость и проницаемость. Источники линий напряженности, граничные условия для векторов индукции и напряженности, преломление линий, магнитная экранировка.

Тема 8. Электромагнитная индукция.

Явление и закон электромагнитной индукции, его вывод из закона сохранения энергии. Природа сторонних сил при явлении электромагнитной индукции, дифференциальная формулировка закона электромагнитной индукции. Измерение магнитной проницаемости, индукции, напряженности. Явление самоиндукции, индуктивность. Взаимная индукция контуров с током, взаимная индуктивность. Трансформатор, энергия магнитного поля контура и соленоида с током.

Тема 9. Электромагнитные колебания. Колебательный контур, собственные незатухающие электромагнитные колебания. Свободные

электромагнитные колебания в контуре с активным сопротивлением. Вынужденные электромагнитные колебания. Активное, емкостное и индуктивное сопротивление в цепи переменного тока, импеданс. Энергия и мощность в цепи переменного тока. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Трехфазный ток и его применение в технике и передаче электроэнергии на расстояние.

Тема 10. Магнетики.

Диамагнетизм, ларморрова прецессия. Парамагнетики, закон Кюри. Особенности намагничивания ферромагнетиков, домены. гистерезис, зависимость ферромагнитных свойств от температуры. Антиферромагнетизм, ферримагнетизм.

Тема 11. Уравнения Максвелла.

Полная система уравнений Максвелла. Теория Максвелла и границы ее применимости, электромагнитные волны и их свойства. Закон сохранения энергии электромагнитного поля, поток энергии, излучение электромагнитных волн.

Тема 12. Электрический ток в реальных средах.

Электрический ток в вакууме, термоэлектронная эмиссия, электровакуумные приборы. Электрический ток в газах, несамостоятельный и самостоятельный разряды. Основные типы газовых разрядов. Плазма, условия получения и существования плазмы. Природа носителей заряда в металлах, классическая теория проводимости (Друде-Лоренца). Основные сведения о зонной теории проводимости, энергетические зоны металлов, полупроводников, изоляторов. Собственная проводимость полупроводников. Примесная (электронная и дырочная) проводимость. Работа выхода электрона с поверхности металла. Механизм электропроводности электролитов. Зависимость электропроводности электролитов от температуры.

Тема 13. Контактные явления и полупроводниковые приборы.

Контактные явления в металлах, контактная разность потенциалов, термопары. Контакт полупроводников с различным типом проводимости, p - n переход и его свойства. Полупроводниковые диоды и их использование. Биполярные транзисторы их использование. Понятия о микроэлектронных элементах, системах и технологиях. Термоэлектродвижущая сила, эффект Пельтье и эффект Томсона.

Примерный перечень вопросов по разделу 2 для подготовки к государственному экзамену

1. Закон Кулона, электрическое поле, напряженность, принцип суперпозиции.

2. Теорема Остроградского-Гаусса.
3. Работа сил электростатического поля, теорема о циркуляции вектора напряженности электростатического поля, разность потенциалов.
4. Потенциал поля: точечного заряда, системы точечных зарядов и непрерывного распределения зарядов.
5. Поле электрического диполя.
6. Поле заряженного проводника произвольной формы, распределение зарядов по поверхности проводника. Проводники в электростатическом поле, электростатическая защита.
7. Емкость уединенного проводника и системы проводников, конденсаторы и их соединение.
8. Классификация диэлектриков, молекулярная картина поляризации диэлектриков. Поляризованность диэлектриков (вектор поляризации) и связанные заряды.
9. Описание электростатического поля в диэлектриках, вектор электрического смещения, диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость.
10. Граничные условия, преломление линий векторов напряженности и смещения на границе раздела диэлектриков
11. Основные сведения о сегнетоэлектриках, доменная структура, гистерезис.
12. Пьезоэлектрики и их практическое использование, пьезоэлектрики.
13. Энергия взаимодействия дискретных зарядов. Энергия заряженного проводника, конденсатора.
14. Энергия электрического поля, плотность энергии.
15. Уравнение непрерывности, сила и плотность тока.
16. Законы постоянного тока. Условия существования электрического тока, Э.Д.С. Падение напряжения, закон Ома для замкнутой цепи.
17. Работа и мощность в цепи постоянного тока.
18. Линейные цепи, правила Кирхгофа. Квазистационарные токи, условия квазистационарности.
19. Закон взаимодействия элементов тока (закон Лапласа – Био - Савара – Ампера). Сила Лоренца.
20. Линии вектора магнитной индукции, магнитный поток, теорема о полном потоке, теорема о циркуляции вектора магнитной индукции.
21. Вихревой характер магнитного поля, магнитный поток, теорема о полном потоке.
22. Контур с током в магнитном поле, работа по перемещению контура с током.

23. Классическая теория намагничивания, вектор намагничивания. Описание магнитного поля в магнетиках, напряженность магнитного поля.
24. Классификация магнетиков, магнитная восприимчивость и проницаемость.
25. Источники линий напряженности, граничные условия для векторов индукции и напряженности, преломление линий, магнитная экранировка.
26. Явление и закон электромагнитной индукции, его вывод из закона сохранения энергии. Природа сторонних сил при явлении электромагнитной индукции, дифференциальная формулировка закона электромагнитной индукции.
27. Измерение магнитной проницаемости, индукции, напряженности.
28. Явление самоиндукции, индуктивность. Взаимная индукция контуров с током, индуктивность.
29. Трансформатор, энергия магнитного поля контура и соленоида с током.
30. Колебательный контур, собственные незатухающие электромагнитные колебания.
31. Свободные электромагнитные колебания в контуре с активным сопротивлением.
32. Активное, емкостное и индуктивное сопротивление в цепи переменного тока, импеданс.
33. Энергия и мощность в цепи переменного тока.
34. Резонанс напряжений. Резонанс токов.
35. Трехфазный ток и его применение в технике и передаче электроэнергии на расстояние.
36. Диамагнетизм, ларморрова прецессия.
37. Парамагнетики, закон Кюри.
38. Особенности намагничивания ферромагнетиков, домены. гистерезис, зависимость ферромагнитных свойств от температуры.
39. Антиферромагнетизм, ферримагнетизм.
40. Полная система уравнений Максвелла.
41. Теория Максвелла и границы ее применимости, электромагнитные волны и их свойства.
42. Закон сохранения энергии электромагнитного поля, поток энергии, излучение электромагнитных волн.
43. Работа выхода электрона с поверхности металла. Электрический ток в вакууме, термоэлектронная эмиссия, электровакуумные приборы.

44. Электрический ток в газах, несамостоятельный и самостоятельный разряды. Основные типы газовых разрядов.
45. Природа носителей заряда в металлах, классическая теория проводимости (Друде-Лоренца).
46. Основные сведения о зонной теории проводимости, энергетические зоны металлов, полупроводников, изоляторов.
47. Собственная проводимость полупроводников.
48. Примесная (электронная и дырочная) проводимость.
49. Механизм электропроводности электролитов. Зависимость электропроводности электролитов от температуры.
50. Контактные явления в металлах, контактная разность потенциалов, термопары.
51. Контакт полупроводников с различным типом проводимости, р-п переход и его свойства.
52. Полупроводниковые диоды и их использование.
53. Биполярные транзисторы их использование.
54. Понятия о микроэлектронных элементах, системах и технологиях.
55. Термоэлектродвижущая сила, эффект Пельтье и эффект Томсона.

Раздел 3. Учебная дисциплина “Оптика”

Тема 1. Волны.

Плоская монохроматическая волна, сферические монохроматические сходящиеся и расходящиеся волны, плотность потока энергии и импульса электромагнитных волн. Суперпозиция электромагнитных волн, преобразование Фурье, немонахроматические волны и их представление.

Тема 2. Излучение электрического диполя.

Индиатриса испускания электрического диполя, естественная ширина спектральной линии, уширение спектральной линии, однородное и неоднородное.

Тема 3. Поляризация электромагнитных волн.

Виды поляризации, число независимых поляризаций, волна с круговой или эллиптической поляризацией как суперпозиция волн с линейными поляризациями и линейно поляризованная волна как суперпозиция волн с круговой поляризацией. Степень поляризации, закон Малюса.

Тема 4. Фотометрия.

Фотометрические энергетические и визуальные характеристики и единицы излучения. Функция видности, цветовое зрение. Колориметрические системы RGB и CMYK.

Тема 5. Интерференция света.

Интерференция волн, интерференционная картина, временная и пространственная когерентность. Влияние размеров источника света на видимость интерференционной картины. Интерференция немонохроматического света. Стоячие волны. Интерференция в тонких пленках, полосы равной толщины и равного наклона, кольца Ньютона.

Тема 6. Интерферометры.

Двухлучевые и многолучевые интерферометры. Интерферометр Жамена. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр Рэлея. Интерферометр Фабри-Перо.

Тема 7. Применение интерференции.

Просветление оптики, контроль качества оптических поверхностей, измерение с высокой точностью показателей преломления веществ. Интерференционные фильтры. Интерференционная спектроскопия.

Тема 8. Дифракция света.

Принцип Гюйгенса-Френеля, метод зон Френеля. Спираль Френеля, зонная пластинка. Дифракция Френеля на простейших преградах: круглом отверстии, круглом диске, пятно Пуассона. Дифракция на краю полубесконечного экрана, спираль Корню. Приближение Кирхгофа, формула дифракции Френеля-Кирхгофа. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракционная решетка, фазовые и амплитудно-фазовые решетки. Дифракция света на непрерывных периодических и непериодических структурах. Дифракция света на двумерных и трехмерных структурах. Дифракция рентгеновского излучения, формулы Лауэ, условие Вульфа-Брэггов.

Тема 9. Спектральные приборы.

Характеристики спектральных приборов: угловая и линейная дисперсии, разрешающая способность, дисперсионная область, Разрешающая способность оптических приборов. Дифракционная теория оптических приборов.

Тема 10. Физические основы метода голографической записи изображений.

Схемы записи и восстановления тонкослойных голограмм. Схемы записи и восстановления толстослойных голограмм. Получение цветных объемных изображений. Особенности голограмм как носителей информации. Применение голограмм.

Тема 11. Геометрическая оптика.

Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Основные законы геометрической оптики. Принцип Ферма, уравнение эйконала. Преломление света сферической поверхностью. Условие Лагранжа-Гельмгольца. Тонкие линзы, построение изображений в оптических системах. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы. Аберрации

оптических систем (сферическая, хроматическая, кома, астигматизм, дисторсия).

Тема 12. Распространение света в изотропной среде.

Законы преломления и отражения. Формулы Френеля, закон Брюстера, фазовые соотношения при отражении и преломлении света на границе двух диэлектриков.

Тема 13. Распространение света в анизотропной среде.

Описание анизотропных сред, тензор диэлектрической проницаемости, зависимость лучевой скорости от направления распространения. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов. Плоскости поляризации волн, распространяющихся в анизотропной среде, оптическая ось, одноосные и двуосные кристаллы, двойное лучепреломление. Дихроизм поглощения, поляроидные пленки. Интерференция поляризованных волн при прохождении через кристаллы, кристаллическая пластинка в четверть, половину и целую волну. Вращение плоскости поляризации в кристаллических и аморфных веществах. Вращение плоскости поляризации в магнитном поле.

Тема 14. Искусственная анизотропия. Эффект Керра. Эффект Коттона-Мутона. Эффект Погкельса. Эффект Фарадея.

Тема 15. Взаимодействие света с веществом. Дисперсия света, нормальная и аномальная дисперсия. Рассеяние Релея и рассеяние Ми. Поглощение света, закон Бугера. Спектры поглощения. Распространение света в проводящих средах, комплексный показатель преломления. Физическая сущность рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и комбинационного рассеяния.

Тема 16. Тепловое излучение.

Закон Кирхгофа, абсолютно черное тело, поглощательная и излучательная способность нагретого тела. Формула Вина, формула Релея-Джинса, формула Планка для теплового излучения. Приемники теплового излучения, пирометры, тепловизоры.

Тема 17. Спектры атомов и молекул. Виды люминесценции и ее классификация. Характеристики люминесценции: спектр поглощения, спектр люминесценции, квантовый выход, длительность, поляризация люминесценции. Линейчатые, полосатые и сплошные спектры молекул. Энергетический спектр сложных молекул.

Тема 18. Усиление и генерация света.

Спонтанное и вынужденное излучение, коэффициенты Эйнштейна. Зависимость населенности энергетических уровней от плотности излучения, инверсная населенность уровней.

Тема 19. Лазеры.

Принципиальная схема лазера. Порог генерации, условия стационарной генерации. Свойства лазерного излучения, управление параметрами лазерного излучения. Основные типы лазеров: твёрдотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые. Непрерывные и импульсные лазеры. Метод модулированной добротности. Свойства лазерного излучения. Применение лазеров.

Тема 20. Нелинейные явления в оптике и Оптика движущих сред

Источники нелинейной поляризованности. Квадратичная нелинейность и нелинейности более высоких уровней. Генерация гармоник, условия пространственного синхронизма для удвоения частоты. Самовоздействие света в нелинейной среде, самофокусировка и самодефокусировка. Многофотонное поглощение света. Эффект Доплера, поперечный эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.

Примерный перечень вопросов по разделу 3 для подготовки к государственному экзамену

1. Плоская монохроматическая волна, сферические монохроматические сходящиеся и расходящиеся волны, плотность потока энергии и импульса электромагнитных волн. Суперпозиция электромагнитных волн, преобразование Фурье, немонахроматические волны и их представление.
2. Индикатриса испускания электрического диполя, естественная ширина спектральной линии, уширение спектральной линии, однородное и неоднородное.
3. Поляризация света, виды поляризации, степень поляризации, закон Малюса.
4. Энергетические и световые (визуальные) фотометрические величины и единицы их измерения.
5. Функция видности, цветовое зрение. Колориметрические системы RGB и CMYK.
6. Интерференция волн, интерференционная картина, временная и пространственная когерентность.
7. Интерференция немонахроматического света.
8. Интерференция в тонких пленках, полосы равной толщины и равного наклона, кольца Ньютона.
9. Интерферометр Жамена. Интерферометр Майкельсона. Интерферометр Рэлея. Интерферометр Фабри-Перо.

10. Просветление оптики, контроль качества оптических поверхностей, измерение с высокой точностью показателей преломления веществ.
11. Интерференционные фильтры. Интерференционная спектроскопия.
12. Принцип Гюйгенса-Френеля, метод зон Френеля. Спираль Френеля, зонная пластинка. Дифракция Френеля на простейших преградах: круглом отверстии, круглом диске, пятно Пуассона.
13. Дифракция на краю полубесконечного экрана, спираль Корню.
14. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракционная решетка, фазовые и амлитудно-фазовые решетки.
15. Дифракция света на непрерывных периодических и непериодических структурах.
16. Дифракция света на двумерных и трехмерных структурах.
17. Дифракция рентгеновского излучения, формулы Лауэ, условие Вульфа-Брэггов.
18. Характеристики спектральных приборов: угловая и линейная дисперсии, дисперсионная область,
19. Характеристики спектральных приборов: разрешающая способность оптических приборов. Дифракционная теория оптических приборов.
20. Схемы записи и восстановления тонкослойных голограмм.
21. Схемы записи и восстановления толстослойных голограмм. Получение цветных объемных изображений.
22. Особенности голограмм как носителей информации. Применение голограмм.
23. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Основные законы геометрической оптики. Принцип Ферма, уравнение эйконала.
24. Тонкие линзы, построение изображений в оптических системах. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы.
25. Аберрации оптических систем (сферическая, хроматическая, кома, астигматизм, дисторсия).
26. Законы преломления и отражения. Формулы Френеля, закон Брюстера, фазовые соотношения при отражении и преломлении света на границе двух диэлектриков.
27. Описание анизотропных сред, тензор диэлектрической проницаемости, зависимость лучевой скорости от направления распространения.
28. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов. Плоскости поляризации волн, распространяющихся в анизотропной среде, оптическая ось, одноосные и двуосные кристаллы, двойное лучепреломление.

29. Дихроизм поглощения, поляроидные пленки. Интерференция поляризованных волн при прохождении через кристаллы, кристаллическая пластинка в четверть, половину и целую волну.
30. Вращение плоскости поляризации в кристаллических и аморфных веществах.
31. Вращение плоскости поляризации в магнитном поле. Эффект Керра. Эффект Коттона-Мутона. Эффект Поггеля. Эффект Фарадея.
32. Дисперсия света, нормальная и аномальная дисперсия.
33. Рассеяние Ми. Рассеяния Рэлея и Тиндаля.
34. Поглощение света, закон Бугера. Спектры поглощения.
35. Распространение света в проводящих средах, комплексный показатель преломления.
36. Физическая сущность рассеяния Мандельштама-Бриллюэна и комбинационного рассеяния.
37. Закон Кирхгофа, абсолютно черное тело, поглощательная и излучательная способность нагретого тела.
38. Формула Вина, формула Рэлея-Джинса, формула Планка для теплового излучения.
39. Приемники теплового излучения, пирометры, тепловизоры.
40. Виды люминесценции и ее классификация.
41. Характеристики люминесценции: спектр поглощения люминесценции, спектр люминесценции, квантовый выход, длительность, поляризация люминесценции.
42. Линейчатые, полосатые и сплошные спектры молекул. Энергетический спектр сложных молекул.
43. Спонтанное и вынужденное излучение, коэффициенты Эйнштейна. Зависимость населенности энергетических уровней от плотности излучения, инверсная населенность уровней.
44. Принципиальная схема лазера. Порог генерации, условия стационарной генерации.
45. Свойства лазерного излучения, управление параметрами лазерного излучения.
46. Основные типы лазеров: твердотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые.
47. Непрерывные и импульсные лазеры.
48. Метод модулированной добротности.
49. Свойства лазерного излучения.
50. Применение лазеров.
51. Квадратичная нелинейность и нелинейности более высоких уровней.

- 52. Генерация гармоник, условия пространственного синхронизма для удвоения частоты.
- 53. Самовоздействие света в нелинейной среде, самофокусировка и самодифракция.
- 54. Многофотонное поглощение света.
- 55. Эффект Доплера, поперечный эффект Доплера.
- 56. Излучение Вавилова-Черенкова.

Раздел 4. Учебная дисциплина “Физика атома и атомных явлений”

Тема 1. Корпускулярно-волновой дуализм.

Постулаты Бора о стационарных состояниях и частотах излучения при квантовых переходах, диаграммы уровней энергии и оптические спектры. Боровские круговые орбиты, упругие и неупругие столкновения, опыт Франка и Герца. Корпускулярно-волновой дуализм вещества, волны де Бройля, эксперименты по дифракции микрочастиц (электронов, нейтронов, атомов, молекул). Состояния и наблюдаемые в квантовой механике, влияние измерения на состояние физической системы.

Тема 2. Основные положения квантовой механики.

Квантовое состояние и его описание при помощи волновой функции, вероятностная интерпретация волновой функции, принцип суперпозиции. Связь физических величин и операторов, физический смысл собственных величин и собственных значений, операторы координаты, импульса и энергии. Одновременная измеримость физических величин. Совместные наблюдаемые, соотношение неопределенностей для физических величин. Стационарное уравнение Шредингера, квантование энергии. Одномерные задачи квантовой механики, скачок потенциала, прямоугольная потенциальная яма. Линейный гармонический осциллятор, учет аангармоничности. Влияние вида потенциальной кривой на расположение уровней энергии. Потенциальные барьеры, туннельный эффект. Законы сохранения в квантовой механике.

Тема 3. Механический и магнитный моменты атомных систем.

Операторы момента импульса и их свойства, квантование проекций и квадрата момента импульса. Классификация состояний по моменту импульса, векторная модель сложения угловых моментов. Магнитный момент атомной системы, гиромагнитное отношение, магнетон Бора. Пространственное квантование, опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона и других микрочастиц. Полный угловой и магнитный моменты. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитный резонанс и методы его наблюдения (ЭПР и ЯМР).

Тема 4. Квантовая природа света.

Законы фотоэффекта и их обоснование, уравнение Эйнштейна. Фотоэлектрические приемники света (фотоэлементы, фотоумножители, фотодиоды и электронно-оптические преобразователи).

Тема 5. Излучение атомных систем.

Осцилляторы электромагнитного поля и фотоны. Правила отбора и их связь с законами сохранения момента импульса и четности. Время жизни возбужденных состояний, естественная ширина уровня энергии и спектральной линии.

Тема 6. Строение и свойства атомов.

Атом водорода, уровни энергии и волновые функции электрона в водородоподобном атоме, распределение электронной плотности. Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий водорода. Формула Дирака, сверхтонкая структура. Многоэлектронные атомы. Неразличимость одинаковых микрочастиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Понятие самосогласованного поля, эффективная потенциальная энергия. Одноэлектронные состояния, квантовые числа, слои и оболочки. Векторная модель атома, типы связи. Уровни энергии и спектр атома гелия. Последовательность заполнения электронных оболочек, правило Клечковского, правила Хунда. Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов. Рентгеновские уровни энергии и характеристические спектры. Поглощение рентгеновских лучей. Действие магнитного поля на атом, эффект Зеемана в слабых и сильных полях.

Тема 7. Строение и свойства молекул.

Квантовые свойства твердых тел. Виды движений в молекуле, адиабатическое приближение, порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергий. Квантовая природа химической связи в молекулах. Колебания и вращения двухатомных молекул. Квантовые свойства твердых тел. Квантово-размерные эффекты, электрофизические и оптические свойства наноструктур и возможности их использования в современных технологиях.

Примерный перечень вопросов по разделу 4 для подготовки к
государственному экзамену

1. Постулаты Бора о стационарных состояниях и частотах излучения при квантовых переходах, диаграммы уровней энергии и оптические спектры.
2. Боровские круговые орбиты, упругие и неупругие столкновения, опыт Франка и Герца.

3. Корпускулярно-волновой дуализм вещества, волны де Бройля, эксперименты по дифракции микрочастиц (электронов, нейтронов, атомов, молекул).
4. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике, влияние измерения на состояние физической системы.
5. Квантовое состояние и его описание при помощи волновой функции, вероятностная интерпретация волновой функции, принцип суперпозиции.
6. Связь физических величин и операторов, физический смысл собственных величин и собственных значений, операторы координаты, импульса и энергии. Одновременная измеримость физических величин.
7. Совместные наблюдаемые, соотношение неопределенностей для физических величин
8. Стационарное уравнение Шредингера, квантование энергии.
9. Одномерные задачи квантовой механики, скачок потенциала.
10. Одномерные задачи квантовой механики прямоугольная потенциальная яма.
11. Линейный гармонический осциллятор.
12. Учет аангармоничности осциллятора.
13. Влияние вида потенциальной кривой на расположение уровней энергии.
14. Потенциальные барьеры, туннельный эффект.
15. Законы сохранения в квантовой механике.
16. Операторы момента импульса и их свойства, квантование проекций и квадрата момента импульса.
17. Классификация состояний по моменту импульса, векторная модель сложения угловых моментов.
18. Магнитный момент атомной системы, гиромагнитное отношение, магнетон Бора.
19. Пространственное квантование, опыт Штерна и Герлаха.
20. Спин электрона и других микрочастиц.
21. Полный угловой и магнитный моменты. Спин-орбитальное взаимодействие.
22. Магнитный резонанс и методы его наблюдения (ЭПР и ЯМР).
23. Законы фотоэффекта и их обоснование, уравнение Эйнштейна.
24. Фотоэлектрические приемники света (фотоэлементы, фотоумножители).
25. Осцилляторы электромагнитного поля и фотоны. Правила отбора и их связь с законами сохранения момента импульса и четности.

- 26.Время жизни возбужденных состояний, естественная ширина уровня энергии и спектральной линии.
- 27.Атом водорода, уровни энергии и волновые функции электрона в водородоподобном атоме, распределение электронной плотности.
- 28.Тонкая структура уровней энергии и спектральных линий водорода.
- 29.Формула Дирака, сверхтонкая структура.
- 30.Многоэлектронные атомы.
- 31.Неразличимость одинаковых микрочастиц, бозоны и фермионы, принцип Паули.
- 32.Понятие самосогласованного поля, эффективная потенциальная энергия.
- 33.Одноэлектронные состояния, квантовые числа, слои и оболочки.
- 34.Векторная модель атома, типы связи.
- 35.Уровни энергии и спектр атома гелия.
- 36.Последовательность заполнения электронных оболочек, правило Клечковского, правила Хунда.
- 37.Уровни энергии и спектры атомов щелочных металлов.
- 38.Рентгеновские уровни энергии и характеристические спектры.
- 39.Поглощение рентгеновских лучей.
- 40.Действие магнитного поля на атом, эффект Зеемана в слабых и сильных полях.
- 41.Виды движений в молекуле, адиабатическое приближение, порядки величин электронной, колебательной и вращательной энергий.
- 42.Квантовая природа химической связи в молекулах.
- 43.Колебания и вращения двухатомных молекул.
- 44.Квантовые свойства твердых тел.
- 45.Квантово-размерные эффекты, электрофизические и оптические свойства наноструктур и возможности их использования в современных технологиях

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Примеры практических заданий для специализации
1-31 04 08 02 «Физическая информатика»

Задание 1. Для планирования эксперимента Вам необходимо оценить внешнее воздействие излучения на кремниевую пластину. Пластина легирована фосфором с концентрацией 10^{15} см^{-3} . В ходе эксперимента ожидается ее облучение инфракрасным светом инфракрасного диапазона, причем $1/\alpha \gg d$, где α — коэффициент поглощения; d — толщина пластины. Найдите

1. Результирующую концентрацию основных и неосновных носителей заряда если в стационарных условиях генерируется $\Delta n = \Delta p = 10^{12} \text{ см}^{-3}$.

2. Положение квазиуровней электронов и дырок Ферми относительно уровня Ферми в собственном полупроводнике (относительно уровня Ферми в неосвещенном полупроводнике).

Возможное решение:

$$n = 10^{15} + 10^{12} \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

$$p = 2,1 \cdot 10^5 + 10^{12} \approx 10^{12} \text{ см}^{-3}$$

$$E_{Fn} - E_i = kT \ln(n/n_i) = 0,29 \text{ эВ}$$

$$E_i - E_{Fp} = kT \ln(p/n_i) = 0,11 \text{ эВ}$$

$$E_{Fn} - E_F = kT \ln(1 + \Delta n/n_0) \approx 0$$

$$E_F - E_{Fp} = kT \ln(1 + \Delta p/p_0) \approx 0,026 \cdot \ln(0,48 \cdot 10^7) \approx 0,4 \text{ эВ}$$

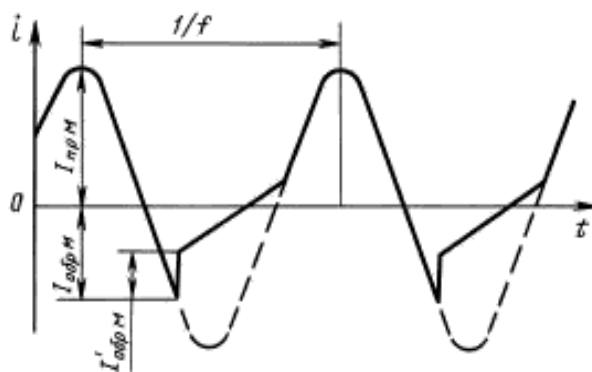
Задание 2. В рамках выполнения НИР необходимо определить эффективное время жизни носителей заряда в импульсных диодных структурах. Предложите методику измерения.

Возможное решение:

Для измерения эффективного времени жизни подключить генератор синусоидального напряжения к диоду через нагрузочное сопротивление. Сигнал с сопротивления вывести на осциллограф. На осциллографе будет наблюдаться следующее изображение. Время жизни рассчитать по формуле:

$$\alpha \approx I'_{\text{обрМ}} / I_{\text{прМ}}$$

ОСЦИЛЛОГРАММА И ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ПРОЦЕСС ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ



$I_{\text{прМ}}$ — прямой ток; $I'_{\text{обрМ}}$ — выброс обратного тока

Задание 3. Для планирования опытно-технологических работ по созданию выпрямительного диода с pn -переходом необходимо иметь предварительные

данные о типовом технологическом маршруте. Предложите предварительную схему маршрута создания дискретного диода с pn -переходом.

Возможное решение:

Простейшая структура диода предполагает формирование области p – n -перехода, сильнолегированной области для обеспечения омического контакта к тыльной стороне, нанесение металлических контактов, нанесение покрытий и корпусирование для защиты диода от внешних воздействий. Соответственно, планируемые технологические операции должны обеспечивать решение данных задач.

- 1 Формирование партии пластин, химобработка (отмывка)
- 2 Пирогенное окисление
- 3 Нанесение и сушка фоторезиста
- 4 Травление окисла до кремния
- 5 Плазмохимическое снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 6 Диффузия фосфора для создания омического контакта к тыльной стороне
- 7 Химобработка, нанесение и сушка фоторезиста
- 8 1-я фотолитография “Анод”**
- 9 Проявление, задубливание фоторезиста
- 10 Плазмохимическое снятие фоторезиста
- 11 Травление окисла
- 12 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 13 Пирогенное окисление (защитное)
- 14 Ионное легирование бором
- 15 Плазмохимическая обработка, химобработка (отмывка)
- 16 Пирогенное окисление (анод)
- 17 Травление окисла до кремния, химобработка (отмывка)
- 18 Отжиг
- 19 Нарращивание среднетемпературного фосфоросиликатного стекла
- 20 Нанесение и сушка фоторезиста
- 21 2-я фотолитография “Контакты”**
- 22 Проявление, задубливание фоторезиста
- 23 Плазмохимическое снятие фоторезиста
- 24 Травление СТФСС
- 25 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 26 Напыление алюминия на планарную сторону
- 27 Нанесение и сушка фоторезиста
- 28 3-я фотолитография “Металлизация”**
- 29 Проявление, задубливание фоторезиста
- 30 Плазмохимическое снятие фоторезиста
- 31 Травление металлизации
- 32 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 33 Напыление алюминия на тыльную сторону
- 34 Вжигание металлизации

Примеры практических заданий для специализации
1-31 04 08 03 «Компьютерное моделирование физических процессов»

Задание 1. В консольном режиме Linux под учетной записью администратора (root) определите всех пользователей, использующих данный хост в текущее время, для каждого пользователя выдайте список его процессов и запишите, объединив их во временном директории в общий файл /tmp/all-user-processes.txt

Возможное решение:

- а) командой `who` определяем текущих пользователей данного хоста
- б) формируем пустой выходной файл для результатов командой `>tmp/all-user-processes.txt`
- в) для каждого из найденных пользователей
 - выполняем команду выдачи всех процессов в системе - `ps ax`
 - и отправляя ее результат на вход команды `grep` для каждого пользователя "user-name" отбираем процессы, связанные с данным пользователем и перенаправляем вывод (добавляем) в созданный файл, полная команда
 - `ps ax |grep "user-name" >>>tmp/all-user-processes.txt`

Задание 2. Пусть в начальный момент времени $t = 0$, когда частица пребывает в равновесном состоянии с функцией распределения $\rho(x, 0) \equiv \rho_-(x; a)$, ее потенциальная энергия претерпевает *мгновенный скачок* от значения $V_a(x)$ к $V_b(x)$. Если следующий за скачком промежуток времени $t \ll \tau_D$, то система успевает отрелаксировать к новому потенциальному рельефу, соответствующему равновесной функции распределения $\rho(x, t) \equiv \rho_-(x; b)$. Вычислить возникающий при этом поток частиц (net fraction) $\Delta\Phi^{ab}(0)$, пересекающих поперечное сечение $x = 0$.

Справочная информация: Броуновские моторы (рэтчеты) – это системы, природные или искусственно созданные, которые могут демонстрировать направленное движение как результат выпрямления неравновесных флуктуаций характеристик наночастиц или воздействующих внешних полей различной природы. Основным уравнением описывающим безынерционное движение броуновской частицы в таких системах, является уравнение Смолуховского, в котором флуктуации вводятся зависимостью потенциальной энергии частицы от времени (периодической или стохастической) $U(x, t)$:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(x, t) + \frac{\partial}{\partial x} J(x, t) = 0 \quad (1)$$

$$J(x, t) = -D e^{-\beta U(x, t)} \frac{\partial}{\partial x} e^{\beta U(x, t)} \rho(x, t) = -D \frac{\partial}{\partial x} \rho(x, t) - \beta D \frac{\partial U(x, t)}{\partial x} \rho(x, t). \quad (2)$$

Средняя сила, действующая на частицу, должна быть $\langle -\partial U(x,t) / \partial x \rangle = 0$; усреднение подразумевается как по пространственной так и временной переменной. Скорость броуновского мотора вычисляется по формуле:

$$\mathfrak{A} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} dt \int_0^L dx J(x,t) \quad (3)$$

Так называемые адиабатически быстрые броуновские моторы функционируют за счет циклических дихотомных переключений профиля потенциальной энергии наночастицы между двумя потенциальными профилями $V_a(x)$ и $V_b(x)$ с большими временами жизни. τ_a и τ_b ($\tau_{a,b} \ll \tau_D$, $\tau_a + \tau_b = \tau$, $\tau_D = L^2 / D$ - характерное время диффузии на периоде L потенциала, D - коэффициент диффузии).

Возможное решение:

Определим долю частиц (средний поток), пересекающих точку x за время t , как:

$$\Phi(x) \equiv \int_0^t dt J(x,t) . \quad (4)$$

Проинтегрируем уравнение непрерывности (1) по времени от 0 до t

$$\rho(x,t) - \rho(x,0) = -\frac{\partial}{\partial x} \int_0^t dt' J(x,t') = -\frac{d}{dx} \Phi(x), \quad (5)$$

а затем, проинтегрируем получившееся выражение по x , получим для $\Phi(x)$:

$$\Phi(x) = \Phi(0) - \int_0^x dy [\rho(y,t) - \rho(y,0)] \quad (6)$$

или, с учетом обозначений в постановке задачи,

$$\Delta\Phi^{ab}(x) = \Delta\Phi^{ab}(0) - \int_0^x dy [\rho_-(y;b) - \rho_-(y;a)]. \quad (7)$$

Подставим в левую часть (7) выражение для $\Delta\Phi^{ab}(x)$ по определению (4) с учетом явного вида оператора потока (2). При этом учтем, что после скачка потенциальная энергия остается равной $V_b(x)$, то есть не зависит от времени:

$$-De^{-\beta V_b(x)} \frac{\partial}{\partial x} e^{\beta V_b(x)} \int_0^t dt' \rho(x,t') = \Delta\Phi^{ab}(0) - \int_0^x dy [\rho_-(y;b) - \rho_-(y;a)]. \quad (8)$$

Умножим левую и правую части уравнения (8) на $e^{\beta V_b(x)}$ и проинтегрируем полученное уравнение по x на пространственном периоде от 0 до L :

$$0 = \Delta\Phi^{ab}(0) \int_0^L dx e^{\beta V_b(x)} - \int_0^L dx \left[e^{\beta V_b(x)} \int_0^x dy [\rho_-(y;b) - \rho_-(y;a)] \right]. \quad (9)$$

Левая часть (9) равна нулю из-за интегрирования по пространственному периоду слагаемого с $\partial / \partial x$ от периодической функции $e^{\beta V_b(x)} \int_0^t dt' \rho(x,t')$. Итак, доля частиц $\Delta\Phi^{ab}(0)$, пересекающих сечение $x=0$, равна

$$\Delta\Phi^{ab}(0) = \int_0^L dx \rho_+(x;b) \int_0^x dy [\rho_-(y;b) - \rho_-(y;a)], \quad (10)$$

то есть мы и получили искомую величину. $\rho_{\pm}(x;a)$ и $\rho_{\pm}(x;b)$ определяются соотношениями $V_b(x)$:

$$\rho_{\pm}[x; a(b)] \equiv \frac{e^{\pm \beta V_{a(b)}(x)}}{\int_0^L dx e^{\pm \beta V_{a(b)}(x)}}. \quad (11)$$

Обозначим $\phi \equiv \Phi(0)$ долю частиц, пересекающих точку $x=0$ за период τ изменения потенциальной энергии. Для установившихся периодических процессов [$\rho(x, \tau) = \rho(x, 0)$] функция $\Phi(x)$ не зависит от x , и именно величина ϕ определяет среднюю скорость и соответствующий ей средний поток. Действительно, по определению средней скорости мотора $\mathfrak{A} = \tau^{-1} \int_0^{\tau} dt \int_0^L dx J(x, t) = \tau^{-1} \int_0^L dx \Phi(x) = \tau^{-1} \int_0^L dx \Phi(0) = L \langle J \rangle_{\tau}$, где $\langle J \rangle_{\tau} \equiv \tau^{-1} \phi$ - средний поток.

Примеры практических заданий для специализации 1-31 04 08 04 «Физическая метрология и автоматизация измерений»

Задание 1. Оптический резонатор для He-Ne лазера ($\lambda = 632.8$ нм) образован двумя сферическими зеркалами с радиусами кривизны $R_1 = 2.0$ м и $R_2 = 2.5$ м. База резонатора $d = 1.0$ м. Определите: 1) будет ли такой резонатор устойчив; 2) положение “перетяжки” гауссова пучка относительно вершин зеркал; 3) радиус пучка в “перетяжке” и на зеркалах; 4) радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка в “перетяжке” и на зеркалах; 5) минимальный радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка.

Возможное решение:

1) Критерий устойчивости сферического резонатора:

$$0 < \left(1 - \frac{d}{R_1}\right) \left(1 - \frac{d}{R_2}\right) < 1$$

Подстановка параметров резонатора приводит к условию:

$$0 < 0.3 < 1,$$

т.е. резонатор устойчив.

2) Радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка:

$$R(z) = z \left(1 + \frac{z_0^2}{z^2}\right), \quad (1)$$

где z_0 – рэлеевская длина:

$$z_0 = \frac{\pi \rho_0^2}{\lambda}, \quad (2)$$

ρ_0 – радиус пучка в “перетяжке”:

$$\rho_0 = \sqrt{\left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \frac{(R_1 - d)(R_2 - d)(R_1 + R_2 - d)d}{(R_1 + R_2 - 2d)^2}}. \quad (3)$$

На зеркале радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка совпадает с радиусом кривизны зеркала. Тогда из (1) получаем координаты зеркал относительно “перетяжки” ($z = 0$):

$$z = \frac{\pm R \pm \sqrt{R^2 - 4z_0^2}}{2}. \quad (4)$$

Из (4) получаем z -координату (положение) вершины 1-го (левого) зеркала:

$$z_1 = \frac{-R_1 + \sqrt{R_1^2 - 4z_0^2}}{2} \quad (5)$$

и координату 2-го зеркала (правого):

$$z_2 = \frac{R_2 - \sqrt{R_2^2 - 4z_0^2}}{2}. \quad (6)$$

При этом сумма $|z_1| + z_2$ должна быть равна базе резонатора d . Подстановка параметров резонатора и длины волны в (2), (3), (5) и (6) приводит к значениям $z_1 = -0.6$ м и $z_2 = 0.4$ м.

3) Радиус пучка в “перетяжке” рассчитывается по (3): $\rho_0 = 0.43$ мм. Радиус пучка на расстоянии z от “перетяжки”:

$$\rho(z) = \rho_0 \sqrt{1 + \frac{z_0^2}{z^2}}. \quad (7)$$

Подстановка (5) и (6) в (7) даёт радиусы пучка на зеркалах: $\rho_1 = 0.51$ мм и $\rho_2 = 0.47$ мм.

4) В “перетяжке” волновой фронт гауссова пучка плоский, т.е. радиус кривизны волнового фронта стремиться к бесконечности, на зеркалах радиусы кривизны волнового фронта гауссова пучка совпадают с радиусами кривизны зеркал.

5) Минимальный радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка находится из (1):

$$\frac{dR}{dz} = 0 \Rightarrow z_{min} = z_0 \Rightarrow R_{min} = R(z_{min}) = 2z_0.$$

Тогда с учётом (2) и (3) получаем $R_{min} = 1.833$ м.

Задание 2. Считая, что значения вращательных постоянных молекул H_2^1 и $C^{12}O^{16}$ составляют $59,3$ и $1,95 \text{ см}^{-1}$ соответственно, определить разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательных ИК и КР спектров (пренебрегая центробежным растяжением).

Возможное решение:

Молекула $C^{12}O^{16}$ состоит из разных атомов и обладает постоянным дипольным моментом. Следовательно, она обладает как КР, так и ИК чисто вращательными спектрами. Энергия стационарных вращательных уровней двухатомных молекул, выраженная в волновых числах в отсутствии центробежного растяжения может быть записана следующим образом: $E_J = BJ(J+1)$. Учитывая, что правила отбора в ИК и КР спектрах имеют вид: $\Delta J = \pm 1$; и $\Delta J = \pm 2$; соответственно, не сложно получить, что компонентам чисто вращательного ИК спектра, обусловленным переходами следующих видов: $J = 0 \Rightarrow J = 1$; $J = 1 \Rightarrow J = 2$; $J = 2 \Rightarrow J = 3$; соответствуют волновые числа $2B$, $4B$, $6B$; в то время как компонентам чисто вращательного КР спектра, обусловленным

переходами следующих видов: $J = 0 \Rightarrow J = 2$; $J = 1 \Rightarrow J = 3$; $J = 2 \Rightarrow J = 4$; соответствуют волновые числа $6B$, $10B$, $14B$;

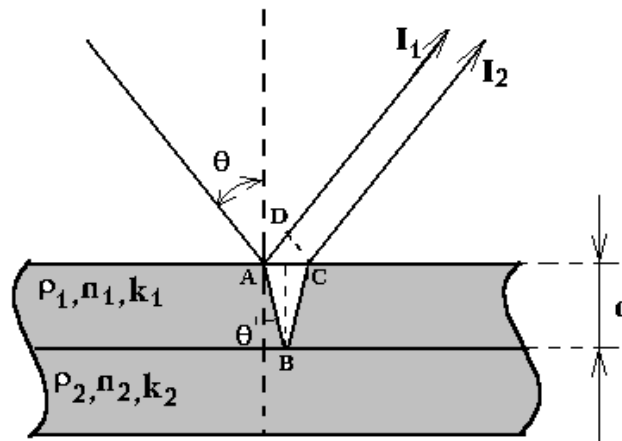
Следовательно, разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного ИК спектра $C^{12}O^{16}$ составит $2B=3,9 \text{ см}^{-1}$. А разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра $C^{12}O^{16}$ составит $4B=7,8 \text{ см}^{-1}$.

Молекула H_2^1 состоит из одинаковых атомов, имеющих кроме того идентичные ядра – протоны. Следовательно, ее постоянный дипольный момент равен нулю. Уже в связи с этим, чисто вращательный ИК спектр для молекулы H_2^1 не реализуется. Кроме того, в таких случаях необходимо учитывать симметрию волновых функций по отношению к перестановке ядер местами. Поскольку протоны являются фермионами, то полная волновая функция должна быть антисимметрична по отношению к перестановке протонов местами. Как известно, вращательные волновые функции симметричны по отношению перестановке ядер местами для четных J и антисимметричны для нечетных J . В первом случае спиновая волновая функция должна быть антисимметричной (пара-водород: $s=0$), а во-втором – симметричной (орто-водород: $s=1$). Учитывая правила отбора, следует отметить, что чисто вращательный ИК спектр молекулы H_2^1 будет также запрещен как результат переходов между состояниями с различными значениями спиновых квантовых чисел s . В то же время чисто вращательный спектр КР будет разрешен, так как правило отбора $\Delta J = \pm 2$ обеспечивает переходы между состояниями с одинаковыми значениями квантовых чисел s . Кроме того, тот факт, что постоянный дипольный момент H_2^1 равен нулю не препятствует формированию чисто вращательного спектра КР. Таким образом, разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра H_2^1 составит $4B=237,2 \text{ см}^{-1}$.

Задание 3. Предложите методику измерения толщины тонкого эпитаксиального слоя, выращенного на подложке. Эпитаксиальный слой является оптически прозрачным.

Возможное решение:

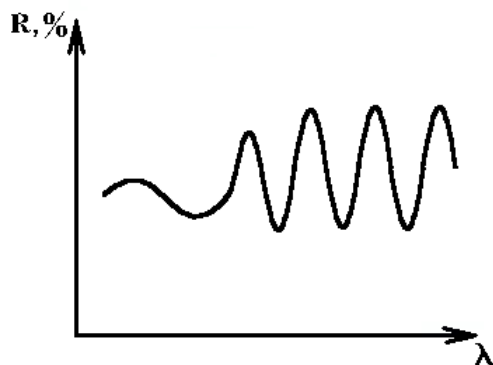
Для измерения толщины слоя можно воспользоваться одним из оптических методов, например, методом интерференционной спектроскопии.



Физической основой метода является интерференционный эффект, возникающий при отражении оптических лучей как от поверхности, так и от границы слой-подложка. Если длина волны падающего излучения меняется, то в результате сложения колебаний I_1 и I_2 будут наблюдаться максимумы и минимумы интенсивности отражённого света, соответствующие тем длинам волн, для которых разность фаз между лучами I_1 и I_2 равна целому числу полуволн. Результирующая разность фаз определится фазовыми сдвигами, которые испытывают лучи света при отражении от структуры и оптической разностью хода между лучами I_1 и I_2 . В точке А отражённый луч изменяет свою фазу на $\varphi_1 = \pi$, так как отражение происходит от оптически более плотной непоглощающей среды. В точке В отражённый луч испытывает сдвиг фаз φ_2 , который зависит от оптических констант подложки (n_2 и k_2). Так как n_2 и k_2 являются функциями длины волны, то и φ_2 изменяется с длиной волны.

Таким образом, результирующая разность фаз между лучами I_1 и I_2 равна $\Delta = 2\pi \frac{(AB + BC)n_1}{\lambda} - \frac{2\pi AD}{\lambda} + \pi - \varphi_2$. Из этой формулы с помощью геометрических преобразований можно выразить толщину слоя. Для более точных расчётов необходимо измерять несколько положений экстремумов.

Измерения можно провести на спектрофотометре с приставкой для измерения коэффициента отражения.



Задание 4. Определить тип симметрии составного колебания, сформированного фундаментальными колебаниями типов B_1 и B_2 , в молекуле CH_2Cl_2 , принадлежащей к точечной группе симметрии C_{2v} .

Возможное решение:

Таблица характеров неприводимых представлений группы C_{2v} (прилагается) имеет вид:

C_{2v}	E	C_2	$\sigma(xz)$	$\sigma(yz)$
A_1	1	1	1	1
A_2	1	1	-1	-1
B_1	1	-1	1	-1
B_2	1	-1	-1	1

Тип симметрии составного колебания определяется прямым произведением типов симметрии фундаментальных колебаний молекулы, формирующих данное составное колебание ($\Gamma_{\text{сост}} = \Gamma_{B_1} \otimes \Gamma_{B_2}$). Используя таблицу характеров неприводимых представлений, получим характеры представления составного колебания: 1, 1, -1, -1 в классах E, C_2 , $\sigma(xz)$ и $\sigma(yz)$ соответственно. Воспользовавшись еще раз таблицей характеров убеждаемся, что данное составное колебание относится к типу симметрии A_2 .

Ответ: A_2 .

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Савельев, И.В. Курс общей физики : учебное пособие в 5 т. / И. В. Савельев. - Изд. 5-е, испр. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2022– Т. 3 : Молекулярная физика и термодинамика. - 2022. – 208 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 3 т. / И. В. Савельев. - Изд. 16-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2022– Т. 2 : Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - 2022. - 496 с.
3. Электричество и магнетизм. Руководство для самостоятельной работы : пособие для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальностям "Физика (по направлениям)", "Ядерная физика и технологии", "Физика наноматериалов и нанотехнологий", "Компьютерная физика" / [авт.: И. Н. Медведь и др.] ; БГУ. - Минск : БГУ, 2021. - 103 с.
4. Оптика: учебное пособие для студентов физических специальностей высших учебных заведений / Г. С. Ландсберг. - Изд. 7-е, стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021. - 848 с.
5. Савельев, И.В. Курс общей физики: учебное пособие для студентов вузов: в 3 т. / И. В. Савельев. - Изд. 13-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021–. Т. 3 : Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - 2021. – 317 с.

Дополнительная литература

1. Зализняк В.Е. Основы вычислительной физики: учебное пособие для студ. вузов. М.: Техносфера, Ч.1, Ч.2, 2008.
2. А.А. Самарский, А.П. Михайлов. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. - М., Наука. 2002 г.
3. А.В. Никитин, А.И. Слободянюк, М.Л. Шишаков. Компьютерное моделирование физических процессов. М.: Бином, 2011.
4. А. Пол. Объектно-ориентированное программирование на C++. “Невский диалект”, 2001
5. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. Москва. - 2004.
6. А.М. Бельский. Оптика когерентных пучков: Мн.: БГУ, 2000.
7. С.Н. Курилкина, А.А. Минько. Нелинейная оптика. Минск: БГУ, 2010.
8. Комяк А.И. Молекулярная спектроскопия. Мн.: БГУ, 2015.
9. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн.: БГУ, 2009.
10. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. Москва: ЛИБРОКОМ, 2017

- 11.И.И. Богданов. Теория групп. ФИВТ. МФТИ. 2016.
- 12.Шалимова К.В. Физика полупроводников.— С-Пб.: “Лань”, 2010 г. — 384с.
- 13.Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники.— С-Пб.: “Лань”, 2013 г. — 560с.
- 14.Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. — С-Пб.: “Лань”, 2017 г. — 596с.
- 15.Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики. .— С-Пб.: “Лань”, 2015 г. —448с.
- 16.Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы.— СПб.: Издательство “Лань”, 2009.— 480 с.
- 17.Матвеев А.Н. Молекулярная физика. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 368 с.
- 18.Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 464 с.
- 19.Саржевский А.М. Оптика / Саржевский А.М.— М.: УРСС, 2018.— 608 с.
- 20.Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 9-е, 2016.— 508 с
- 21.Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 4-е, 2016.— 656 с.
- 22.Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм.— М.: Физматлит, изд. 11-е, 2003.— 616 с.
- 23.Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов.— СПб.: БХВ-Петербург, изд. 3-е, 2011.— 704 с.
- 24.Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2016.— 800 с
- 25.Базаров, И.П. Термодинамика / И.П. Базаров.— СПб.: Лань, изд. 5-е, 2010.— 384 с.
- 26.Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Ч.1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2013.— 616 с
- 27.Леонтович, М.А. Введение в термодинамику / М.А. Леонтович.— СПб.: Лань, изд. 2-е, 2008.— 432 с.