

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.Н. Здрок

(подпись) (И.О.Фамилия)

« 09 » декабря 2020 г.

Регистрационный № УД- 9218 /уч.

**ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

по специальности, направлению специальности, специализации

для специальности

1-31 04 01 – Физика (по направлениям)

направлений специальности:

1-31 04 01-01 – Физика (научно-исследовательская деятельность),

1-31 04 01-04 – Физика (управленческая деятельность)

2020 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01-2013 утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88 и учебных планов №G31-163/уч., №G31-161/уч. и №G31и-174/уч., №G31и-176/уч. от 30.05.2013, типовых программ по дисциплинам Механика № ТД-G538/тип от 07.09.2015, Молекулярная физика № ТД-G540/тип от 07.09.2015, Электричество и магнетизм № ТД-G539/тип от 07.09.2015, Оптика № ТД-G537/тип от 07.09.2015, Теоретическая механика № ТД-G.570/тип от 05.04.2016, Электродинамика № ТД-G.571/тип от 05.04.2016, Квантовая механика № ТД-G.573/тип от 05.04.2016, Термодинамика и статистическая физика № ТД-G.318/тип от 13.07.2010, «Физика атома и атомных явлений» ТД-G.572/тип. от 05.04.2016, «Физика ядра и элементарных частиц» ТД-G.553/тип. от 17.03.2016.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.И. Горбачук — зам. декана физического факультета, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Хмельницкий — доцент кафедры биофизики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

И.Н. Медведь — доцент кафедры общей физики БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент;

Г.Г. Мартинович — зав. кафедрой биофизики, д-р. биол. наук, доцент;

А.В. Новицкий — профессор кафедры теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

В.Б. Оджаев — зав. кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

О.Г. Романов — зав. кафедрой компьютерного моделирования, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Слободянюк — зав. кафедрой общей физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.Л. Толстик — зав. кафедрой лазерной физики и спектроскопии, д-р. физ.-мат. наук, профессор;

Н.К. Филиппова — доцент кафедры высшей математики и математической физики, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.Н. Фурс — зав. кафедрой теоретической физики и астрофизики, д-р. физ.-мат. наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Советом физического факультета
(протокол № 4 от 28.11.2020);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 07.12.2020)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Государственный экзамен является одной из обязательных составляющих итоговой аттестации студентов. Программа комплексного государственного экзамена по специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям), направлениям специальности 1-31 04 01-01 – Физика (научно-исследовательская деятельность) и 1-31 04 01-04 – Физика (управленческая деятельность) 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 комплексного государственного экзамена определяет и регламентирует структуру и содержание комплексного государственного экзамена по специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям) направлениям специальности: 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность), 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность).

В программу комплексного государственного экзамена включаются следующие учебные дисциплины:

- цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин — «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика».
- цикла специальных дисциплин:
 - для направления специальности 1-31 04 01-01 – Физика (научно-исследовательская деятельность) — «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теория групп симметрии», «Физика коллоидных систем», «Физика биосистем», «Физико-химия поверхности», «Физика волновых процессов», «Физика конденсированных сред», «Нелинейная физика»;
 - для направления специальности 1-31 04 01-04 – Физика (управленческая деятельность) — «Микроэкономика», «Макроэкономика и международные экономические отношения», «Маркетинг», «Бухгалтерский учет», «Экономический анализ деятельности организации», «Менеджмент», «Финансы и финансовый менеджмент»;
- цикла дисциплин специализаций:
 - для направления специальности 1-31 04 01-01 – Физика (научно-исследовательская деятельность) — 1-31 04 01-01 01 Теоретическая физика; 1-31 04 01-01 03 Биофизика; 1-31 04 01-01 05 Лазерная физика и спектроскопия; 1-31 04 01-01 06 Физика полупроводников и диэлектриков;

- для направления специальности 1-31 04 01-04 – Физика (управленческая деятельность) — 1-31 04 01-04 25 Физическая информатика.

Комплексный государственный экзамен проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии.

Цель проведения комплексного государственного экзамена по специальности – выявление компетенций специалиста, т. е. теоретических знаний и практических умений, необходимых для решения теоретических и практических задач специалиста с высшим образованием.

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

В рамках подготовки по общенаучным и общепрофессиональным дисциплинам по специальности 1-31 04 01 – Физика (по направлениям), выпускник должен:

знать:

- основные понятия и законы механики; законы сохранения; основы механики сплошной среды; уравнения движения в разных формулировках; основные уравнения для идеальной и вязкой жидкостей;
- общие методы измерений физических величин; статистический и термодинамический подходы к описанию термодинамических систем; основные законы и методы термодинамики; основные принципы статистической механики; микрочаноническое 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;
- физическое обоснование периодической системы элементов; свойства и модели атомных ядер; свойства ядерных сил; физические принципы ядерной энергетики; основные представления об элементарных частицах и взаимодействиях;

уметь:

- решать задачи по кинематике, динамике, механике сплошной среды; использовать законы сохранения при решении задач; рассчитывать характеристики движения частиц в силовых полях; рассчитывать параметры колебаний механических систем в гармоническом приближении;

- 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;
- вычислять энергию связи ядер и энергетический выход ядерных реакций; использовать законы квантовой физики для объяснения ядерных процессов;

владеть:

- методами экспериментальных исследований механических явлений и процессов; методами обработки результатов экспериментальных исследований; математическими методами решения задач по механике; основными методами получения уравнений движения механических систем; общими методами решения уравнений движения;
- 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
- методами расчета характеристик радиоактивного распада и ядерных реакций; методами анализа кинематических характеристик ядерных процессов.

В рамках подготовки по дисциплинам направления специальности 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) выпускник должен:

знать:

- основной математический аппарат для изучения дискретных распределений, главные математические методы работы с непрерывными распределениями;
- основные понятия теории групп и представлений групп, принципы использования симметрии в физике;
- основные положения кинетики химических реакций, представления о свойствах растворов и дисперсных систем;
- основные физико-химические процессы в биосистемах, структуру, свойства и функции клеток и биологических молекул;
- методы формирования и исследования поверхностей;
- основные положения и приложения физики волновых процессов, методы аналитического интегрирования нелинейных волновых задач;
- методы качественного анализа динамических систем;
- основы теории устойчивости решений дифференциальных уравнений и теории бифуркаций;
- области применения физики конденсированных сред и методы описания твердых тел, физические механизмы квантово-размерных эффектов;

уметь:

- решать физические задачи вероятностными методами, строить вероятностные математические модели реальных физических процессов;
- использовать методы теории групп и их представлений в приложениях;
- анализировать теоретические и экспериментальные результаты исследования физических, химических и биологических процессов на различных уровнях структурной организации живого;
- использовать методы теории колебаний и волн для описания реальных систем и применять полученные знания в самостоятельных разработках;
- классифицировать бифуркации стационарных и периодических решений, использовать методы теории возмущений для анализа эволюционных систем;
- использовать методы теоретической физики для описания макроскопических систем и применять полученные знания в самостоятельных разработках;

владеть:

- методами теории вероятностей, используемыми в физических приложениях и приемами математической статистики при обработке и анализе экспериментальных данных.
- методами анализа свойств молекул и кристаллов на основе их симметрии.
- методами исследования физико-химических свойств растворов, коллоидных систем.
- навыками анализа информации о физико-химических свойствах живых систем.
- методами расчета основных характеристик кристаллов и структур в

приповерхностной области.

- навыками качественного и количественного описания колебательных процессов в динамических системах;
- математическим аппаратом для анализа поведения нелинейных динамических систем.
- навыками квантового описания когерентных процессов в конденсированных средах и знаниями основных приближений, используемых в физике твердого тела.

В рамках подготовки по дисциплинам направления специальности 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность) выпускник должен:

знать:

- факторы, определяющие поведение экономических субъектов, особенности ценообразования, основные категории макроэкономики;
- роль денежной, финансовой и кредитной систем страны в общественном воспроизводстве;
- современную концепцию маркетинга, принципы ценовой политики;
- функции бухгалтерского учета, методологические приемы отражения хозяйственных операций на счетах бухгалтерского учета, основы бухгалтерской отчетности;
- методику экономического анализа, приемы обработки экономической информации;
- основные функции менеджмента, виды структур управления, цели налогового, финансового и конфликтного менеджмента;

уметь:

- анализировать экономические показатели;
- подбирать критерии для оценки рыночной конъюнктуры;
- выполнять расчеты по калькулированию цены продукции, работ, услуг;
- заполнять первичные учетные документы (ведомости начисления заработной платы, товарные накладные, приходные и расходные кассовые ордера, авансовый отчет), а также учетные регистры (журналы-ордера, оборотные ведомости);
- составлять бухгалтерский баланс, формировать отчет о прибылях и убытках;
- принимать объективные научно-обоснованные решения по улучшению и усилению функций управления экономикой предприятия, оценивать эффективность менеджмента;

владеть:

- приемами микроэкономического анализа, навыками оценки экономических факторов, влияющих на поведение отдельных экономических субъектов.
- инструментарием макроэкономического анализа для исследования практических экономических проблем;
- навыками разработки маркетинговой стратегии предприятия;
- навыками выполнения экономических расчетов, необходимых для ведения бухгалтерских документов;

- навыками описания организации как объекта управления;
- навыками построения, анализа и корректировки организационных структур управления;
- навыками принятия управленческих решений.

Освоение образовательной программы специальности 1-31 04 01 Физика (по направлениям) должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных компетенций:

академические компетенции:

- Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- Владеть системным и сравнительным анализом.
- Владеть исследовательскими навыками.
- Уметь работать самостоятельно.
- Быть способным порождать новые идеи (обладать креативностью).
- Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.
- Обладать навыками устной и письменной коммуникации.
- Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

социально-личностные компетенции:

- Обладать качествами гражданственности.
- Быть способным к социальному взаимодействию.
- Обладать способностью к межличностным коммуникациям.
- Владеть навыками здоровьесбережения.
- Быть способным к критике и самокритике.
- Уметь работать в команде.

Освоение образовательной программы направления специальности: 1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность) должно обеспечить формирование следующих **профессиональных** компетенций:

- Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики, современных технологий и материалов, методы исследования физических объектов, методы измерения физических величин, методы автоматизации эксперимента.
- Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, научное оборудование и аппаратуру.
- Проводить планирование и реализацию физического эксперимента, оценивать функциональные возможности сложного физического оборудования.
- Пользоваться глобальными информационными ресурсами, компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

– Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

Освоение образовательной программы направления специальности 1-31 04 01-04 Физика (управленческая деятельность) должно обеспечить формирование следующих **профессиональных** компетенций:

– Применять знания физических основ современных технологий, средств автоматизации, методов планирования и организации производства, правового обеспечения хозяйственной деятельности и налоговой системы, современного предпринимательства, государственного регулирования экономики и экономической политики.

– Вести переговоры, разрабатывать планы сотрудничества с другими организациями.

– Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

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

В ходе подготовки экзаменуемые имеют право использовать учебные программы соответствующих дисциплин, научную и справочную литературу.

На подготовку к ответу обучающемуся отводится не менее 30 минут (но не более 1 астрономического часа). Время, которое отводится на ответ одного экзаменуемого, – до 30 минут.

Структура экзаменационного билета

Вопросы экзаменационного билета:

- по учебным дисциплинам «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома и атомных явлений», «Физика ядра и элементарных частиц», «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика» отражают содержание образовательной программы по специальности 1-31 04 01 – Физика (по направлениям);
- по учебным дисциплинам «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теория групп симметрии», «Физика коллоидных систем», «Физика биосистем», «Физико-химия поверхности», «Физика волновых процессов», «Физика конденсированных сред», «Нелинейная физика» и дисциплинам специализаций 1-31 04 01-01 01 Теоретическая физика; 1-31 04 01-01 03 Биофизика; 1-31 04 01-01 05 Лазерная физика и спектроскопия; 1-31 04 01-01 06 Физика полупроводников и диэлектриков отражают содержание образовательной программы для направления специальности 1-31 04 01-01 – Физика (научно-исследовательская деятельность);
- по учебным дисциплинам «Микроэкономика», «Макроэкономика и международные экономические отношения», «Маркетинг», «Бухгалтерский учет», «Экономический анализ деятельности организации», «Менеджмент», «Финансы и финансовый менеджмент» и дисциплинам специализации 1-31 04 01-04 25 Физическая информатика — отражают содержание образовательной программы для направления специальности 1-31 04 01-04 – Физика (управленческая деятельность)

Экзаменационный билет состоит из двух частей: теоретической (2 вопроса) и практической (1 задание). В практическую часть включены задания исследовательского типа, ситуационные задания, мини кейсы и т.п. по циклам дисциплин специализаций, позволяющие оценить полученные в процессе обучения знания и практические навыки.

Характеристика теоретической части: первый вопрос билета относится к дисциплинам общей и теоретической физики (раздел 1 «Общая и теоретическая физика» теоретической части), второй вопрос билета — к

дисциплинам направления специальности (раздел 2 «Дисциплины направления специальности»).

Содержание практической части экзаменационного билета соответствует программам циклов дисциплин специализации (раздел 1 практической части «Содержание дисциплин специализации»). Примеры заданий представлены в разделе 2 «Примеры практических заданий».

Для уточнения экзаменационной отметки обучающемуся, могут быть заданы дополнительные вопросы в соответствии с программой государственного экзамена.

СОДЕРЖАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Раздел 1. ОБЩАЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Учебные дисциплины: «МЕХАНИКА», «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА».

1. **Кинематика материальной точки.** Способы описания движения материальной точки. Система отсчета. Траектория и длина пути. Вектор перемещения. Скорость. Ускорение.

2. **Основная задача динамики. Законы Ньютона.** Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Сила, масса, импульс. Второй закон Ньютона. Принцип независимости действия сил. Третий закон Ньютона.

3. **Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.** Формулировка принципа наименьшего действия. Необходимое условие экстремальности действия. Уравнения Лагранжа. Свойства функции Лагранжа (аддитивность, эквивалентность, невырожденность). Нахождение закона движения механической системы методом Лагранжа.

4. **Гамильтонова форма уравнений механики.** Переменные состояния в гамильтоновой механике. Фазовое пространство. Связь между функциями Лагранжа и Гамильтона. Физический смысл функции Гамильтона. Канонические уравнения. Нахождение закона движения механической системы методом Гамильтона.

5. **Фундаментальные законы сохранения в классической механике.** Связь законов сохранения со свойствами симметрии пространства и времени. Определения однородности и изотропности пространства и времени. Закон сохранения энергии и его связь с однородностью времени. Закон сохранения импульса и его связь с однородностью пространства. Закон сохранения момента импульса и его связь с изотропностью пространства.

6. **Движение в центральном силовом поле.** Закон Кулона и закон всемирного тяготения. Определение центрально-симметричного поля. Свойства силы, действующей на частицу в центральном поле. Сохранение момента импульса и закон площадей. Нахождение закона движения из первых интегралов движения. Общие свойства траекторий в кулоновском поле.

7. **Линейные колебания механических систем.** Свободные колебания системы с одной степенью свободы в гармоническом приближении. Частота, амплитуда и фаза колебания. Изохронность колебаний. Вынужденные колебания при отсутствии трения. Резонанс. Характеристическое уравнение. Собственные частоты колебаний. Нормальные колебания и нормальные координаты.

8. **Кинематика твердого тела.** Степени свободы твердого тела. Разложение движения твердого тела на слагаемые движения. Виды

движения. Векторы угловой скорости и углового ускорения. Мгновенная ось вращения.

9. **Динамика вращательного движения. Уравнения Эйлера.** Тензор инерции, главные оси и главные моменты инерции твердого тела. Кинетическая энергия и момент импульса твердого тела. Свободное вращение шарового и симметрического волчков. Прецессия. Динамические уравнения Эйлера для вращательного движения.

Учебные дисциплины: «МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА», «ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

10. **Первое начало термодинамики.** Работа. Теплота. Внутренняя энергия. Физическое содержание первого начала термодинамики. Функции состояния и полные дифференциалы.

11. **Второе начало термодинамики.** Циклические процессы. Работа цикла. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Цикл Карно. Теоремы Карно. Формулировки Клаузиуса и Кельвина второго начала термодинамики.

12. **Энтропия.** Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа, ее физический смысл и расчет в процессах идеального газа. Формулировка второго начала термодинамики с помощью энтропии. Статистический характер второго начала термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах.

13. **Фазовые состояния и фазовые превращения.** Переход из газообразного состояния в жидкое. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кристаллизация и плавление. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Фазовые переходы первого и второго рода.

14. **Статистические распределения.** Распределение Больцмана, Максвелла, Гиббса. Распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.

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

Учебные дисциплины: «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ», «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

16. **Электростатическое поле в вакууме.** Электрическое поле. Напряженность и потенциал электрического поля. Основная задача электростатики. Энергия электрического поля.

17. **Электростатическое поле при наличии проводников и диэлектриков.** Поле заряженного проводника. Механизмы поляризации полярных и неполярных диэлектриков. Вектор поляризованности.

18. **Стационарное магнитное поле.** Закон Ампера. Теорема Био-Савара-Лапласа. Вихревой характер магнитного поля. Контур с током в магнитном поле. Энергия магнитного поля.

19. **Магнитные свойства вещества.** Вектор и токи намагничивания. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма.

20. **Электрический ток и его поле.** Характеристики тока. Уравнение непрерывности. Законы стационарного тока. Критерий квазистационарности тока.

21. **Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла.** Явление электромагнитной индукции (закон Фарадея). Сила Лоренца. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла и их физический смысл.

22. **Электромагнитные волны.** Волновые уравнения и их решения. Плоская электромагнитная волна, ее свойства и характеристики. Вектор Умова-Пойнтинга. Распространение электромагнитных волн в однородных изотропных средах и в неограниченной проводящей среде.

Учебная дисциплина «ОПТИКА»

23. **Интерференция света.** Когерентность колебаний. Интерференция волн. Способы получения интерференционной картины. Интерференция в тонких плёнках. Интерферометры.

24. **Дифракция света.** Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля на простейших преградах. Дифракция Фраунгофера на одной щели. Дифракционная решётка. Дифракция света на многомерных структурах.

25. **Поляризация света.** Естественный и поляризованный свет. Поляризация излучения при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков. Анизотропия оптических свойств кристаллов. Двулучепреломление. Поляризационные приборы.

26. **Геометрическая оптика.** Основные законы геометрической оптики, пределы их применимости. Принцип Ферма. Линзы, зеркала, центрированные оптические системы. Кардинальные элементы идеальной оптической системы.

27. **Дисперсия света.** Нормальная и аномальная дисперсия. Фазовая и групповая скорости света. Спектральные приборы.

28. **Поглощение и рассеяние света.** Поглощение света. Рассеяние Рэлея и Ми. Комбинационное рассеяние.

29. **Лазер.** Спонтанное и вынужденное излучения. Люминесценция. Принцип работы лазера. Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров: твёрдотельные, жидкостные, газовые, полупроводниковые.

Учебные дисциплины: «ФИЗИКА АТОМА И АТОМНЫХ ЯВЛЕНИЙ», «КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА»

30. **Корпускулярно-волновой дуализм.** Фотоэффект и эффект Комптона. Фотоны. Опыты по дифракции микрочастиц. Сосуществование корпускулярных и волновых свойств у микрообъектов.

31. **Теория Бора и атом водорода.** Постулаты Бора и модель атома водорода согласно теории Бора. Опыты Франка и Герца. Стационарные

состояния и уровни энергии атома водорода. Квантовые числа. Распределение электронной плотности.

32. **Волновая функция.** Вероятностная интерпретация волновой функции. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.

33. **Момент импульса микрочастиц.** Орбитальный и спиновый моменты микрочастиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.

34. **Строение многоэлектронных атомов.** Заполнение электронных слоев и оболочек атомов. Основные закономерности периодической системы элементов.

35. **Строение и свойства молекул.** Природа химической связи. Виды движения в молекуле. Электронные кривые, колебательные и вращательные состояния двухатомных молекул. Молекулярные спектры.

36. **Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.** Влияние измерения на состояние физической системы как для чистых, так и для смешанных состояний. Статистическое распределение результатов измерения.

37. **Одновременная измеримость физических величин.** Совместные наблюдаемые. Понятие о полном наборе совместных наблюдаемых. Соотношение неопределенностей для физических величин.

38. **Принцип причинности в квантовой механике.** Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем. Время в квантовой механике. Квантовомеханические уравнения движения. Понятия о картинах изменения состояния (картины Шрёдингера, Гейзенберга и Дирака). Уравнение Шрёдингера для амплитуд вероятностей. Стационарные состояния и их свойства. Теорема Эренфеста.

39. **Интегралы движения в квантовой механике.** Квантовые переходы. Понятие об интеграле движения. Связь интегралов движения с симметрией системы: импульс и момент импульса как интегралы движения для замкнутой системы. Соотношение неопределённости для энергии. Вероятности переходов.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

40. **Статические свойства атомных ядер и ядерные модели.** Статические свойства атомных ядер. Удельная энергия связи ядра. Основные свойства ядерных сил и ядерные модели.

41. **Явление радиоактивности и альфа-распад.** Основной закон радиоактивного распада. Энергетические условия и механизм альфа-распада.

42. **Бета-распад.** Энергетические условия, спектр, нейтрино. Нарушение Р-четности при бета-распаде.

43. **Основные виды и механизмы протекания ядерных реакций.** Боровская модель ядерных реакций. Резонансные и нерезонансные реакции. Прямые ядерные реакции.

44. **Деление ядер.** Элементарная теория деления. Цепная ядерная реакция.

45. Реакция синтеза. Энергетические условия. Управляемый термоядерный синтез. Нуклеосинтез.

46. Классификация элементарных частиц. Фундаментальные частицы. Мезоны и барионы. Законы сохранения в мире элементарных частиц. Стабильные частицы, нестабильные частицы и резонансы.

47. Фундаментальные взаимодействия. Основные свойства фундаментальных взаимодействий. Элементы теорий объединения взаимодействий.

Раздел 2. ДИСЦИПЛИНЫ НАПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

специальность: 1-31 04 01 ФИЗИКА (по направлениям)

направление специальности:

1-31 04 01-01 ФИЗИКА

(научно-исследовательская деятельность)

Учебная дисциплина «ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТАТИСТИКА»

1. Распределения для дискретных и непрерывных случайных величин. Пространство элементарных событий. Условная вероятность, формулы Байеса и полной вероятности. Биномиальное распределение, распределения Пуассона и Гаусса.

2. Предельные теоремы. Моменты случайной величины, матрица ковариаций. Законы больших чисел. Центральная предельная теорема и ее применения.

3. Цепи Маркова, эргодичность. Случайные процессы. Выборка, выборочные распределения. Точечные и интервальные оценки параметров. Метод максимального правдоподобия.

Учебная дисциплина «ТЕОРИЯ ГРУПП СИММЕТРИИ»

4. Типы операций симметрии точечных групп. Теорема Эйлера о правильных многогранниках.

5. Группы симметрии правильных многогранников. Тела Платона и Архимеда.

6. Группа трансляций кристалла. Функция Блоха электрона проводимости. Обратная решетка.

7. Точечная группа симметрии кристалла. Анизотропия. Звезда (квази) волнового вектора электрона в кристалле.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ»

8. Коллигативные свойства растворов неэлектролитов. Осмос. Осмотическое давление. Уравнение Вант-Гоффа. Осмометрия.

9. **Растворы электролитов.** Степень диссоциации, константа диссоциации электролита. Активность и коэффициент активности электролита. Теория Дебая-Гюккеля.

10. **Адсорбция.** Адсорбция на межфазной границе «раствор-насыщенный пар». Уравнение Гиббса. Адсорбция газа на поверхности твердого тела. Теория Лэнгмюра.

11. **Равновесный электродный потенциал.** Уравнение Нернста. Электроды сравнения (водородный электрод). Стандартные электродные потенциалы.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА БИОСИСТЕМ»

12. **Диффузия в биосистемах.** Диффузия в растворе. Диффузия веществ через мембраны. Проницаемость мембран.

13. **Электрические свойства клеток.** Уравнение Гольдмана. Мембранный потенциал.

14. **Электродиффузия.** Электродиффузия ионов через мембраны. Уравнение Нернста-Планка. Ионные каналы.

Учебная дисциплина «ФИЗИКО-ХИМИЯ ПОВЕРХНОСТИ»

15. **Атомная структура поверхности.** Структура идеальной поверхности кристалла. Релаксированные и реконструированные поверхности. Дефекты структуры на атомарно-чистой поверхности.

16. **Колебания атомов вблизи поверхности.** Анализ колебательного спектра атомов на атомарно-чистой поверхности. Тепловое расширение поверхностных решеток.

17. **Электронная структура поверхности твердых тел.** Модель желе. Одномерная зонная теория.

18. **Основные характеристики области пространственного заряда (ОПЗ).** Заряд ОПЗ. Избыток свободных носителей заряда в ОПЗ.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ»

19. **Основы теории колебаний.** Динамические системы. Основные понятия физики колебательных систем. Общая характеристика и классификация линейных динамических систем 2-го порядка.

20. **Линейные волны.** Понятие волны. Принцип суперпозиции. Волновое уравнение. Бегущая волна. Дисперсия волн.

21. **Простые волны. Стационарные волны.** Механизм самовоздействия волны. Простые волны (волны Римана). Факторы, приводящие к возникновению стационарных волн. Стационарные волны уравнения Бюргерса и уравнения Кортевега-де Фриза.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД»

22. Микроскопическое определение показателя преломления. Амплитуда и сечение рассеяния. Рассеяние на тонкой пластинке. Действительная и мнимая части показателя преломления.

23. Электронные состояния в идеальном кристалле. Адиабатическое и гармоническое приближение. Трансляционная симметрия кристалла. Функции Блоха. Квазиимпульс. Первая зона Бриллюэна.

24. Физические основы ферромагнетизма. Обменное взаимодействие. Модель Гейзенберга. Приближение среднего поля.

Учебная дисциплина «НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЗИКА»

25. Классификация бифуркаций стационарной точки. Аттракторы в динамических системах. Грубые и негрубые системы. Ветвление решений алгебраических уравнений. Суб- и суперкритическая бифуркация.

26. Методы усреднения для систем с быстрыми и медленными переменными. Метод Ван-дер-Поля.

27. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу. Логическое отображение. Бифуркация удвоения периода и преобразование удвоения. Универсальность констант.

28. Принцип подчинения и иерархия описаний в нелинейных распределенных диссипативных динамических системах. Устойчивость стационарных состояний. Устойчивые и неустойчивые моды. Адиабатическое исключение быстрых переменных и параметры порядка.

Направление специальности:

1-31 04 01-04 ФИЗИКА (управленческая деятельность)

Учебные дисциплины: «Микроэкономика», «Макроэкономика и международные экономические отношения», «Маркетинг», «Бухгалтерский учет», «Экономический анализ деятельности организации», «Менеджмент», «Финансы и финансовый менеджмент»

1. Базовые экономические понятия и законы. Потребности, блага, ресурсы. Закон спроса и предложения. Эффективность рыночного механизма. Основные принципы теории предельной полезности. Закон убывающей предельной производительности. Доход, издержки и прибыль фирмы. Издержки производства в краткосрочном и долгосрочном периоде. Выбор оптимального объема производства фирмой в краткосрочном периоде.

2. Макроэкономическое равновесие Основные макроэкономические показатели отражающие динамику совокупного спроса и предложения. Сущность и структура совокупного спроса и предложения. Кривые совокупного спроса и предложения. Факторы, влияющие на совокупный спрос и предложения. Равновесие совокупного спроса и совокупного предложения.

3. Макроэкономическая нестабильность. Циклические колебания и их виды. Фазы классического регулярного цикла. Инфляция: сущность и причины. Виды и типы инфляции. Измерение инфляции. Безработица: сущность и виды. Экономические и социальные последствия безработицы.

4. Международные экономические отношения. Активность страны в международных экономических отношениях и показатели, которые ее определяют. Принцип сравнительного преимущества. Платежный баланс.

5. Макроэкономическая политика в открытой экономике. Механизм функционирования валютного рынка и установления валютного курса. Международный поток товаров и капиталов. Государственное регулирование внешнеэкономической деятельности.

6. Технология менеджмента: взаимосвязь принципов и методов. Организация как объект управления. Сущность, структура, задачи менеджмента. Основные принципы менеджмента. Сущность, классификация и содержание методов менеджмента.

7. Функции менеджмента. Планирование как функция менеджмента. Организация как функция менеджмента. Понятие и сущность мотивации. Сущность и виды контроля в менеджменте.

8. Сущность и функции финансов в экономической системе. Структура современной системы финансов. Государственные финансы. Финансовый рынок, понятие, значение, структура, участники. Финансовая политика государства: цели и механизм ее реализации.

9. Сущность финансов организации и их экономическое содержание. Ценные бумаги. Уставной капитал. Прибыль. Понятие, цели, задачи, принципы и модели финансового менеджмента.

10. Основной и оборотный капитал предприятия, показатели его использования. Основные средства организации: сущность, состав, классификация, виды оценки. Сущность и виды износа основных средств. Показатели использования основных средств. Сущность, состав, структура и показатели использования оборотных средств.

11. Трудовые ресурсы предприятия. Сущность, состав, структура. Производительность труда (методы её измерения). Управление персоналом.

12. Понятие маркетинга, его основные концепции и виды. Сущность, роль и функции маркетинга. Субъекты маркетинговой деятельности. Маркетинговая макросреда предприятия. Сущность, цели и виды маркетинговых исследований. Конкуренция в маркетинге. Модели конкурентных стратегий.

13. Понятие экономического анализа, его основная цель, задачи, предмет и метод. Предмет, объект и содержание экономического анализа. Цель и задачи. Информационная база экономического анализа. Методы экономического факторного анализа. Построение бухгалтерского баланса. Типовые изменения баланса под влиянием хозяйственных операций. Понятие бухгалтерских счетов. Двойная запись хозяйственных операций по счетам.

**Примерный перечень теоретических вопросов
для подготовки к комплексному государственному экзамену
(по разделам 1-2)**

1. Кинематика материальной точки.
2. Основная задача динамики. Законы Ньютона.
3. Принцип наименьшего действия. Уравнения Лагранжа.
4. Гамильтонова форма уравнений механики. Фундаментальные законы сохранения в классической механике.
5. Движение в центральном силовом поле.
6. Линейные колебания механических систем.
7. Кинематика твердого тела.
8. Динамика вращательного движения. Уравнения Эйлера.
9. Первое начало термодинамики.
10. Второе начало термодинамики.
11. Энтропия.
12. Фазовые состояния и фазовые превращения.
13. Статистические распределения.
14. Термодинамические потенциалы.
15. Электростатическое поле в вакууме.
16. Электростатическое поле при наличии проводников и диэлектриков.
17. Стационарное магнитное поле.
18. Магнитные свойства вещества.
19. Электрический ток и его поле.
20. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла.
21. Электромагнитные волны.
22. Интерференция света.
23. Дифракция света.
24. Поляризация света.
25. Геометрическая оптика.
26. Дисперсия света.
27. Поглощение и рассеяние света.
28. Лазер.
29. Корпускулярно-волновой дуализм.
30. Теория Бора и атом водорода.
31. Волновая функция.
32. Момент импульса микрочастиц.
33. Строение многоэлектронных атомов.
34. Строение и свойства молекул.
35. Состояния и наблюдаемые в квантовой механике.
36. Одновременная измеримость физических величин.
37. Принцип причинности в квантовой механике.
38. Интегралы движения в квантовой механике.
39. Статические свойства атомных ядер и ядерные модели.

40. Явление радиоактивности и альфа-распад.
41. Бета-распад.
42. Основные виды и механизмы протекания ядерных реакций.
43. Деление ядер.
44. Реакция синтеза.
45. Классификация элементарных частиц.
46. Фундаментальные взаимодействия.

Для направления специальности: 1-31 04 01-01 ФИЗИКА (научно-исследовательская деятельность)

1. Распределения для дискретных и непрерывных случайных величин.
2. Предельные теоремы.
3. Типы операций симметрии точечных групп.
4. Группы симметрии правильных многогранников.
5. Группа трансляций кристалла.
6. Точечная группа симметрии кристалла.
7. Коллигативные свойства растворов неэлектролитов.
8. Растворы электролитов.
9. Адсорбция.
10. Равновесный электродный потенциал.
11. Диффузия в биосистемах.
12. Электрические свойства клеток.
13. Электродиффузия.
14. Атомная структура поверхности.
15. Колебания атомов вблизи поверхности.
16. Электронная структура поверхности твердых тел.
17. Основные характеристики области пространственного заряда
18. Основы теории колебаний.
19. Линейные волны.
20. Простые волны. Стационарные волны.
21. Микроскопическое определение показателя преломления.
22. Электронные состояния в идеальном кристалле.
23. Физические основы ферромагнетизма.
24. Классификация бифуркаций стационарной точки.
25. Методы усреднения для систем с быстрыми и медленными переменными. Метод Ван-дер-Поля.
26. Сценарий Фейгенбаума перехода к хаосу.
27. Принцип подчинения и иерархия описаний в нелинейных распределенных диссипативных динамических системах.

**Для направления специальности: 1-31 04 01-04 ФИЗИКА
(управленческая деятельность)**

1. Базовые экономические понятия и законы.
2. Макроэкономическое равновесие
3. Макроэкономическая нестабильность.
4. Международные экономические отношения.
5. Макроэкономическая политика в открытой экономике.
6. Технология менеджмента: взаимосвязь принципов и методов.
7. Функции менеджмента.
8. Сущность и функции финансов в экономической системе.
9. Сущность финансов организации и их экономическое содержание.
10. Основной и оборотный капитал предприятия.
11. Трудовые ресурсы предприятия.
12. Понятие маркетинга, его основные концепции и виды.
13. Понятие экономического анализа, его основная цель, задачи, предмет и метод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

специализация: 1-31 04 01-01 05 Лазерная физика и спектроскопия

1. **Электромагнитная природа световых волн.** Интерференция и дифракция световых волн. Энергетические характеристики электромагнитной волны. Когерентность световых волн.

2. **Аппаратная функция спектрального прибора.** Определение истинного контура по наблюдаемому. Конволюция, деконволюция наблюдаемого контура. Физические принципы и устройства разложения спектра электромагнитных колебаний оптического диапазона.

3. **Атомная спектроскопия. Систематика спектров многоэлектронных атомов.** Квантовая модель излучения атома, спонтанные и вынужденные переходы. Ширина спектральной линии, однородное и неоднородное уширение. Систематика спектров многоэлектронных атомов, LS и jj-связь, мультиплетная структура терма, правила отбора.

4. **Колебательные спектры молекул.** Колебания двухатомных и многоатомных молекул. Характеристичность колебаний. Колебательно-вращательные спектры.

5. **Природа люминесценции и основные закономерности в спектрах люминесценции.** Люминесценция растворов сложных молекул. Перенос энергии электронного возбуждения.

6. **Полупроводниковые приемники и источники излучения.** Светодиоды и полупроводниковые инжекционные лазеры. Одноэлементные фотоприемники: p-i-n фотодиод, лавинный фотодиод. Многоэлементные фотоприемники: ПЗС-матрицы, КМОП-матрицы, фотоприемники ИК-диапазона.

7. **Принцип работы лазера и характеристики лазерного излучения. Типы лазеров.** Устройство и принцип работы лазера. Понятие активной среды и способы ее создания. Оптический резонатор и моды резонатора. Типы лазеров по виду активной среды и способу накачки активной среды.

8. **Динамические процессы в лазерах, генерация мощных импульсов.** Режимы свободной генерации, активной и пассивной модуляции добротности.

9. **Сверхкороткие световые импульсы.** Режимы активной и пассивной синхронизации мод. Фемтосекундные импульсы.

10. **Кинетическая спектроскопия.** Сверхбыстрые процессы. Пико- и фемтосекундная спектроскопия. Методы возбуждения и зондирования.

11. **Применения лазеров в науке, технике и медицине.** Лазеры в медицине и лазерная обработка материалов. Лазерная резка и лазерная сварка. Лазеры в хирургии, стоматологии и косметологии. Фотодинамическая лазерная терапия.

12. **Нелинейно-оптическая среда и типы нелинейности.** Понятие нелинейной среды и механизмы нелинейного изменения коэффициента поглощения и показателя преломления (керровская, резонансная, тепловая нелинейности).

13. **Самовоздействие светового пучка в нелинейной среде.** Самофокусировка, автоколлимация и дефокусировка светового пучка. Пороговая мощность и длина самофокусировки.

14. **Параметрические процессы в нелинейных средах.** Генерация волн на суммарной и разностной частоте. Оптическое выпрямление. Генерация второй и более высоких гармоник.

15. **Когерентная оптика и запись тонких и объемных голограмм.** Временная и пространственная когерентность. Длина, время, площадь и объем когерентности. Дифракция на тонких и объемных голограммах. Угловая и спектральная селективность.

16. **Волоконная оптика.** Распространение света в оптических волокнах. Одномодовые и многомодовые волокна. Ввод излучения в оптическое волокно. Волоконно-оптические линии связи.

специализация: 1-31 04 01-01 03 Биофизика

1. **Ионные каналы.** Потенциал-управляемые калиевые каналы. Электрические модели каналов. Транспорт ионов через одиночные каналы

2. **Кинетика ферментативных процессов.** Скорость ферментативной реакции. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Ингибирование ферментативной реакции. Субстратное и продуктное угнетение реакции.

3. **Перенос электронов в биосистемах.** Перенос электронов с участием белков. Теория Маркуса. Туннелирование электронов в белках. Факторы, влияющие на скорость переноса электронов в белках.

4. **Трансформация энергии в биомембранах.** Теория Митчелла. Макромолекулярные преобразователи энергии в биосистемах. Электрон-транспортная цепь. Физические основы функционирования протонной АТФ-синтазы.

5. **Биофизика рецепции информации в клетках.** Молекулярное узнавание и термодинамика взаимодействия биомолекулярных структур. Лиганд-рецепторное взаимодействие. Константа связывания и диссоциации.

6. **Модели сворачивания полимеров.** Конформации полимера. Свободно-сочлененная модель сворачивания полимера в клубок. Средний косинус вращения и формула Ока. Поворотно-изомерная модель. Скручивание жестких полимеров.

7. **Структура и физические свойства нуклеиновых кислот.** Первичная и различные типы вторичных структур нуклеиновых кислот. Основные физические свойства молекул нуклеиновых кислот и их растворов.

8. **Структура и физические свойства белков.** Иерархия пространственной структуры белка. Взаимодействия, определяющие формирование вторичной, третичной, четвертичной структуры белка. Основные физические свойства белков.

9. **Люминесценция.** Виды люминесценции. Диаграмма переходов при фотолюминесценции и основные закономерности формирования спектров. Связь поляризации люминесценции с микровязкостью среды.

10. **Электронная спектроскопия биомолекул.** Положение спектров поглощения при различных видах электронных переходов. Характеристики спектров поглощения аминокислот, белков, нуклеотидов и ДНК. Спектрофотометрический анализ структуры ДНК и белков.

11. **Действие ионизирующей радиации на биомакромолекулы и клетки.** Стадии развития радиационно-биохимических процессов. Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений. Радиационно-химические повреждения аминокислот, белков, липидов и нуклеиновых кислот. Реакция клеток на облучение.

12. **Температурный и кислородный эффекты при действии ионизирующих излучений.** Стадии развития радиационно-биохимических процессов. Прямое и косвенное действие ионизирующих излучений. Теория кислородного эффекта при действии ионизирующих излучений. Температурный эффект при действии ионизирующих излучений.

13. **Принцип попадания и концепция мишени.** Основные положения теории попадания. Концепция мишени. Одно- и многоударные процессы. Кривые «доза-эффект» для одноударных и многоударных процессов. Влияние репарационных процессов на форму кривых «доза-эффект».

14. **Основные положения стохастической теории действия ионизирующей радиации на клетки.** Ограничения теории попадания. Стохастическая теория действия ионизирующих излучений на биологические объекты. Теорема об относительной крутизне кривой «доза-эффект».

15. **Нейронные сети.** Задачи, решаемые с помощью нейросетей. Формальный нейрон. Структура нейросетей. Классификация нейронных сетей. Обучение нейронных сетей. Метод обратного распространения ошибки.

специализация: 1-31 04 01-01 01 Теоретическая физика

1. **Уравнения Гамильтона-Якоби.** Действие как функция координат и времени. Уравнение Гамильтона-Якоби, его вид для консервативной системы и для частицы в заданном внешнем поле.

2. **Схема нахождения закона движения механической системы методом Гамильтона-Якоби.** Полный интеграл уравнения Гамильтона-Якоби. Пример: решение методом Гамильтона-Якоби задачи о движении частицы в однородном поле.

3. **Уравнения динамики идеальной жидкости.** Течение Пуазейля. Эйлеров и лагранжев подходы к описанию движения сплошной среды. Уравнение непрерывности. Идеальная жидкость. Уравнения Эйлера и условие адиабатичности. Граничные условия для идеальной жидкости. Стационарное течение. Уравнение Бернулли.

4. **Уравнение Навье-Стокса.** Вязкая жидкость. Течение Пуазейля между двумя параллельными неподвижными плоскостями.

5. **Фазовые превращения.** Переход из газообразного состояния в жидкое. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Кристаллизация и плавление. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Полиморфизм.

6. **Уравнения Эренфеста.** Фазовые переходы первого и второго рода. Физические основы сверхтекучести и сверхпроводимости.

7. **Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка.** Броуновское движение. Корреляционные функции. Марковские процессы.

8. **Кинетическое уравнение Больцмана.** Частичные функции распределения. Цепочка уравнений для функций распределения. H-теорема. Интеграл столкновений.

9. **Электромагнитные волны в ограниченных объемах.** Резонаторы и волноводы (типы волн в волноводе, граничная частота, фазовая и групповая скорости волн).

10. **Нелинейная поляризуемость среды.** Генерация гармоник. Условие фазового синхронизма. Самодифракция. Самофокусировка. Многофотонные процессы.

11. **Атом во внешних полях.** Эффекты Зеемана и Пашена–Бака. Магнитный резонанс. Эффект Штарка.

12. **Элементы релятивистской квантовой механики.** Уравнение Клейна—Гордона—Фока и его применимость к описанию частиц с нулевым спином. Уравнение Дирака. Свободное движение и движение в кулоновском поле дираковской частицы. Нерелятивистский и квазирелятивистский пределы уравнения Дирака. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода. Сверхтонкая структура основного состояния атома водорода.

13. **Элементарная теория квантовых переходов.** Нестационарная теория возмущений. Излучение и поглощение фотонов. Дипольное приближение. Естественная ширина уровня, время жизни состояния. Правила отбора для поглощения и испускания фотонов.

14. **Состояния свободного электромагнитного поля.** Свойства состояний с определенным числом фотонов и состояний Глаубера.

15. **Основные принципы хромодинамики.** Симметрия сильных взаимодействий. Кварки и глюоны. Конфайнмент и асимптотическая свобода.

16. **Нейтронно-оптические явления.** Вращение спина нейтронов в поляризованной среде. Ловушка для холодных нейтронов.

17. **Элементы зонной теории кристаллических твердых тел.** Зонный энергетический спектр электронов в металлах и полупроводниках. Химический потенциал и уровень Ферми. Локализованные состояния электронов в кристаллах.

18. **Фононы в кристаллах.** Оптические и акустические фононы. Приближение Дебая. Экспериментальное измерение спектра фононов. Электрон-фононное взаимодействие.

19. **Бифуркации.** Понятие бифуркации. Сложное состояние равновесия. Бифуркационная диаграмма. Тангенциальная и транскритическая бифуркация, бифуркация удвоения.

20. **Уравнение Кортевега-де Фриза.** Пара Лакса и метод обратной задачи рассеяния. Солитонные решения уравнения Кортевега-де Фриза.

специализация: 1-31 04 01-01 06 Физика полупроводников и диэлектриков

1. **Уравнение Шредингера для кристалла.** Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Теория квазисвободного и квазисвязанного электрона в кристалле. Модель Кронига-Пенни.

2. **Решетки Браве.** Трансляционная симметрия поля решетки. Квазиимпульс электрона проводимости; приближение эффективной массы. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.

3. **Плотность состояний носителей заряда.** Делокализованные электроны (дырки) в кристаллическом полупроводнике. Эффективная масса плотности состояний. Легкие и тяжелые дырки.

4. **Уровень Ферми электронов.** Концентрация делокализованных электронов и дырок в нелегированном металле, полуметалле, бесщелевом и собственном полупроводниках.

5. **Колебания кристаллической решетки.** Акустические и оптические фононы. Статистика фононов. Теплоемкость решетки.

6. **Водородоподобные атомы примеси в кристалле.** Фактор вырождения энергетического уровня. Температурная зависимость уровня Ферми и концентрации делокализованных электронов (дырок) в слаболегированном кристаллическом полупроводнике.

7. **Уравнения электронейтральности.** Сильнолегированные полупроводники. Переход диэлектрик-металл.

8. **Зонная электропроводность кристаллических полупроводников на постоянном токе.** Рассеяние носителей заряда. Подвижность электронов и дырок.

9. **Термоэлектрические и термомагнитные явления в полупроводниках.** Классический эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Квантование энергии электрона проводимости в магнитном поле.

10. **Экранирование электростатического поля в полупроводниках.** Приближения Дебая-Хюккеля и Шоттки. Электрическая емкость структуры металл-диэлектрик-полупроводник.

11. **Неравновесные электроны и дырки в полупроводниках.** Уравнение непрерывности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Квазиуровень Ферми для электронов и дырок.

12. **Поглощение света в кристаллических полупроводниках.** Прямые и непрямые межзонные переходы. Эффект Бурштейна-Мосса. Решеточное поглощение. Примесное и межпримесное поглощение света.

13. **Рекомбинация неравновесных носителей заряда.** Излучательная рекомбинация в кристаллических полупроводниках. Соотношение Ван Русбрека-Шокли. Ударная рекомбинация (рекомбинация Оже). Особенности рекомбинации на поверхности.

14. **Статистика рекомбинации Шокли-Рида-Холла.** Рекомбинация электронов и дырок через локальные центры. Механизм выполнения законов сохранения энергии и квазиимпульса при рекомбинации через локальные центры. Статистика рекомбинации Шокли-Рида-Холла.

15. **Фотоэлектрические явления в полупроводниках.** Фотопроводимость. Фотомагнитоэлектрический эффект в полупроводниках.

16. **Классические и квантовые размерные эффекты в полупроводниках.** 0D- (атомный кластер), 1D- (нить), 2D- (пленка), 3D- (монокристалл). Одноэлектронная плотность состояний в квантовых точках, нитях, ямах.

17. **Контактные явления.** Контакт металл-полупроводник. Pn -переход в равновесии и при электрическом смещении. Туннельный диод.

специализация: 1-31 04 01-04 13 Рациональная энергетика

1. **Перенос тепла теплопроводностью и конвекцией.** Температурное поле, тепловой поток, плотность теплового потока. Закон Фурье. Плотность теплового потока, характеризующего конвективный теплообмен. Теплоотдача и теплопередача. Закон Ньютона-Рихмана. Физический смысл коэффициентов теплопроводности и теплообмена.

2. **Дифференциальное уравнение теплопроводности.** Физический смысл коэффициента теплопроводности. Краевые условия в задачах теплопроводности. Граничные условия, реализуемые в теплофизических исследованиях.

3. **Радиационный теплообмен.** Основные законы теплового излучения абсолютно черного тела. Методика расчета теплообмена излучением между диффузными поверхностями. Угловые коэффициенты. Расчет угловых коэффициентов.

4. **Динамика кристаллической решетки.** Гармоническое приближение. Колебания одномерной цепочки атомов. Зоны Бриллюэна. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Колебания атомов трехмерной решетки. Фононы. Приближение Дебая.

5. **Теплоемкость твердых тел.** Закон Дюлонга-Пти, теории Эйнштейна и Дебая.

6. **Зонная теория.** Одноэлектронное адиабатическое приближение. Теорема Блоха. Решение стационарного уравнения Шредингера для модели Кронига-Пенни.

7. **Фазовые переходы первого рода.** Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Критическая точка. Поверхностное натяжение. Критический радиус зародыша.

8. **Физический смысл энтропии.** Необратимость реальных процессов. Уравнение Гюи-Стодолы. Эксергия.

9. **Работа тепловых машин.** Цикл и теоремы Карно. Формулировка Оствальда. Регенерация теплоты. Обратный обратимый цикл Карно.

10. **Принцип динамического отопления.** Схема Томсона.

11. **Общие положения теории переноса.** Система дифференциальных уравнений переноса. Краевые условия. Безразмерная форма уравнений переноса. Критерии подобия.

12. **Системы уравнений ламинарного конвективного переноса.** Уравнения теплового пограничного слоя. Аналогия Рейнольдса. Уравнения свободно-конвективного переноса. Уравнения Буссинеска для свободно-конвективного теплообмена.

13. **Элементы теории массообмена.** Уравнение диффузии. Уравнение энергии. Диффузионный пограничный слой. Уравнения теории пограничного слоя при наличии массообмена. Аналогия процессов тепло- и массопереноса.

14. **Энергетическая проблема и пути ее решения.** Энергетическая безопасность: основные принципы и критерии. Основные энергетические макропоказатели. Энергетическая ситуация в Республике Беларусь: состояние и основные проблемы.

15. **Физико-технические основы энергетики.** Тепловые электростанции. Паровые и газовые турбины. Когенерация.

16. **Теоретические основы анализа энергоэффективности тепловых процессов.** Типы тепловых машин. Теплосиловые паровые циклы. Термодинамический анализ. Энтропийный метод расчета потерь работоспособности. Эксергетический метод.

специализация: 1-31 04 01-04 25 Физическая информатика

1. **Физические основы микро и наноэлектроники.** Физические основы современных нанотехнологий (молекулярно-лучевая эпитаксия, золь-гель метод и т.д.). Принципы работы суб- и наноразмерных полупроводниковых структур.

2. **Оптоэлектроника в информационных процессах.** Оптоэлектронные устройства. Оптрон. Оптические логические элементы. Оптические волноводы.

3. **Внутримолекулярные фотофизические процессы.** Флуоресценция. Фосфоресценция, замедленная флуоресценция. Внутренняя и интеркомбинационная конверсии. Внутримолекулярная колебательная релаксация.

4. **Физические принципы и методы фотометрии.** Энергетическая и световая фотометрия: величины и единицы измерения. Основные фотометрические законы.

5. **Преобразование сигналов в оптоэлектронных приборах.** Пространственно-спектральная фильтрация сигнала. Аппаратная функция, дисперсия, разрешающая способность, светосила спектрального прибора.

6. **Радиационные процессы в атмосфере.** Солнце и солнечная постоянная. Ослабление солнечной радиации в атмосфере. Альbedo. Излучение земной поверхности. Парниковый эффект. Радиационный баланс.

7. **Корреляционный и регрессивный анализ.** Понятие корреляции и регрессии. Задачи корреляционного и регрессивного анализа. Метод наименьших квадратов. Линейная и нелинейная регрессии.

8. **Порог чувствительности и обнаружительная способность фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучений.** Фотоэлектрические полупроводниковые приёмники. Фоторезисторы. Фотодиоды и р-і-n- фотодиоды. Лавинные фотодиоды. Фототранзисторы.

9. **Физические основы работы тепловых фотоприемников.** Тепловые приемники излучений. Основные принципы работы. Термоэлектрические приемники. Болометры. Приёмники Голя. Пироэлектрические фотоприемники и матрицы.

10. **Фотодиоды на основе барьеров Шоттки и гетеропереходов.** Контакт металл -полупроводник. Эффект Шоттки. Устройство и выбор пары, характеризующей гетеропереход. Энергетическая диаграмма гетероперехода. Сверхинжекция неравновесных носителей заряда в гетеропереходе.

11. **Детекторы излучений и частиц.** Общая характеристика детекторов излучений. Амплитудный спектр, энергетическое разрешение, Эффективность регистрации. Ионизационный метод детектирования излучений и частиц. Газонаполненная ионизационная камера. Пропорциональный счётчик. Счётчик Гейгера. Полупроводниковые детекторы излучений.

РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

специализация: 1-31 04 01-01 05 Лазерная физика и спектроскопия

Задание 1. Необходимо провести измерение нелинейного поглощения в зависимости от длительности лазерного импульса в диапазоне от 10 до 100 нс. Предложите метод плавного изменения длительности лазерного импульса.

Решение

Импульсы с длительностью 10 – 100 нс генерируется в лазерах с модуляцией добротности. При использовании метода активной модуляции добротности длительность импульса зависит от превышения мощности накачки порогового значения. При большой мощности накачки эта длительность стремится к времени жизни фотона в резонаторе, определяемого формулой:

$$\tau_{\Phi} = 1/cK_{nom} ,$$

где c – скорость света, K_{nom} – коэффициент потерь.

В лазерах с модуляцией добротности одно из зеркал имеет, как правило, низкий коэффициент отражения. Поэтому коэффициент потерь будет определяться, так называемыми, полезными потерями, определяемыми формулой:

$$K_{nom} = \frac{1}{2L} \cdot \ln \frac{1}{R_1 \times R_2} ,$$

где L – база резонатора, R_1, R_2 – коэффициенты отражения зеркал резонатора.

Если мы выберем базу резонатора $L=100$ см и коэффициенты отражения зеркал $R_1 =100$ % и $R_2=20$ %, то получаем коэффициент потерь $K_{nom}=0,008$ см⁻¹. Тогда время жизни фотона в резонаторе $\tau_{\Phi}=4$ нс. Это предельное время, которое достигается при мощности накачки, стремящейся к бесконечности. Если выбрать мощность накачки в

несколько раз, превышающей пороговое значение, то можно получить импульсы с длительностью в несколько времен жизни τ_{Φ} . При приближении к пороговому значению накачки длительность плавно изменяется и может достигать несколько десятков времен жизни фотона в резонаторе.

Задание 2. Рассчитать геометрию схемы записи объемной пропускающей фазовой голограммы на фотоэмульсии толщиной слоя $d=10$ мкм Nd:YAG лазером с диодной накачкой, работающем в режиме генерации второй гармоники на длине волны $\lambda=532$ нм. Показатель преломления фоточувствительной среды $n=1,5$.

Решение

Принадлежность голограммы к объемной дифракционной структуре определяется из параметра Клейна Q исходя из условия:

$$Q = \frac{2\pi\lambda d}{n \Lambda^2} > 10,$$

где λ - длина волны лазерного излучения, d -толщина фоточувствительного слоя, n -показатель преломления фотоэмульсии, Λ -период интерференционной структуры.

Значение параметра Клейна $Q = 10$ определяет максимальный период Λ интерференционной картины, обеспечивающий запись объемной голограммы в слое фотоэмульсии. Из условия $\frac{2\pi\lambda d}{n \Lambda^2} = 10$ находим наибольшее предельное значение

периода интерференционной картины: $\Lambda^2 = \frac{2\pi \cdot 0,5 \cdot 10}{1,5 \cdot 10} \approx 2 \text{ мкм}^2$, $\Lambda = 1,4 \text{ мкм}$,

соответствующее формированию объемной дифракционной структуры.

Подставляя полученное значение периода Λ в формулу, связывающую угол φ между опорным и предметным пучками, записывающими голографическое изображение и длину волны излучения с периодом интерференционной картины Λ , получаем значение

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\varphi}{2}} \Rightarrow \frac{\varphi}{2} = \frac{\lambda}{2\Lambda} = \frac{0,5}{2 \cdot 1,4} = 0,17 \approx 9,6^\circ.$$

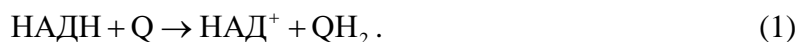
Следовательно, минимальный угол между предметным и опорным пучками φ , обеспечивающий запись объемной пропускающей фазовой голограммы при заданных в задаче условиях записи голограммы составляет $\varphi \approx 20^\circ$.

специализация: 1-31 04 01-01 03 «Биофизика»

Задание 1. Электрон-транспортная цепь внутренней мембраны митохондрий является одним из основных преобразователей энергии в клетках животных и растений, обеспечивая трансформацию химической энергии в электрическую энергию путем сопряжения процессов переноса электронов с процессами трансмембранного переноса протонов. Рассчитайте коэффициент полезного действия при работе такого макромолекулярного преобразователя энергии как комплекс I электрон-транспортной цепи митохондрий при условии, что разность электрических потенциалов на мембране составляет 160 мВ, величина рН в матрице митохондрий равна 8,0, а в межмембранном пространстве – 7,25. Редокс-потенциал никотинамидадениндинуклеотида составляет –380 мВ, редокс-потенциал убихинона равен +60 мВ ($F=9,6485 \times 10^4$ Кл М⁻¹).

Возможное решение

Комплекс I является протонным насосом, работающим за счет энергии окисления никотинамидадениндинуклеотида (НАДН) убихиноном. Т.е., с участием комплекса I реализуются два энергетически сопряженных процесса: экзергонический перенос на убихинон двух электронов от НАДН и эндергонический перенос четырех протонов из матрикса в межмембранное пространство. Перенос электронов происходит в направлении участника с более высоким редокс-потенциалом и сопровождается высвобождением энергии согласно схеме



Рассчитаем энергию, выделяющуюся в этой реакции. Используя значения стандартных восстановительных потенциалов участников реакции



получим, что разность редокс-потенциалов для реакции (1) составляет +440 мВ.

Соотношение между свободной энергией Гиббса и редокс-потенциалом описывается выражением:

$$\Delta G_1 = -zF\Delta E. \quad (2)$$

Используя соотношение (2) получим, что изменение энергии при заданных условиях (ΔG_1) в реакции (1) равно -85 кДж/моль.

Перенос протонов происходит в направлении раствора электролитов с большим значением электрохимического потенциала (из матрикса в межмембранное пространство), поэтому требует затрат энергии. Расчет величины энергии, запасаемой в электрохимическом градиенте протонов, произведем с использованием уравнения:

$$\Delta G_2 = n\Delta\tilde{\mu}, \quad (3)$$

где n – количество вещества (в молях) в системе, $\Delta\tilde{\mu}$ – изменение электрохимического потенциала.

Электрохимический потенциал протона, для которого заряд $z = +1$ будет равен

$$\tilde{\mu}_{\text{H}^+} = \mu_0 + RT \ln[\text{H}^+] + F\varphi. \quad (4)$$

Перейдем к десятичному логарифму в выражении (4)

$$\tilde{\mu}_{\text{H}^+} = \mu_0 + 2,3RT \log_{10}[\text{H}^+] + F\varphi. \quad (5)$$

Используя определение рН, преобразуем выражение (5)

$$\tilde{\mu}_{\text{H}^+} = \mu_0 - 2,3RT \cdot \text{pH} + F\varphi. \quad (6)$$

Определим величину разности электрохимического потенциала для протона через митохондриальную мембрану

$$\Delta\tilde{\mu}_{\text{H}^+} = 2,3RT \log_{10} \frac{[\text{H}^+]_{\text{P}}}{[\text{H}^+]_{\text{N}}} + F\Delta\varphi,$$

$$\Delta\tilde{\mu}_{\text{H}^+} = F\Delta\varphi - 2,3RT \cdot \Delta\text{pH}. \quad (7)$$

Матрикс митохондрий является более щелочной средой ($\text{pH}_{\text{N}} \approx 8,0$), чем межмембранное пространство ($\text{pH}_{\text{P}} \approx 7,25$), то есть ΔpH составляет 0,75 единиц. Если принять разность потенциалов $\Delta\varphi$ равной 160 мВ, получим, согласно (7), что изменение свободной энергии при переносе одного моля протонов составляет около 20 кДж/моль. Поскольку при окислении 1 моля НАДН убихиноном переносится 4 моля протонов, суммарное изменение свободной энергии составит 80 кДж/моль.

Коэффициент полезного действия (КПД) при работе комплекса I в заданных условиях будет

$$\text{КПД} = \frac{\Delta G_2}{\Delta G_1} \cdot 100\% = 94\%$$

Таким образом, эффективность работы комплекса I такова, что более 90% энергии, высвобождаемой при окислении молекулы НАДН, трансформируется в энергию электрохимического потенциала протонов.

Задание 2. Стимуляция пролиферации и дифференцировки эритроидных клеток-предшественников наблюдается при связывании эритропоэтина со 100 рецепторами на поверхности клетки. Во сколько раз необходимо увеличить концентрацию лиганда для достижения клеточного ответа, если число рецепторов на поверхности клетки уменьшится с 1000 до 125? Константа диссоциации для связывания эритропоэтина к его рецептору составляет 10^{-10} М.

Возможное решение

При образовании лиганд-рецепторного комплекса (LR) связывание лиганда (L) с рецептором (R) обратимо и описывается уравнением (1):



В состоянии равновесия, согласно закону действующих масс:

$$k_{+1}[L]([R_0] - [LR]) = k_{-1}[LR], \quad (2)$$

где k_{+1} и k_{-1} – константы скоростей ассоциации и диссоциации лиганд-рецепторного комплекса, R_0 – общее число рецепторов, $[L]$ – концентрация лиганда, $[LR]$ – концентрация лиганд-рецепторного комплекса.

Константа диссоциации характеризует соотношение между занятыми и свободными от лиганда рецепторами в условиях равновесия:

$$k_d = \frac{k_{-1}}{k_{+1}} = \frac{[L]([R_0] - [LR])}{[LR]}. \quad (3)$$

Отсюда видно, что концентрация лиганд-рецепторного комплекса будет равна

$$[LR]k_d = [L]([R_0] - [LR]), \quad (4)$$

или

$$\frac{[LR]}{[R_0]}k_d = [L] \left(1 - \frac{[LR]}{[R_0]} \right). \quad (5)$$

Разделив обе части уравнения (5) на $\frac{[LR]}{[R_0]}$, получаем

$$\frac{[R_0]}{[LR]}[L] = [L] + k_d \quad (6)$$

или

$$\frac{[LR]}{[R_0]} = \frac{[L]}{k_d + [L]}. \quad (7)$$

Концентрацию лиганда, необходимую для активации клеток, можно определить из уравнения (7), то есть

$$[L] = \frac{k_d}{\frac{[R_0]}{[LR]} - 1}.$$

Если число рецепторов составляет 1000, то для активации клетки необходим эритропоэтин в концентрации $1,1 \times 10^{-11}$ моль/л. При уменьшении числа рецепторов в 8 раз (125 рецепторов на 1 клетку), для достижения максимального клеточного ответа необходимо увеличить концентрацию лиганда в 36 раз (до концентрации 4×10^{-10} моль/л).

Задание 3. При действии ионизирующего излучения на раствор, в котором содержатся ионы двухвалентного железа Fe^{2+} , происходит их окисление до ионов трехвалентного железа Fe^{3+} , при этом наблюдается изменение оптической плотности раствора в ультрафиолетовой части спектра. Предложите метод для определения поглощенной дозы.

Возможное решение

Для определения величины поглощенной дозы можно сравнить оптическую плотность облученного раствора с оптической плотностью необлученного раствора при длине волны, соответствующей максимуму полосы оптического поглощения Fe^{3+} , и по разнице значений оптической плотности определить изменение концентрации ионов Fe^{3+} в облученном растворе.

Если доза D выражается в эВ/мл, то общая формула для этого расчета такова:

$$D = n \cdot 100/G, \quad (1)$$

где n – число ионов Fe^{3+} , образующегося при облучении в 1 мл раствора, G – радиационно-химический выход равный числу образованных при действии ионизирующего излучения ионов Fe^{3+} в расчете на 100 эВ поглощенной энергии.

При переходе к молярной концентрации (обозначим ее буквой c) формула (1) преобразуется следующему виду:

$$D = 6,024 \cdot 10^{22} \cdot c/G \text{ (эВ/мл)}. \quad (2)$$

Для нахождения дозы в эВ/г используется следующее выражение:

$$D = 6,024 \cdot 10^{22} \cdot c/G \cdot \rho \text{ (эВ/г)}, \quad (3)$$

где ρ – плотность раствора.

Поглощенную дозу в эВ/г можно рассчитать по следующей формуле:

$$D = \frac{N_A \cdot (E - E_0) \cdot 100}{(\varepsilon_{Fe^{3+}} - \varepsilon_{Fe^{2+}}) \cdot G \cdot \rho \cdot l}, \quad (4)$$

где N_A – число Авогадро ($6,024 \cdot 10^{23} \text{ M}^{-1}$), E и E_0 – оптическая плотность облученного и необлученного растворов соответственно, $\varepsilon_{Fe^{3+}}$ и $\varepsilon_{Fe^{2+}}$ коэффициент молярной экстинкции ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} соответственно [$\text{M}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$], ρ – плотность раствора [г/см^3], l – длина поглощающего слоя кюветы [см].

Чтобы выразить величину поглощенной дозы в Гр, необходимо в формулу (4) добавить коэффициент для перевода эВ в Дж.

специализация: 1-31 04 01-01 01 Теоретическая физика

Задание 1. Магнитная система электронного накопителя «Сибирь-1» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» состоит из 4-х поворотных 90-градусных магнитов. Индукция магнитного поля на равновесной орбите $B=1,5$ Тл. Радиус равновесной орбиты электронов в поворотных магнитах $R=100$ см (*УФН, 2011, Т. 181,*

№ 12, С. 1347). Найти номинальную энергию электронов в накопителе. Чему равны потери энергии на синхротронное излучение каждым электроном за один оборот?

Решение.

Уравнение движения электронов под действием силы Лоренца имеет вид

$$\frac{d}{dt}(\gamma m \vec{v}) = -\frac{e}{c} \vec{v} \times \vec{B}, \quad \frac{\gamma m v^2}{R} = \frac{e v B}{c},$$

где \vec{v} — скорость электронов, $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ — релятивистский фактор, $B = 1,5 \cdot 10^4$ Гс — индукция магнитного поля, $m = 9,1094 \cdot 10^{-28}$ г — масса электрона, $e = 4,8032 \cdot 10^{-10}$ ед. СГС — элементарный заряд, $c = 2,9979 \cdot 10^{10}$ см/с — скорость света в вакууме. Так как $v \approx c$, то

$$\gamma = \frac{eBR}{mc^2} = 880,$$

а номинальная энергия электронов

$$E = \gamma mc^2 = 880 \cdot 0,511 = 450 \text{ МэВ}$$

(при этом скорость электронов меньше скорости света на $c/(2\gamma^2) = 193,6$ м/с).

Мощность потерь на излучение описывается общим выражением

$$I = \frac{2e^4 \gamma^2}{3m^2 c^3} \left[\left(\vec{E} + \frac{1}{c} \vec{v} \times \vec{B} \right)^2 - \frac{(\vec{E} \vec{v})^2}{c^2} \right], \quad I \approx \frac{2e^4 \gamma^2 B^2}{3m^2 c^3}$$

(см. формулу (73.7) в Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. *Теория поля*. М.: Наука, 1973). Учитывая то, что $B = \gamma mc^2 / (eR)$, а время одного оборота $t = 2\pi R / v \approx 2\pi R / c$, имеем

$$\Delta E = -It = -\frac{4\pi \gamma^4 e^2}{3 R} = -\frac{4\pi \gamma^4 e^2 / (mc^2)}{3 R} mc^2 = -\frac{4\pi \gamma^4 r_{\text{кл}}}{3 R} mc^2,$$

где $r_{\text{кл}} = e^2 / (mc^2) = 2,818 \cdot 10^{-13}$ см — классический радиус электрона, $mc^2 = 511$ кэВ. Окончательно, $\Delta E = -3,62$ кэВ.

Задание 2. Сигнал с частотой $f_1 = 1575,42$ МГц принят с навигационного спутника приемником с задержкой $\Delta t_1 = 78606,070$ мкс, а сигнал с частотой $f_2 = 1227,60$ МГц с того же спутника — с задержкой $\Delta t_2 = 78606,090$ мкс. Чему равно расстояние от приемника до спутника, если временная задержка сигнала, обусловленная его прохождением через ионосферу Земли, обратно пропорциональна квадрату частоты? Скорость света в вакууме $c = 299792458$ м/с.

Решение.

Пусть r — искомое расстояние. Тогда

$$\Delta t_1 = r/c + b/f_1^2, \quad \Delta t_2 = r/c + b/f_2^2,$$

где b — неизвестная постоянная. Исключая ее из системы уравнений, получаем

$$r = c \frac{(f_1/f_2)^2 \Delta t_1 - \Delta t_2}{(f_1/f_2)^2 - 1} = 23565,498 \text{ км.}$$

специализация: 1-31 04 01-01 06 «Физика полупроводников и диэлектриков»

Задание 1. Для проведения опытно-технологических работ получена партия пластин кремния. Пластины легированы фосфором с концентрацией 10^{15} см⁻³. Для проведения дальнейших исследований Вам необходимо оценить:

1. Концентрацию основных и неосновных носителей заряда.
2. Положение уровня Ферми относительно уровня Ферми в собственном полупроводнике (относительно зоны проводимости).

Решение

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ эВ/К}$$

$$\text{При } T = 300 \text{ К имеем } kT = 2,585 \cdot 10^{-2} \text{ эВ} \approx 26 \text{ мэВ}$$

$$N_c = 2,8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}, n_i = 1,45 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

$$n_0 = N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$$

$$p_0 = n_i^2/n_0 = 2,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$$

$$E_F - E_i = kT \ln(n_0/n_i) = 0,29 \text{ эВ}$$

$$E_c - E_F = kT \ln(N_c/n_0) = 0,0258 \cdot \ln(2,8 \cdot 10^{19}/10^{15}) = 0,26 \text{ эВ}$$

Задание 2. В рамках выполнения НИР Вам необходимо определить удельное сопротивление пленки сульфида кадмия, выращенной на изолирующей сапфировой подложке. Толщина пленки 10 мкм. Предложите методику измерения удельного сопротивления.

Возможное решение

Электрическое сопротивление пластины материала с двумя омическими контактами определяется выражением $R = \rho L/Wt$, где ρ — удельное сопротивление; L , W , t — длина, ширина и толщина проводящего слоя. При этом предполагается, что ρ не зависит от L , W , t , т. е. пластина сплошная и рассеянием носителей заряда на поверхности можно пренебречь. Если $L = W$ (образец представляет собой квадрат), то $R_s = \rho/t$ называют поверхностным сопротивлением и выражают в Ом/квадрат, или Ом/□. Таким образом, $R_s = L/W$.

В случае использования четырехзондового метода измерения удельного сопротивления для системы зондов, расстояния между которыми s_1 , s_2 и s_3 , потенциалы измерительных зондов 2 и 3 равны:

$$U_2 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} \right); \quad U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1 + s_3} - \frac{1}{s_3} \right) \quad (1)$$

Разность потенциалов между зондами 2 и 3 есть

$$U_{23} = U_2 - U_3 = \frac{I_{14}\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3} \right) > 0. \quad (2)$$

Согласно (10), удельное сопротивление образца

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{s_2 + s_3} - \frac{1}{s_1 + s_2} + \frac{1}{s_3} \right)} \frac{U_{23}}{I_{14}}. \quad (3)$$

Если расстояния между зондами одинаковы, т. е. s_1 , s_2 и s_3 , то

$$\rho = 2\pi s \frac{U_{23}}{I_{14}}. \quad (4)$$

Используя другие комбинации включения токовых и потенциальных зондов, можно получить аналогичные выражения для удельного сопротивления, которые отличаются от (4) значениями числовых коэффициентов.

Для случаев пленок (образцов ограниченной толщины) применимы следующие методики расчета. Если $t \gg s$, т. е. толщина полупроводникового образца t много больше расстояния между зондами s , а границы его удалены в бесконечность, то для удельного сопротивления ρ образца имеем

$$\rho = 2\pi s \frac{U}{I}. \quad (5)$$

Если образец представляет собой плоскопараллельную пластину толщиной $t \ll s$, то растекание тока от точечного электрода имеет цилиндрическую симметрию. Плотность тока $J = I/(2\pi r t) = E(r)/\rho$, откуда разность электрических потенциалов между электродами 2 и 3 есть

$$U = U_{23} = U_2^{(1)} - U_3^{(1)} + U_2^{(4)} - U_3^{(4)} = \int_s^{2s} \mathbf{E}_1 d\mathbf{r} + \int_{2s}^s \mathbf{E}_4 d\mathbf{r} = \frac{I\rho}{\pi t} \ln 2; \quad (6)$$

удельное (ρ) и поверхностное (R_s) электрическое сопротивление:

$$\rho = \frac{U}{I} \frac{\pi}{\ln 2} t = t R_s; \quad (7)$$

специализация: 1-31 04 01-04 13 Рациональная энергетика

Задание 1. Предложите методику определения потерь работоспособности каждого из элементов энергетической установки, работающей по циклу Ренкина, на основании эксергетического анализа.

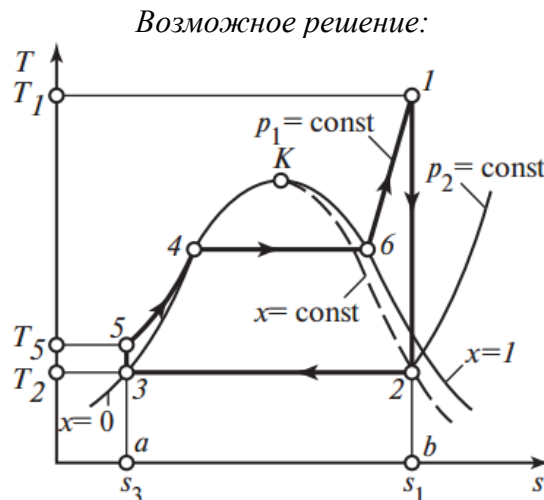


Рис. 1 – Цикл Ренкина

1) Котлоагрегат. Эксергетический баланс котлоагрегата: $e_b + e_q - d_{ка} = e_n$, где эксергия потока питательной воды $e_b = (h_6 - h_0) - T_0(s_6 - s_0)$, эксергия потока теплоты в расчете на 1 кг пара: $e_q = q_T \left(1 - \frac{T_0}{T_r}\right)$, тепловой поток: $q_T = \frac{B Q_H^p}{D}$, расход топлива: $B = \frac{D(h_1 - h_6)}{Q_H^p \eta_{ка}}$. Эксергия выходящего из котла пара: $e_n = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)$. Потеря работоспособности в котлоагрегате: $d_{ка} = e_b + e_q - e_n$.

Так, например, для установки с известными параметрами:

- электрической мощностью: $N = 50$ МВт;
- паропроизводительностью: $D = 230 \frac{\text{т}}{\text{ч}}$;

- параметрами пара: $p_1 = 10 \text{ МПа}$, $t_1 = 510 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_2 = 0,004 \text{ МПа}$;
- КПД котлоагрегата по топливно-энергетическому балансу: $\eta_{\text{ка}} = 0,92$;
- температурой охлаждающей воды в конденсаторе: $t_{\text{ов}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- топливом – природным газом: $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 35,5 \frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$, $\rho = 0,79 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $t_{\text{г}} = 2020 \text{ }^\circ\text{C}$;
- параметрами окружающей среды: $p_0 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

получим $d_{\text{ка}} = e_{\text{в}} + e_{\text{q}} - e_{\text{п}} = 1606,34 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

2) Турбогенератор. Эксергетический баланс турбогенератора: $l_3 = (e_{\text{вх}}^{\text{т}} - e_{\text{вых}}^{\text{т}}) - d_{\text{тг}}$, где эксергия пара на входе в турбогенератор (пренебрегая потерей работоспособности в паропроводе) равна эксергии на выходе из котлоагрегата: $e_{\text{вх}}^{\text{т}} = e_{\text{п}}$, эксергия пара, покидающего турбину: $e_{\text{вых}}^{\text{т}} = (h_2 - h_0) - T_0(s_2 - s_0)$, полезная работа в турбогенераторе: $l_3 = \frac{3600N}{D}$. Потеря работоспособности в турбогенераторе: $d_{\text{тг}} = (e_{\text{вх}}^{\text{т}} - e_{\text{вых}}^{\text{т}}) - l_3$.

Так, например, для установки с известными параметрами получим $d_{\text{тг}} = (e_{\text{вх}}^{\text{т}} - e_{\text{вых}}^{\text{т}}) - l_3 = 625,4 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

3) Конденсатор. Эксергетический баланс конденсатора: $d_{\text{к}} = e_{\text{вх}}^{\text{к}} - e_{\text{вых}}^{\text{к}}$, где эксергия пара на входе в конденсатор равна эксергии пара на выходе из турбины: $e_{\text{вх}}^{\text{к}} = e_{\text{вых}}^{\text{т}}$, эксергия конденсата, выходящего из конденсатора: $e_{\text{вых}}^{\text{к}} = (h_3 - h_0) - T_0(s_3 - s_0)$. Потеря работоспособности в конденсаторе: $d_{\text{к}} = e_{\text{вх}}^{\text{к}} - e_{\text{вых}}^{\text{к}}$.

Так, например, для установки с известными параметрами получим $d_{\text{к}} = e_{\text{вх}}^{\text{к}} - e_{\text{вых}}^{\text{к}} = 116 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

4) Общие характеристики. Общая потеря работоспособности в паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина: $d = d_{\text{ка}} + d_{\text{тг}} + d_{\text{к}}$.

Так, например, для установки с известными параметрами получим $d = d_{\text{ка}} + d_{\text{тг}} + d_{\text{к}} = 2347,74 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Эксергетический КПД установки: $\eta_e = \frac{e_{\text{в}} + e_{\text{q}} - d}{e_{\text{в}} + e_{\text{q}}}$.

Так, например, для установки с известными параметрами получим $\eta_e = \frac{e_{\text{в}} + e_{\text{q}} - d}{e_{\text{в}} + e_{\text{q}}} = 0,25$.

Из проведенного анализа видно, что наибольшая потеря работоспособности происходит в паровом котле, что обусловлено передачей теплоты энергетически высокопотенциальными дымовыми газами сравнительно низкопотенциальному пару в котлоагрегате, хотя традиционно котел считается наиболее благополучным элементом системы. Также стоит отметить, что наименее эффективным звеном установки является конденсатор, он обладает самым низким эксергетическим КПД. В то же время в силу относительно небольшой величины эксергии входящего в конденсатор пара абсолютная величина потерь работоспособности в данном элементе системы мала.

Отметим, что численные расчеты, приведенные курсивом, являются не обязательными, т.к. весь анализ может быть произведен, основываясь на теоретических знаниях о термодинамических свойствах установки, работающей по циклу Ренкина.

Задание 2. Предложите методику определения касательной силы, действующей на единицу площади стенки канала, по известному полю скоростей в стационарном слоистом течении в плоском канале. Например, $v_x = \frac{3}{2}U_0 \left(1 - \left(\frac{y}{d}\right)^2\right)$.

Возможное решение:

Касательная сила, действующая на единицу площади стенки канала, по известному полю скоростей в стационарном одномерном течении вдоль оси X в плоском канале определяется как соответствующая компонента тензора напряжений T . Согласно известной формуле для тензора напряжений в декартовых координатах

$$T_{ij} = -p\delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) \quad \text{получим:}$$

$$\tau_x = T_{xy} = T_{i=1, j=2} = -p\delta_{12} + \mu \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right) = [\delta_{12} = 0] = \mu \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right) = \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x} \right). \quad \text{Т.к. по}$$

условию течение является одномерным, т.е. присутствует только 1 компонента скорости

$$v_x = \frac{3}{2}U_0 \left(1 - \left(\frac{y}{d}\right)^2\right), \quad \text{окончательно определим } \tau_x = \mu \frac{\partial v_x}{\partial y}. \quad \text{На границе канала получим}$$

$$\tau_x = \mu \frac{\partial v_x}{\partial y} \Big|_{y=d} = -\frac{3}{2}U_0 \frac{2y}{d^2} = -3\mu \frac{U_0}{d}.$$

специализация: 1-31 04 01-02 21 Прикладная спектроскопия

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.

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»:

$$\rho_0 = \sqrt[4]{\left(\frac{\lambda}{\pi}\right)^2 \frac{(R_1-d)(R_2-d)(R_1+R_2-d)d}{(R_1+R_2-2d)^2}}. \quad (3)$$

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 cm^{-1} соответственно, определить разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательных ИК и КР спектров (пренебрегая центробежным растяжением).

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 2В, 4В, 6В; 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 6В, 10В, 14В;

Следовательно, разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного ИК спектра $C^{12}O^{16}$ составит $2B = 3,9$ cm^{-1} . А разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра $C^{12}O^{16}$ составит $4B = 7,8$ cm^{-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 $4B=237,2 \text{ см}^{-1}$.

специализация: 1-31 04 01-04 25 Физическая информатика

Задание 1. Для медицинских целей необходимо знать уровни ультрафиолетовой радиации. Предложите методику измерений естественной УФ освещенности земной поверхности при наличии облачности.

Возможное решение

Естественная освещенность – это солнечная освещенность. Земной поверхности достигает УФ излучение в диапазоне 300 – 400 нм, причем мощность этого излучения круто возрастает с увеличением длины волны. При решении задачи следует учитывать два фактора. Первый: излучение поступает со всех сторон, при этом спектры УФ излучения от прямого Солнца, открытого неба и облаков отличаются. Второй: действие УФ излучения на различные объекты разное, т.е. существуют отличающиеся спектры действия на кожу, глаза, бактерии и др.

С учетом этих факторов решение может быть следующим. Необходимо измерить спектральную плотность энергетической освещенности (СПЭО) в $\text{Вт}/(\text{см}^2 \text{ нм})$ при освещении из полусферы. Для этого следует использовать спектрометр УФ излучения, откалиброванный по спектральной чувствительности в области 290 – 310 нм (калибровка может быть осуществлена путем регистрации излучения галогенной или иной лампы со сплошным спектром, стандартизованном в единицах СПЭО). Перед калибровкой и измерениями объектив (или входная щель) спектрометра должен быть снабжен диффузно-светорассеивающей насадкой из материала, не поглощающего УФ излучение (матовое кварцевое стекло, фторопласт или т.п.), на эту насадку будет падать излучение из всей небесной полусферы, а в спектрометр поступит излучение от насадки.

Измерив такую дифференцированную характеристику, как СПЭО, в области 300 – 400 нм, путем интегрирования ее по длинам волн можно рассчитать как общую энергетическую освещенность, так и освещенности (т.е. плотности мощности излучения) для различных спектров действия (бактерицидного, эритемного и др.).

Задание 2. В технологии производства изделий микроэлектроники требуется неразрушающий метод контроля примеси междоузельного кислорода. Предложить методику реализации этой задачи.

Возможное решение

Решение может быть основано с использованием метода инфракрасной колебательной спектроскопии. Известно, что антисимметричная валентная мода колебаний обуславливает полосу поглощения кислорода при 9 мкм (1106 см^{-1}).

Определение содержания кислорода методом ИК-поглощения основано на пропорциональности его концентрации интегральной интенсивности поглощения (I) электромагнитного излучения в области полосы 1106 см^{-1} спектра:

$$\alpha = (1/d) \text{Ln}(I/I_0) = kN_0,$$

где α -коэффициент поглощения в максимуме полосы поглощения, d -толщины образца, I/I_0 — отношение интенсивности прошедшего и падающего света, k - калибровочный коэффициент, N_0 — концентрация кислорода. Для определения величины калибровочного коэффициента необходимо провести измерения на образце с известным содержанием примеси.

Задание 3. Для производства светоотражающих покрытий, используемых при изготовлении дорожных знаков и информационных щитов, необходимо иметь аппаратуру и методику лабораторной оценки отражательных свойств изделий указанных классов. Предложите предварительную методику определения яркости освещенных плоских предметов в видимом диапазоне.

Возможное решение

Реальные источники – протяженные, и могут быть охарактеризованы спектральной плотностью энергетической яркости СПЭЯ – $L_{e,\lambda}$, которая зависит от направления (углы θ, φ в сферических координатах); для симметричных излучателей можно воспользоваться индикатрисой $L_{e,\lambda}(\theta)_\varphi$. Если поверхность источника излучает с одинаковой яркостью в разных направлениях, то источник называют излучающим по закону Ламберта. Для такого «ламбертова» источника индикатриса силы излучения имеет вид

$$f(\theta)_\varphi = \cos \theta,$$

а сам источник часто называют также косинусным (или излучающим по закону косинуса).

Для энергетической яркости поверхности dA произвольного источника в направлении, составляющем угол θ с нормалью к поверхности, можно записать

$$L_{e,\lambda}(\theta)_\varphi = L_o \cdot \frac{f(\theta)_\varphi}{\cos \theta},$$

где L_o – энергетическая яркость площадки в направлении нормали.

Фотометрический прибор измеряет (с некоторым коэффициентом преобразования) поток, непосредственно падающий на первичный фотоприёмный элемент (ФЭ). При этом первичной измеряемой величиной является освещенность ФЭ, а не яркость источника. Следовательно, для задач практической дистанционной фотометрии целесообразно определять яркость объекта (источника) не через геометрические параметры источника, а через освещенность и геометрические (угловые) параметры фотоприёмной системы - яркомера. В соответствии с законом Манжена яркость в данном направлении - это освещенность, создаваемая источником в точке ортогонально ориентированной площадки, отнесенная к единице телесного угла зрения

$$L_e = \frac{dE_e^n}{d\Omega} = \frac{dE_e \cdot \cos \Theta}{d\Omega} \quad (1).$$

Здесь dE_e - освещенность ФЭ, $d\Omega$ - телесный угол зрения оптической системы, Θ - угол между направлением на источник (оптической осью) и нормалью к фотоприёмному элементу.

Таким образом, можно определить энергетическую яркость протяженного источника, измерив освещенность на ФЭ при условии, что геометрические параметры (в т.ч. угловая чувствительность) оптической системы известны и излучение объекта полностью заполняет телесный угол зрения оптической системы яркомера.

При изготовлении дорожных знаков и информационных щитов необходимо учитывать особенность восприятия излучения человеком – ограничения по спектральной чувствительности человеческого глаза V_λ и диапазону длин волн (примерно 380-760 нм). Поэтому для оценки отражательных свойств следует применять источники и приемные устройства, действующие в видимом диапазоне спектра.

Связь между световой L_v и энергетической характеристиками излучения задается соотношением

$$L_v = K_{\max} \cdot \int_{380}^{760} L_{e,\lambda} \cdot V_\lambda \cdot d\lambda \quad (2).$$

С учетом спектральной чувствительности S_λ лабораторной установки для регистрации излучения от светорассеивающей поверхности, находим соотношение

$$L_v = K_{\max} \cdot \int_{380}^{760} L_{e,\lambda} \cdot V_\lambda \cdot d\lambda = \frac{K_{\max} \cdot \left(\int_{380}^{760} E_{e,\lambda} \cdot V_\lambda \cdot S_\lambda \cdot d\lambda \right) \cdot \cos \Theta}{d\Omega} \quad (3).$$

Светоотражающие покрытия, используемые при изготовлении дорожных знаков и информационных щитов, должны обеспечивать эффективное свечение в разных направлениях в видимой области под разными углами освещения. Таким образом лабораторная установка должна обеспечивать следующие условия для определения индикатрис $L_v(\theta)_\varphi$.

1. Для измерения яркости от светорассеивающего экрана (СЭ) необходимо использовать яркомер. Поле зрения прибора должно полностью перекрываться поверхностью СЭ. Спектральная чувствительность яркомера должна быть скорректирована на видимую область.

2. Для освещения СЭ следует использовать источник с наиболее гладкой по спектру функцией СПЭЯ в видимой области.

3. Все измерения целесообразно выполнять на фотометрической скамье.

4. Оценку индикатрис рассеяния можно провести, обеспечив поворот экрана относительно оптической оси с помощью гониометрического устройства.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

Общая физика

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. В 5 т. Т. 1. Механика. / Сивухин Д.В.— М.: Физматлит; Изд-во МФТИ. 2005.— 560 с.
2. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. / Матвеев А.Н. — СПб.: Лань. 2009.— 366 с.
3. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 368 с.
4. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. / Матвеев А.Н.— СПб.: Лань. 2010.— 464 с.
5. Ландсберг Г.С. Оптика. / Ландсберг Г.С.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 848 с.
6. Калашников С.Г. Электричество. / Калашников С.Г.— М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.— 624 с.,
7. Бутиков Е.И. Оптика : учебное пособие для вузов / Бутиков Е.И.— СПб.: Лань. 2012.— 608 с
8. Шпольский А.В. Атомная физика Том 1 и 2. / Шпольский А.В.— М.: Наука, 1974.— 581 с.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. / Мухин К.Н.— СПб.: Лань. 2016.— 383 с.
10. Широков Ю.М. Юдин Н.П. Ядерная физика . / Широков Ю.М. Юдин Н.П.— М.: Наука, 1980.— 728 с.
11. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. / Окунь Л.Б. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.— 272 с.
12. Вихман Э. Квантовая физика. / Вихман Э. .— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.— 392 с.
13. Саржевский А.М. Оптика / Саржевский А.М.— М.: УРСС, 2018.— 608 с.

Теоретическая механика

1. Ландау, Л.Д. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 7-е, 2015.— 224 с.
2. Ольховский, И.И. Курс теоретической механики для физиков / И.И. Ольховский.— СПб.: Лань, изд. 4-е, 2009.
3. Ландау, Л.Д. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2015.— 728 с.

Электродинамика

1. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 9-е, 2016.— 508 с
2. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 4-е, 2016.— 656 с.
3. Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм.— М.: Физматлит, изд. 11-е, 2003.— 616 с.

4. Джексон Дж. Классическая электродинамика / Дж. Джексон.— М.: Мир, 1965.— 703 с.

Квантовая механика

1. Давыдов, А.С. Квантовая механика / А.С. Давыдов.— СПб.: БХВ-Петербург, изд. 3-е, 2011.— 704 с.

2. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2016.— 800 с

3. Мессиа, А. Квантовая механика. В 2 т. / А. Мессиа.— М.: Наука, 1978.

Термодинамика и статистическая физика

1. Базаров, И.П. Термодинамика / И.П. Базаров.— СПб.: Лань, изд. 5-е, 2010.— 384 с.

2. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Ч.1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 6-е, 2013.— 616 с

3. Леонтович, М.А. Введение в термодинамику / М.А. Леонтович.— СПб.: Лань, изд. 2-е, 2008.— 432 с.

1-31 04 01-01 ФИЗИКА (научно-исследовательская деятельность)

Теория вероятностей и математическая статистика

1. Пытьев Ю. П., Шишмарев И. А. Курс теории вероятностей и математической статистики для физиков. Изд-во МГУ, 1983.

2. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1988.

3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.

Теория групп симметрии

1. Поклонский Н.А., Власов А.Т., Вырко С.А. Конечные группы симметрии. Основы и приложения: Учеб. пособие.— Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2011.— 464 с.

Физика коллоидных систем

1. Фридрисберг, Д.А. Курс коллоидной химии. /Д.А. Фридрисберг. —С-Пет.: Химия, 1995.

2. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы./В.А.Волков. —Лань, 2015 (www.химик.ру/Коллоидная химия/)

3. Савицкая, Т. А. Коллоидная химия: строение двойного электрического слоя, получение и устойчивость дисперсных систем/ Т. А. Савицкая, Д. А. Котиков, Т. А. Шичкова —Минск: БГУ, 2011.

4. Балезин, С.А. Основы физической и коллоидной химии. /С.А.Балезин, Б.В.Ерофеев, Н.И. Подобаев. М.: Просвещение, 1975.

Физика биосистем

1. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Хмельницкий А.И. Биологические мембраны. — Минск:, БГУ, 2009. — 184 с.

2. Черенкевич С.Н., Хмельницкий А.И. Транспорт веществ через биологические мембраны. Минск:, БГУ, 2007. — 144 с.

3. Мартинович Г.Г., Сазанов Л.А., Черенкевич С.Н. Клеточная биоэнергетика: физико-химические и молекулярные основы – Москва: URSS: ЛЕНАНД, 2017. – 196 с.: ил.

Физико-химия поверхности

1. Киселев В.Ф., Козлов С.Н., Зотеев А.В. Основы физики поверхности твердого тела. М.: Изд-во МГУ. 1999. – 284 с.

Физика волновых процессов

1. Андронов, А.А. Теория колебаний / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981.– 568 с.
2. Карлов, Н.В. Колебания, волны, структуры / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко.– М.: Физмат, 2003.– 496 с.
3. Заславский, Г.М. Введение в нелинейную физику / Г.М. Заславский, Р.Э. Сагдеев.– М.: Наука, 1988.– 368 с.

Физика конденсированных сред

1. Ландау, Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.— М.: Физматлит, изд. 4-е, 2016.— 656 с.
2. Займан, Дж. Принципы теории твердого тела / Дж.Займан – М.: Наука, 1985.– 412 с.
3. Барышевский, В.Г. Ядерная оптика поляризованных сред / В.Г.Барышевский– М.: Энергоатомиздат, 1995.– 320 с.

Нелинейная физика

1. Йос Ж., Джозеф Д., Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. М.: Мир. 1983.
2. Шустов Г. Детерминированный хаос. М.: Мир. 1988.
3. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. М.: Мир. 1991.
4. Хакен Г., Синергетика. М.: Мир. 1980.

1-31 04 01-04 ФИЗИКА (управленческая деятельность)

1. Экономическая теория: учебное пособие/ под ред. В.Л.Клюни, Н.В. Бордачевой. – Минск: БГУ, 2016. – 143 с.
2. Лемешевский, И.М. Микроэкономика: основы микроанализа и белорусская практика : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим специальностям / И. М. Лемешевский. — 5-е изд., переработанное. — Минск: ФУАинформ, 2013. — 399 с.
3. Микроэкономика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по экономическим специальностям / [В. А. Воробьев и др.]; под ред. В. А. Воробьева. — Минск: БГЭУ, 2011. — 239 с.
4. Коваленко, А.В. Микроэкономика: учебно-методическое пособие / А. В. Коваленко, А. В. Бельский ; Белорусский государственный университет. — Минск : БГУ, 2013. — 367 с.

5. Мэнкью, Г. Микроэкономика / Г. Мэнкью, М. Тейлор. пер. англ. – С-Пб. : Питер, 2013. – 544 с.
6. Экономическая теория: учебное пособие / под ред. В.Л.Клюни, Н.В. Бордачевой. – Минск: БГУ, 2016. – 143 с.
7. Макроэкономика: учеб. пособие / В. А. Воробьев, А. М. Филипцов, Л. Н. Новикова [и др.] ; под ред. В. А. Воробьева, А. М. Филипцова. — Минск : БГЭУ, 2017. — 227 с.
8. Международная экономика: учеб.-метод. пособие / А. А. Праневич и [др.] ; под ред. А. А. Праневич, О. В. Старовойтовой. — Минск : БГЭУ, 2015. — 214 с.
9. Лемешевский, И. М. Макроэкономика: мировой опыт и белорусская практика: учеб. пособ. / И. М. Лемешевский. – Минск: ФУАинформ, 2009. – 701 с.
10. Мэнкью, Г. Макроэкономика: 2-е издание / Г. Мэнкью, М. Тейлор. пер. англ. – С-Пб. : Питер, 2013. – 560 с.
11. Брасс, А.А. Менеджмент: Наука и практика конструктивного руководства: Учебное пособие. – Минск: Совр.школа, 2006. – 192 с.
12. Веснин, В.Р. Основы менеджмента: учебник / В. Р. Веснин. – М.: Проспект, 2011. – 306 с.
13. Гончаров, В.И. Основы менеджмента: Учебное пособие. – Минск: Совр. школа, 2006. – 281 с.
14. Тележников, В. И. Менеджмент: учебник / В. И. Тележников. — Минск : БГЭУ, 2016. — 508 с.
15. Финансы и финансовый рынок: учебник / О. А. Пузанкевич [и др.] ; под ред. О. А. Пузанкевич. — Минск : БГЭУ, 2016. — 415 с.
16. Финансы организации: учеб. пособие / О. А. Пузанкевич [и др.] ; под ред. О. А. Пузанкевич. — Минск : БГЭУ, 2016. — 191 с.
17. Фондовый рынок : учеб. пособие / Г. И. Кравцова [и др.]; под общ ред. Г. И. Кравцовой. — Минск : БГЭУ, 2016. — 494 с.
18. Финансовый менеджмент: учебник / под ред. Е. И. Шохина. – 4-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2012. – 475 с.
19. Филатова, Т.В. Финансовый менеджмент: Учебное пособие / Т.В. Филатова. - М.: ИНФРА-М, 2013. - 236 с.
20. Воробьев, И.П. Экономика и управление организацией (предприятием) : учебное пособие : / И. П. Воробьев, Е.И. Сидорова, А. Т. Глаз. — Минск: Издатель Квилория В.Т., 2014. — 371 с.
21. Волков, О.И. Экономика предприятия : учебное пособие : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по экономическим специальностям и направлениям / О. И. Волков, В. К. Склярченко. — 2-е изд. — Москва : Инфра-М, 2013. — 262 с.
22. Головачев, А. С. Экономика организации (предприятия): учебное пособие. / А. С. Головачев – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 686 с.
23. Экономика организации (предприятия) : учебно-методический комплекс / [А. П. Дубина и др.] ; под редакцией В. И. Кудашова, А. С. Головачева. — Минск : Издательство МИУ, 2013. — 587 с.

24. Котлер, Ф. Основы маркетинга. 5-е изд. / Ф. Котлер, А. Гари. - М.: Вильямс, 2016. - 752 с.
25. Кузнецова, Л.В. Основы маркетинга: Учебное пособие / Л.В. Кузнецова, Ю.Ю. Черкасова. - М.: Вузовский учебник, ИНФРА-М, 2013. - 139 с.
26. Сушкевич А.Н., Сушкевич В.Н., Колыхан А.В. Бухгалтерский учет: Мн., 2016. – 232 с.
27. Теория бухгалтерского учета : учеб. пособие для студ. по спец. «Бухгалтерский учет, анализ и аудит» / П. Я. Папковская. – Минск: Информпресс, 2012. – 252 с.
28. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник/Г.В. Савицкая. — Минск: ООО «Новое знание», 2010. — 688 с.
29. Шеремет, А.Д. Комплексный анализ хозяйственной деятельности: учебник / А.Д. Шеремет. — М.: ИНФРА-М, 2011. — 415 с.

специализация 1-31 04 01-01 05 Лазерная физика и спектроскопия

1. М.А. Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. М.: Эдиториал УРСС, 2001.
2. К.И. Тарасов. Спектральные приборы. Ленинград : Машиностроение, 2-ое издание , 1977.
3. А.И. Комяк Молекулярная спектроскопия. Мн.: БГУ, 2005.
4. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн.: БГУ, 2009.
5. И.М. Гулис. Лазерная спектроскопия. Курс лекций. Минск: БГУ, 2002.
6. Л.Н. Курбатов. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра // М.: Изд-во МФТИ, 2001.
7. О. Звелто. Принципы лазеров. М.: Мир, 1984.
8. А.Л.Толстик, И.Н.Агишев, Е.А.Мельникова. Лазерная физика. Лабораторный практикум. – Мн.: БГУ, 2006.
9. Дж. Реди. Промышленное применение лазеров. М.: Мир, 1981.
10. В.В. Тучин. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1998.- 384 с.
11. И.Р. Шен. Принципы нелинейной оптики. М.: Наука, 1989.
12. С.Н.Курилкина, А.А.Минько. Нелинейная оптика. Мн.: БГУ. 2010
13. Л.С.Гайда, А.Л.Толстик, В.В.Могильный, Е.А.Мельникова, Д.В.Гузатов, А.Ч.Свистун. Лабораторный практикум по когерентной оптике и голографии. Гродно: ГрГУ. 2013.
14. И.Н.Агишев, И.А.Гончаренко, Д.В.Горбач, Е.А.Мельникова, О.Г.Романов, А.Л.Толстик. Волоконная оптика и оптическая обработка информации. Лабораторный практикум // Минск, БГУ, 2011.

специализация 1-31 04 01-01 03 «Биофизика»

1. Мартинович Г.Г., Сазанов Л.А., Черенкевич С.Н. Клеточная биоэнергетика: физико-химические и молекулярные основы. М: URSS: ЛЕНАНД, 2017. 196 с.
2. Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., Хмельницкий А.И. Биологические мембраны. Минск.: БГУ, 2009, 184 с.

3. Черенкевич С.Н., Хмельницкий А.И. Транспорт веществ через биологические мембраны. Минск.: БГУ, 2007, 144 с.
4. Хмельницкий А.И., Василевская Н.В., Черенкевич С.Н. Структура и свойства ионных каналов биологических мембран. Минск.: БГУ, 2004, 167 с.
5. Рубин А.Б. Биофизика. Том 1, 2. М.: 2004.
6. Финкельштейн А.В., Птицын О.Б. Физика белка. М.: Университет, 2002.
7. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем. М.: Мир, 2005.
8. Комяк, А. И. Молекулярная спектроскопия: учеб. пособие для студ. физ. фак. БГУ. Минск: БГУ, 2005.
9. Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. М.: Наука 2003.
10. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) / Под ред. В.К. Мазурика, М.Ф. Ломанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004, 448 с.
11. Ризниченко Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии. – М-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011, 560 с.
12. Медицинская и биологическая физика: учебник /А.Н. Ремизов. - 4-е изд., испр. и перераб. - М.: ГЭОТАР - Медиа, 2013. - 648 с. : ил.

специализация 1-31 04 01-01 01 Теоретическая физика

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.1. Механика – М.: Физматлит, 2004. – 224 с.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика – М.: Физматлит, 2006. – 736 с.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика. Ч.1– М.:Физматлит, 2005. – 616 с.
4. Карлов, Н.В. Колебания, волны, структуры / Н.В. Карлов, Н.А. Кириченко.– М.: Физмат, 2003.– 496 с.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.3. Квантовая механика – М.: Физматлит, 2004. – 800 с.
6. А.С. Давыдов. Квантовая механика - М.: Наука, 1973. – 692 с.
7. С.Я. Килин. Квантовая оптика: поля и их детектирование, Мн., 1990 (2 изд.) М., 2004. – 176с.
8. А.А. Сланов, Л.Д. Фаддеев. Введение в квантовую теорию калибровочных полей. М.: Наука, 1988.
9. Займан Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Займан – М.: Наука, 1985.– 412 с.
10. Барышевский, В.Г. Ядерная оптика поляризованных сред / В.Г.Барышевский– М.: Энергоатомиздат, 1995.– 320 с.
11. Заславский, Г.М. Введение в нелинейную физику / Г.М. Заславский, Р.Э. Сагдеев.– М.: Наука, 1988.– 368 с.
12. Андронов, А.А. Теория колебаний / А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин. – М.: Наука, 1981.– 568 с.

специализация 1-31 04 01-01 06 «Физика полупроводников и диэлектриков»

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников.— С-Пб.: «Лань», 2010 г. — 384с.
2. Брандт, Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский.— М.: Физматлит, 2005.— 632 с.
3. Поклонский, Н.А. Статистическая физика полупроводников / Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, С.Л. Поденок.— М.: КомКнига, 2005.— 264 с.
4. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников.— С-Пб.: «Лань», 2016 г. —624с.
5. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники.— С-Пб.: «Лань», 2013 г. — 560с.
6. Боровик, Е.С. Лекции по магнетизму / Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. – М.: Физматлит, 2005. – 512 с.
7. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич , С.Г. Калашников — М.: Наука, 1990.— 688 с.
8. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики. .— С-Пб.: «Лань», 2015 г. —448с.
9. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. — С-Пб.: «Лань», 2017 г. — 596с.
- 10.Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы.– СПб.: Издательство «Лань», 2009.– 480 с.
- 11.Марголин В.И., Жабров В.А., Лукьянов Г.Н., Тупик В.А. Введение в нанотехнологии. — С-Пб.: «Лань», 2012 г. — 464с.
- 12.Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
- 13.Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах / В.Ф. Гантмахер. – М.: Физматлит, 2005. – 232 с.
- 14.Забродский, А.Г. Электронные свойства неупорядоченных систем / А.Г. Забродский, С.А. Немов, Ю.И. Равич. – СПб.: Наука, 2000. – 72 с.
- 15.Имри, Й. Введение в мезоскопическую физику / Й. Имри. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.

специализация 1-31 04 01-04 13 Рациональная энергетика

1. Байков, В.И. Теплофизика. Термодинамика и статистическая физика / В.И. Байков, Н.В. Павлюкевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 447 с.
2. Теплофизика. Неравновесные процессы тепломассопереноса / В.И. Байков [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 476 с.
3. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Наука, 1968. – 487 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.

5. Зигель, Р. Теплообмен излучением / Р. Зигель, Д. Хауэлл. – М.: Мир, 1975. – 400 с.
6. Павлов, П.В., Физика твердого тела / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 295 с.
7. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Физматгиз, 1978. – 791 с.
8. Шалимова К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 400 с.
9. Базаров, И.П. Термодинамика / И.П. Базаров. – СПб: Изд-во «Лань», 2010. – 384 с.
10. Кудинов, В.А. Техническая термодинамика и теплопередача / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. – М.: Изд-во «Юрайт», 2013. – 566 с.
11. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с.
12. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
13. Ганжа, В.Л. Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения / В.Л. Ганжа. – Минск: Белорусская наука, 2007. – 451 с.
14. Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: Инфра-М, 2005. – 278 с.
15. Федотов, А.К. Физическое материаловедение : учеб. пособие. В 3 ч. Ч. 3. Материалы энергетики и энергосбережения / А.К. Федотов, В.М. Анищик, М.С. Тиванов. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 463 с.
16. Гременок, В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. – Минск, ОИФТТИП НАНБ, 2007. – 222 с.
17. Солнечная фотовольтаика: современное состояние и тенденции развития / В.А. Миличко [и др.] // Успехи физических наук. – 2016. – Том 186, № 8. – С. 801–852.

специализация 1-31 04 01-02 21 Прикладная спектроскопия

1. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. Москва. - 2004.
2. А.М. Бельский. Оптика когерентных пучков: Мн.: БГУ, 2000.
3. С.Н. Курилкина, А.А. Минько. Нелинейная оптика. Минск: БГУ, 2010.
4. Комяк А.И. Молекулярная спектроскопия. Вращательные, колебательные и электронные спектры многоатомных молекул. Мн.: БГУ, 2004.
5. И.М. Гулис, А.И. Комяк. Люминесценция. Мн.: БГУ, 2009.
6. В.В. Могильный. Полимерные фоторегистрирующие материалы и их применение. Мн.: БГУ, 2003.
7. А.А. Минько. Физика жидких кристаллов. Курс лекций. Минск: БГУ, 2009, - 112 с.

специализация 1-31 04 01-04 25 Физическая информатика

1. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. - М.: Изд. Моск. ун-та, 1998 - 655 с.
2. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 1. Теория вероятностей и прикладная статистика. / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. — М.: ЮНИТИ, 2001. — 656 с.
3. Лебедева В.В. Экспериментальная оптика: Оптические материалы. Источники, приемники, фильтрация оптического излучения. Спектральные приборы. Лазеры, лазерная спектроскопия. - М.: Изд. МГУ, 1994 - 363 с.
4. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. М., 2002.
5. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Оптические методы исследования молекулярных систем. М.: МГУ, 1994.
6. Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников — М.: Наука, 1990.— 688 с.
7. В.П.Афанасьев. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. Санкт-Петербург, Из-во СПбГЭТУ, 2011, 156 с.
8. В.Е.Бугров. Оптоэлектроника светодиодов. Санкт-Петербург , Из-во ИТМО,2013, 173 с.
9. А.В.Войцеховский. Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники. Томск, Издательский дом томского госуниверситета, 2013, 559 с.
- 10.Л.В.Григорьев. Кремниевая фотоника. Санкт-Петербург, Университет ИТМО, 2016, 93 с.
11. Шишмарев В.Ю. Физические основы получения информации. – М.: Академия, 2010. – 448 с.
12. Минько А.А. Физика жидких кристаллов. – Минск: БГУ, 2017. - 111 с.
13. Сикорский В.В., Стельмах Г.Ф. Методы спектрометрии и фотометрии. – Минск: БГУ, 2014. – 99 с.

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
КОМПЛЕКСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
