

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям

О.И. Здрок

(подпись) (И.О. Фамилия)

« 09 » декабря 2020 г.

Регистрационный № УД- 9217 /уч.

**ПРОГРАММА КОМПЛЕКСНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

по специальности, направлению специальности, специализации

для специальности

1-31 04 01 – Физика (по направлениям)

направления специальности:

1-31 04 01-02 – Физика (производственная 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 №G31-162/уч., №G31и-177/уч., от 30.05.2013, №G31СИБД-237/уч. от 01.04.2020 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.554/тип от 17.03.2016, 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.А. Солодухин — директор Совместного института Белорусского государственного университета и Даляньского политехнического университета, канд. физ.-мат. наук, доцент;

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

А.Н. Буров — доцент кафедры в общей 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), направлению специальности 1-31 04 01-02 Физика (производственная 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) направлению специальности: 1-31 04 01-02 – Физика (производственная 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»;
- цикла специальных дисциплин: «Теоретическая механика», «Электродинамика», «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика» «Основы современных технологических процессов», «Современные методы исследования материалов», «Физическое материаловедение».
- и цикла дисциплин специализаций: 1-31 04 01-02 13 Рациональная энергетика; 1-31 04 01-02 21 Прикладная спектроскопия; 1-31 04 01-02 17 Новые материалы и технологии

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; микроканоническое и каноническое распределения; свойства реальных газов и жидкостей;

– основные законы электромагнитных взаимодействий; законы постоянного и переменного тока; уравнения Максвелла для полей в вакууме и сплошных средах; свойства диэлектриков и магнетиков; тензор энергии-импульса, потенциалы электромагнитного поля;

– основы электромагнитной теории света; явления интерференции и дифракции; принципы генерации света; физический механизм излучения электромагнитных волн;

– основы истории развития физики микроявлений (эксперимента и теории); основные положения и принципы квантовой механики; операторы физических величин; уравнение Шредингера; методы квантово-механического описания атомов, молекул и кристаллов;

– 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 01-02 – Физика (производственная деятельность) выпускник должен:

знать:

– принципы эпитаксии, имплантации, литографии микросхем;

– методы и средства контроля параметров тонких пленок;

– принципы оптической спектроскопии, спектрального анализа, исследования поверхности, ЯМР и ЭПР;

– физические основы строения твердых тел, механизмы изменения структуры, свойств металлов и сплавов в результате внешних воздействий;

– физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики материалов;

– структуру производства, методы и формы его организации, основные технико-экономические показатели производства.

уметь:

– анализировать достоинства и недостатки основных современных технологий микроэлектроники, выбирать наиболее информативный метод исследования;

– выполнять производственное нормирование и определять экономическую

эффективность производства;

- производить расчет фазовых диаграмм состояния;
- применять знания физико-химических основ технологических процессов при разработке материалов с необходимым набором свойств.

владеть:

- методологией проведения измерительного эксперимента, методами измерений и оценки свойств материалов;
- основными приемами обработки экспериментальных данных;
- навыками определения эффективности технологического метода;
- современными методами экономического анализа производственной деятельности.

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 01-02 – Физика (производственная деятельность) должно обеспечить формирование следующих **профессиональных** компетенций:

- Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-исследовательской, научно-производственной и научно-педагогической работы.
- Разрабатывать новые технологии и осуществлять оценку проектных и технологических решений с учетом принципов рационального природопользования и конъюнктуры рынка.

- Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров оборудования и технологических процессов, эффективности разрабатываемых технологий.
- Реализовывать методы защиты производственного персонала и населения в условиях возникновения аварий, катастроф, стихийных бедствий и обеспечения безопасности при осуществлении научной, производственной и педагогической деятельности.
- Определять цели инноваций и способы их достижения, применять методы анализа и организации внедрения инноваций в научно-технической, производственной и научно-педагогической деятельности.

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 «Основы современных технологических процессов», «Экономика и организация производства», «Современные методы исследования материалов», «Физическое материаловедение» и дисциплинам специализаций 1-31 04 01-02 13 Рациональная энергетика; 1-31 04 01-02 21 Прикладная спектроскопия; 1-31 04 01-02 17 Новые материалы и технологии отражают содержание образовательной программы для направления специальности 1-31 04 01-02 – Физика (производственная 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.

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. **Линейные колебания механических систем.** Свободные колебания системы с одной степенью свободы в гармоническом приближении. Частота, амплитуда и фаза колебания.

7. **Кинематика твердого тела.** Степени свободы твердого тела. Разложение движения твердого тела на слагаемые движения. Виды движения. Векторы угловой скорости и углового ускорения.

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

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

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

10. **Энтропия.** Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Энтропия идеального газа, ее физический смысл. Формулировка второго начала термодинамики с помощью энтропии. Статистический характер второго начала термодинамики.

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

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

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

Учебные дисциплины «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ», «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

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

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

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

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

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

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

20. **Электромагнитные волны.** Волновые уравнения и их решения. Плоская электромагнитная волна, ее свойства и характеристики.

Учебная дисциплина «ОПТИКА»

21. **Геометрическая оптика.** Основные законы геометрической оптики, пределы их применимости. Линзы, зеркала, центрированные оптические системы.

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

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

24. **Поляризация света.** Естественный и поляризованный свет. Поляризация излучения при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков.

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

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

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

27. **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.

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

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

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

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

32. **Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем.** Квантовомеханические уравнения движения. Уравнение Шредингера для амплитуд вероятностей.

33. **Стационарные состояния и их свойства. Квантовые переходы.** Соотношение неопределённости для энергии. Вероятности переходов.

Учебная дисциплина «ФИЗИКА ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»

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

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

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

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

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

39. **Реакция синтеза.** Энергетические условия. Управляемый термоядерный синтез. Нуклеосинтез.

Раздел 2. ДИСЦИПЛИНЫ НАПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ
специальность: 1-31 04 01 ФИЗИКА (по направлениям)
направление специальности:
1-31 04 01-02 ФИЗИКА (производственная деятельность)

Учебная дисциплина «ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»

1. **Эпитаксия.** Основные виды и методы эпитаксиального наращивания. Особенности молекулярно-лучевой эпитаксии.

2. **Литография.** Основные процессы фотолитографии. Фоторезисты. Фотошаблоны и их свойства. Проекционная фотолитография.

3. **Защитные диэлектрические пленки.** Термическое окисление кремния в парах воды, в сухом и во влажном кислороде. Плазмохимическое осаждение окисленных пленок.

4. **Получение структур методом диффузии.** Распределение примесей при диффузии. Технологические приемы получения диффузионных структур. Определение режимов диффузии.

Учебная дисциплина «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ»

5. **Методы голографической интерферометрии.** Восстановление голографического изображения. Технические приложения.

6. **Сканирующая туннельная микроскопия.** Физические основы, оборудование, применение.

7. **Ядерно-физические методы исследования.** Метод ядерных (n, α) реакций, теория метода, область применения. Нейтронное глубинное профилирование.

8. **Метод Резерфордского обратного рассеяния.** Режим каналирования. Определение профиля распределения концентрации легирующей примеси.

Учебная дисциплина «ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»

9. **Атомно-кристаллическое строение твердых тел.** Элементы кристаллографии и кристаллофизики. Типы связей в кристаллах. Принцип плотнейшей упаковки. Типичные структуры металлических кристаллов.

10. **Сплавы. Диаграммы состояния.** Фазы в сплавах. Твердые растворы. Химические соединения. Диаграммы состояния сплавов,

образующих ограниченные твердые растворы, образующих неограниченные твердые растворы, образующих химические соединения.

11. Материалы, используемые в машиностроении и атомной энергетике. Конструкционные стали и сплавы. Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы. Тугоплавкие металлы и их сплавы.

12. Современные функциональные материалы. Нанокристаллические материалы, новые углеродные материалы, их получение и свойства, свойства и практическое применение. Конструкционные материалы с ультрамелким зерном.

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

1. Кинематика материальной точки.
2. Основная задача динамики.
3. Принцип наименьшего действия.
4. Гамильтонова форма уравнений механики.
5. Фундаментальные законы сохранения в классической механике.
6. Линейные колебания механических систем.
7. Кинематика твердого тела.
8. Первое начало термодинамики.
9. Второе начало термодинамики.
10. Энтропия.
11. Фазовые состояния и фазовые превращения.
12. Статистические распределения.
13. Термодинамические потенциалы.
14. Электростатическое поле в вакууме.
15. Электростатическое поле при наличии проводников и диэлектриков.
16. Стационарное магнитное поле
17. Магнитные свойства вещества.
18. Электрический ток и его поле.
19. Электромагнитное поле.
20. Электромагнитные волны.
21. Геометрическая оптика.
22. Интерференция света.
23. Дифракция света.
24. Поляризация света.
25. Дисперсия света
26. Корпускулярно-волновой дуализм.
27. Теория Бора и атом водорода.
28. Волновая функция.
29. Момент импульса микрочастиц.
30. Строение многоэлектронных атомов.

31. Одновременная измеримость физических величин.
32. Изменение вектора состояния и наблюдаемых со временем.
33. Стационарные состояния и их свойства.
34. Статические свойства атомных ядер и ядерные модели.
35. Основные виды и механизмы протекания ядерных реакций.
38. Деление ядер.
39. Реакция синтеза.
40. Эпитаксия.
41. Литография.
42. Защитные диэлектрические пленки.
43. Получение структур методом диффузии.
44. Методы голографической интерферометрии.
45. Сканирующая туннельная микроскопия.
46. Ядерно-физические методы исследования.
47. Метод резерфордского обратного рассеяния.
48. Атомно-кристаллическое строение твердых тел.
49. Сплавы. Диаграммы состояния. Фазы в сплавах.
50. Материалы, используемые в машиностроении и атомной энергетике.
51. Современные функциональные материалы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

РАЗДЕЛ 1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИН СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

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

1. **Квантовая теория света.** Формула Планка. Теория фотонов Эйнштейна. Волновые свойства частиц. Энергия и импульс световых квантов. Волны Де-Бройля.

2. **Атом водорода.** Волновые функции атомов водорода. Принцип Паули. Излучение, поглощение и рассеяние энергии атомными системами.

3. **Основные характеристики уровней энергии.** Заселенности уровней. Вероятности поглощения и вынужденного испускания. Коэффициенты Эйнштейна. Время жизни возбужденных состояний. Ширина уровней энергии и спектральных линий.

4. **Разделение энергии многоатомной молекулы на электронную, колебательную и вращательную.** Уровни энергии. Электронно-колебательные спектры. Принцип Франка-Кондона.

5. **Люминесценция и ее определение.** Флуоресценция и фосфоресценция. Основные характеристики люминесценции и ее законы для сложных молекул.

6. **Дисперсия и поглощение света в линейной изотропной среде.** Теория дисперсии Лоренца. Методы изучения дисперсии и поглощения света.

7. **Плоская монохроматическая световая волна в линейной изотропной среде.** Понятие волнового пакета. Виды световых пучков. Гауссовы световые пучки и их характеристики.

8. **Анизотропия. Тензор диэлектрической проницаемости.** Материальные уравнения анизотропной среды. Одноосные и двуосные кристаллы. Явление двулучепреломления.

9. **Принцип работы лазера.** Спонтанное и вынужденное излучение, поглощение. Инверсия населенностей. Принципиальная схема лазера с оптической накачкой.

10. **Некоторые типы лазеров.** Неодимовый лазер. Гелий-неоновый лазер. Ионный аргоновый лазер. Газодинамический и газоразрядный лазер на CO_2 . Полупроводниковый лазер.

11. **Электрооптические эффекты в жидких кристаллах.**

12. **Нематические, холестерические и смектические жидкие кристаллы и их основные свойства.**

13. **Вращательные и колебательные спектры двухатомных молекул, колебательные спектры многоатомных молекул.**

специализация: 1-31 04 01-02 17 Новые материалы и технологии

1. **Химическая связь атомов в кристаллах.** Типы связей. Трансляционная симметрия кристалла. Точечная симметрия кристаллических решеток. Решетки Браве.

2. **Уравнение Шредингера для кристалла.** Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи. Теория квазисвободного электрона в кристалле.

3. **Концентрация свободных носителей заряда в собственном и легированном полупроводниках.** Расчет концентрации электронов и дырок для собственного полупроводника. Уровень Ферми. Концентрация носителей заряда в легированном полупроводнике. Закон действующих масс.

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

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

6. **Гальваномагнитные и термоэлектрические явления в полупроводниках.** Классический эффект Холла. Магниторезистивный эффект. Термоэлектрические явления в полупроводниках.

7. **Рекомбинация неравновесных носителей заряда.** Излучательная рекомбинация в кристаллических полупроводниках. Ударная рекомбинация (рекомбинация Оже). Рекомбинация электронов и дырок через локальные центры (примесные атомы).

8. **Дискретные полупроводниковые приборы.** Диоды с $p-n$ -переходом. Биполярные транзисторы. Полевые транзисторы с управляющим $p-n$ -переходом. МДП-транзисторы.

9. **Поглощение и рассеяние света.** Закон Бугера. Рассеяние Рэлея и Ми. Комбинационное рассеяние.

10. **Поглощение света в кристаллических полупроводниках.** Прямые и непрямые межзонные переходы. Решеточное поглощение. Примесное поглощение света. Фотопроводимость.

11. **Полупроводниковые приемники и источники излучения.** Светодиоды и полупроводниковые инжекционные лазеры. Фотоприемники: $p-i-n$ фотодиод, лавинный фотодиод, фототранзистор.

12. **Принцип работы лазера и характеристики лазерного излучения.** Устройство и принцип работы лазера. Понятие активной среды и способы ее создания. Оптический резонатор и моды резонатора.

13. **Типы лазеров.** Типы лазеров по виду активной среды и способу накачки активной среды.

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

15. **Применения лазеров в науке и технике.** Лазерная обработка материалов. Лазерная резка и лазерная сварка. Лазеры в медицине.

16. **Развитие микроэлектронных технологий.** Технологии и электроника интегральных микросхем. Проблемы субмикронных технологий. Низкоразмерные системы и элементная база наноэлектроники.

специализация: 1-31 04 01-02 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 температуропроводности. 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.**

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. Энтروпийный метод расчета потерь работоспособности. Эксергетический метод.

РАЗДЕЛ 2. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

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.

Возможное решение:

1) Критерий устойчивости сферического резонатора:

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

Подстановка параметров резонатора приводит к условию:

$$0 < 0.3 < 1,$$

т.е. резонатор устойчив.

2) Радиус кривизны волнового фронта гауссова пучка:

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

где z_0 – рэлеевская длина:

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

ρ_0 – радиус пучка в «перетяжке»:

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

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

Возможное решение:

Молекула $C^{12}O^{16}$ состоит из разных атомов и обладает постоянным дипольным моментом. Следовательно, она обладает как КР, так и ИК чисто вращательными спектрами. Энергия стационарных вращательных уровней двухатомных молекул, выраженная в волновых числах в отсутствии центробежного растяжения может быть записана следующим образом: $E_J = BJ(J+1)$. Учитывая, что правила отбора в ИК и КР спектрах имеют вид: $\Delta J = \pm 1$; и $\Delta J = \pm 2$; соответственно, не сложно получить, что компонентам чисто вращательного ИК спектра, обусловленным переходами следующих видов: $J = 0 \Rightarrow J = 1$; $J = 1 \Rightarrow J = 2$; $J = 2 \Rightarrow J = 3$; соответствуют волновые числа 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 $2В=3,9$ $см^{-1}$. А разность частот между соседними, наиболее низкочастотными компонентами, чисто вращательного КР спектра $C^{12}O^{16}$ составит $4В=7,8$ $см^{-1}$.

Молекула H_2^1 состоит из одинаковых атомов, имеющих, кроме того, идентичные ядра – протоны. Следовательно, ее постоянный дипольный момент равен нулю. Уже, в связи с этим, чисто вращательный ИК спектр для молекулы H_2^1 не реализуется. Кроме того, в таких случаях необходимо учитывать симметрию волновых функций по отношению к перестановке ядер местами. Поскольку протоны являются фермионами, то полная волновая функция должна быть антисимметрична по отношению к перестановке протонов местами. Как известно, вращательные волновые функции симметричны по отношению к 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 $4В=237,2$ $см^{-1}$.

специализация: 1-31 04 01-02 17 Новые материалы и технологии

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

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

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

Возможное решение

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

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

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

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

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

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

Задание 2. Для планирования опытно-технологических работ по созданию выпрямительного диода с pn -переходом необходимо иметь предварительные данные о типовом технологическом маршруте. Предложите предварительную схему маршрута создания дискретного диода с pn -переходом.

Возможное решение

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

- 1 Формирование партии пластин, химобработка (отмывка)
- 2 Пирогенное окисление
- 3 Нанесение и сушка фоторезиста
- 4 Травление окисла до кремния
- 5 Плазмохимическое снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 6 Диффузия фосфора для создания омического контакта к тыльной стороне
- 7 Химобработка, нанесение и сушка фоторезиста
- 8 1-я фотолитография «Анод»**
- 9 Проявление, задубливание фоторезиста
- 10 Плазмохимическое снятие фоторезиста
- 11 Травление окисла
- 12 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)
- 13 Пирогенное окисление (защитное)
- 14 Ионное легирование бором
- 15 Плазмохимическая обработка, химобработка (отмывка)
- 16 Пирогенное окисление (анод)
- 17 Травление окисла до кремния, химобработка (отмывка)
- 18 Отжиг

19 Нарастивание среднетемпературного фосфоросиликатного стекла

20 Нанесение и сушка фоторезиста

21 2-я фотолитография «Контакты»

22 Проявление, задубливание фоторезиста

23 Плазмохимическое снятие фоторезиста

24 Травление СТФСС

25 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)

26 Напыление алюминия на планарную сторону

27 Нанесение и сушка фоторезиста

28 3-я фотолитография «Металлизация»

29 Проявление, задубливание фоторезиста

30 Плазмохимическое снятие фоторезиста

31 Травление металлизации

32 Снятие фоторезиста, химобработка (отмывка)

33 Напыление алюминия на тыльную сторону

34 Вжигание металлизации

35 Корпусирование

специализация: 1-31 04 01-02 13 Рациональная энергетика

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

Возможное решение

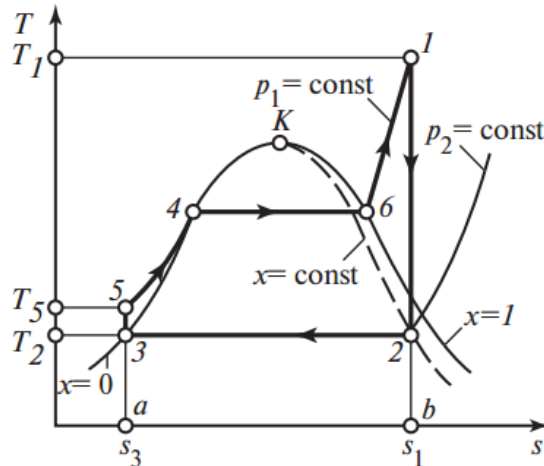


Рис. 1 – Цикл Ренкина

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: $q_T = \frac{BQ_H^p}{D}$, расход топлива:

$B = \frac{D(h_1 - h_6)}{Q_H \eta_{ка}}$. Эксергия выходящего из котла пара: $e_{п} = (h_1 - h_0) - T_0(s_1 - s_0)$. Потеря

работоспособности в котлоагрегате: $d_{ка} = e_{в} + e_{q} - e_{п}$.

Так, например, для установки с известными параметрами:

- электрической мощностью: $N = 50$ МВт;
- паропроизводительностью: $D = 230 \frac{\text{Т}}{\text{Ч}}$;
- параметрами пара: $p_1 = 10$ МПа, $t_1 = 510$ °С, $p_2 = 0,004$ МПа;
- КПД котлоагрегата по топливно-энергетическому балансу: $\eta_{ка} = 0,92$;
- температурой охлаждающей воды в конденсаторе: $t_{ов} = 10$ °С;
- топливом – природным газом: $Q_H^p = 35,5 \frac{\text{МДж}}{\text{М}^3}$, $\rho = 0,79 \frac{\text{кг}}{\text{М}^3}$, $t_{г} = 2020$ °С;
- параметрами окружающей среды: $p_0 = 0,1$ МПа, $t_0 = 10$ °С

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

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

$l_{э} = \frac{3600N}{D}$. Потеря работоспособности в турбогенераторе: $d_{тг} = (e_{вх}^T - e_{вых}^T) - l_{э}$.

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

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

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

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

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

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

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

Из проведенного анализа видно, то 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

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

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

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.

направление специальности:

1-31 04 01-02 ФИЗИКА (производственная деятельность)

Основы современных технологических процессов

1. Чистяков, Ю.Д. Физико-химические основы технологии в микроэлектронике / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова.— М.: Металлургия, 1979.— 526 с.

2. Курносков, А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / А.И. Курносков, В.В. Юдин. — М.: Высшая школа, 1986. — 368 с.

3. Технология СБИС: в 2 т./ под ред. С. Зи. - М.: Мир, 1986. - Т.1. - 404 с.; Т.2. - 454 с.

4. Просолович В.С., Янковский Ю.Н., Бринкевич Д.И. Основы современных технологических процессов. Курс лекций. — Минск: БГУ, 2011 — 135 с.

Современные методы исследования материалов

1. Оджаев, В.Б. Современные методы исследования конденсированных материалов / В.Б.Оджаев, Д.В.Свиридов, И.А.Карпович, В.В.Понарядов — Мн.: БГУ, 2003. — 82 с.

Физическое материаловедение

1. Чупрунов, Е.В. Основы кристаллографии / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. — М.: Физматлит, 2006. — 500 с.

2. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. Учебн. Для вузов/ Б.Н.Арзамасов, В.И.Макарова, Г.Г.Мухин и др. — М. Изд.во МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2008. 648 с.

3. Фетисов Г.П. Материаловедение и технология металлов./ Г.П.Фетисов, М.Г.Карпман, В.М.Матюнин и др. М. Высш.шк. 2001. 640 с.

4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии./ А.И.Гусев. М. Физматлит. 2005. 301 с.

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 01-02 17 Новые материалы и технологии

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников.— С-Пб.: «Лань», 2010 г. — 384с.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников.— С-Пб.: «Лань», 2016 г. —624с.
3. Хоровиц Н., Хил Н. Искусство схемотехники.— М.: Издательство «Бином», 2015 - 697 с.
4. Смирнов Ю.А., Соколов С.В., Титов Е.В. Физические основы электроники.— С-Пб.: «Лань», 2013 г. — 560с.
5. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. — С-Пб.: «Лань», 2017 г. — 596с.
6. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики. .— С-Пб.: «Лань», 2015 г. —448с.
7. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы.— СПб.: Издательство «Лань», 2009.— 480 с.
8. Александров С.Е., Греков Ф.Ф. Технология полупроводниковых материалов.— С-Пб.: «Лань», 2012 г. — 240с.
9. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 368 с.
- 10.Щука, А.А. Наноэлектроника / А.А. Щука. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
- 11.Бонч-Бруевич, В.Л. Физика полупроводников / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников — М.: Наука, 1990.— 688 с.
- 12.Марголин В.И., Жабров В.А., Лукьянов Г.Н., Тупик В.А. Введение в нанотехнологии. — С-Пб.: «Лань», 2012 г. — 464с.

13. Поклонский, Н.А. Статистическая физика полупроводников / Н.А. Поклонский, С.А. Вырко, С.Л. Поденок. — М.: КомКнига, 2005. — 264 с.
14. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. — 134 с.
15. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. — М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. — 488 с

специализация 1-31 04 01-02 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.

**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
