

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ИВАНОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Д.К. БЕЛЯЕВА»  
(ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА)**

**ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГИЙ И АГРОБИЗНЕСА**

УТВЕРЖДЕНА

проректором по учебной и  
воспитательной работе

М.С. Маннова

17 ноября 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**«Физика»**

Специальность	<b>21.03.02 Землеустройство и кадастры</b>
Направленность(профиль)	<b>Землеустройство</b>
Уровень образовательной программы	<b>Бакалавриат</b>
Форма обучения	<b>Заочная</b>
Трудоемкость дисциплины, ЗЕТ	<b>8</b>
Трудоемкость дисциплины, час.	<b>288</b>

**Распределение часов дисциплины по видам работы:**

**Виды контроля:**

Контактная работа – всего	36		
в т.ч. лекции	16	Экзамен	2
Лабораторные	20		
Практические	-		
Самостоятельная работа	252		

**Разработчики:**

Доцент кафедры естественнонаучных дисциплин А.В. Дунаев

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующая кафедрой естественнонаучных дисциплин И.К. Наумова

Председатель методической комиссии факультета (подпись) А.Л. Тарасов

Документ рассмотрен и одобрен на заседании методической комиссии факультета Протокол № 01  
от 30.10.2021 года

Иваново 2021

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Целями освоения дисциплины (модуля) физика являются:

- Овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями классической и релятивистской, статистической и квантовой физики, изучении основных физических явлений и процессов, овладение методами физического исследования;
- Формирование естественного мировоззрения и современного физического мышления;
- Овладение методами физического эксперимента, ознакомление с современной научной аппаратурой, отработка навыков проведения простейших экспериментальных исследований и оценки погрешностей измерений;
- Овладение приемами и методами решения физических задач, необходимых для последующего решения инженерных проблем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В соответствии с учебным планом дисциплина относится к\*

базовой части образовательной программы

Статус дисциплины\*\*

обязательная

Обеспечивающие (предшествующие) дисциплины

-

Обеспечиваемые (последующие) дисциплины

Почвоведение и инженерная геология, Безопасность жизнедеятельности

\* базовой / вариативной

\*\* обязательная / по выбору / факультативная

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ) (ХАРАКТЕРИСТИКА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

Шифр и наименование компетенции	Дескрипторы компетенции		Номер(а) раздела(ов) дисциплины (модуля), отвечающего(их) за формирование данного(ых) дескриптора(ов) компетенции
<p style="text-align: center;">СК-1</p> <p style="text-align: center;"><b>Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы теоретического и экспериментального исследования</b></p>	Знает:	3-1. Формулирует понятия и законы естественнонаучных дисциплин	1 - 10
		3-2. Описывает методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	1 - 10
	Умеет:	У-1. Применяет законы естественнонаучных дисциплин для решения расчетных и исследовательских задач	1 - 10
		У-2. Решает естественнонаучные задачи различными методами и приемами в учебных целях	1 - 10
	Владеет:	В-1. . Способами решения расчетных и исследовательских задач	1 - 10
		В-2. Самостоятельным выбором методов решения качественных, расчетных и исследовательских задач	1 - 10

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

##### 4.1. Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Темы занятий	Виды учебных занятий и трудоемкость, час.				Контроль знаний*	Применяемые активные и интерактивные технологии обучения
		лекции	практические (семинарские)	лабораторные	самостоятельная работа		
1.	Кинематика	1			6	КР ВЛР Э	Презентации
2.	Динамика	1		2	6		
3.	Законы сохранения в механике	1			6		
4.	Механические колебания и волны			2	15		
5.	Элементы релятивистской механики				15		
6.	Основы молекулярно-кинетической теории	1			6		
7.	Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа	1		2	6		
8.	Законы термодинамики	1			6		
9.	Распределение Максвелла.				15		
10.	Реальные газы, жидкости и твердые тела			2	15		
11.	Электрическое поле в вакууме и веществе	1			6		
12.	Теорема Гаусса и ее применение				15		
13.	Постоянный электрический ток	1		2	6		
14.	Переменный электрический ток				15		
15.	Магнитное поле и его характеристики	1			7		
16.	Явление электромагнитной индукции. Основы теории Максвелла	1		2	7		
17.	Электромагнитные колебания и волны				15		
18.	Геометрическая оптика	1		2	14	КР Э	Презентации
19.	Волновая оптика	1		4	14		
20.	Тепловое излучение	1		2	14		
21.	Корпускулярно-волновой дуализм. Фотоны. Фотоэффект	1			14		
22.	Волновая функция и ее применение	1			15		
23.	Элементы физики атома и атомного ядра	1			14		

\* Указывается форма контроля. Например: УО – устный опрос, КЛ – конспект лекции, КР – контрольная работа, ВЛР – выполнение лабораторной работы, ВПР – выполнение практической работы, К – коллоквиум, Т – тестирование, Р – реферат, Д – доклад, ЗКР – защита курсовой работы, ЗКП – защита курсового проекта, Э – экзамен, З – зачет.

**4.2. Распределение часов дисциплины (модуля) по семестрам**

Вид занятий	1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс	ИТОГО
Лекции	10	6				16
Лабораторные	12	8				20
Практические						
Итого контактной работы	22	14				36
Самостоятельная работа	167	85				252

## **5. ОРГАНИЗАЦИЯ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Организация самостоятельной работы студентов основана на ПВД-12 О самостоятельной работе обучающихся ФГБОУ ВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д.К.Беляева».

### **5.1. Содержание самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

- Темы индивидуальных заданий:
  - Основы механики
  - Молекулярная физика и термодинамика
  - Электричество и магнетизм
  - Оптика
  - Элементы физики атома и атомного ядра
- Темы, выносимые на самостоятельную проработку:
  - Механические колебания и волны
  - Элементы релятивистской механики
  - Распределение Максвелла
  - Реальные газы, жидкости и твердые тела
  - Теорема Гаусса и ее применение
  - Переменный электрический ток
  - Электромагнитные колебания и волны
  - Геометрическая оптика
  - Элементы физики атома и атомного ядра
- Темы курсовых проектов/работ:
  - Курсовые работы не предусмотрены
- Другое (рефераты):
  - Рефераты не предусмотрены

### **5.2. Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется в соответствии с бально – рейтинговой системой следующим образом:

- защита индивидуальных контрольных работ
- отчеты по лабораторным работам
- экзамены

**Бально-рейтинговая оценка знаний обучающихся** составлена в соответствии с ПВД-07 «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся» ФГБОУ ВПО «Ивановская ГСХА имени академика Д.К.Беляева» .

### **5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

При выполнении самостоятельной работы рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу, методические указания и разработки кафедры, указанные в п.6.1. – 6.6.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **6.1. Основная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины (модуля)**

- 1) Грабовский Р.И. Курс физики: учебное пособие для студ. вузов / Р.И. Грабовский. - 10-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2007. - 608 с.(174)
- 2) Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. / В.С. Волькенштейн. - 3-е изд., испр. и доп. - СПб.: Книжный мир, 2003. - 328 с.(90)

### **6.2. Дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины (модуля)**

- 1) Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т.1. Механика. Молекулярная физика.: учебник/ И.В. Савельев. - 3-е изд., испр. -М.: Наука, 1989. - 352 с.(132)
- 2) Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика.: учебник/ И.В. Савельев. - 3-е изд., испр. -М.: Наука, 1988. - 496 с.(88)
- 3) Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц.: учебник/ И.В. Савельев. - 3-е изд., испр. -М.: Наука, 1987. - 320 с.(98)
- 4) Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для инж.-технич. спец. вузов/ Т.И. Трофимова. - 18-е изд., стер. - М.: Академия, 2010. - 560 с.(50)

### **6.3. Ресурсы сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины (модуля)**

- 1) Ресурс содержащий анимационное представление различных явлений и законов: <http://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=ru> (штангенциркуль, микрометр, закон Паскаля, закон Бернулли, истечение жидкостей через отверстие, осцилляторы, гармонические колебания, затухающие колебания, математический маятник, отражение волн, стоячая волна, генератор волн маятников, волновая машина, волна, броуновское движение, диффузия, внутренняя энергия, механический эквивалент теплоты, теплопроводность, изобарный процесс, изотермический процесс, изохорный процесс, адиабатный процесс, цикл Карно, вечный двигатель, капиллярное давление, электрическое поле, заряды и поля, конденсатор, электрическая цепь, закон Ома, внутренне сопротивление, магнит, магнитное поле провода с током, электромагнитная индукция, правило левца, зеркала, линзы, собирающая линза, рассеивающая линза, световой поток, сила света, освещенность, модель абсолютно чёрного тела, абсолютно черное тело, фотоэффект, электромагнитная волна, модели атома, эксперимент Резерфорда, закон радиоактивного распада, ядерная реакция)

### **6.4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

- 1) Красовская Е.А., Ноговицин Е.А., Дронов В.М., Сушкова И.В. Физика. Методические указания для выполнения лабораторных работ по разделу "Электромагнетизм". 2004 г. 47 стр.
- 2) Жукова Т.А., Красовская Е.А. Физика. Механика и молекулярная физика. Методические указания для выполнения лабораторных работ. 2011 г. 36 стр.
- 3) Ноговицын Е.А., Красовская Е.А. Физика. "Определение ускорения свободного падения с помощью универсального маятника". Методические указания к лабораторным работам для студентов всех факультетов дневной и заочной форм обучения. 2010 г. 16 стр.
- 4) Красовская Е.А., Барабанов Д.В. Физика. "Определение концентрации сахарного раствора с помощью сахариметра". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2013 г. 11 стр.
- 5) Комарова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Определение скорости звука методом стоячей волны". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2013 г. 8 стр.
- 6) Красовская Е.А., Барабанов Д.В. Физика. "Вольтамперная характеристика селенового и германиевого выпрямителей". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2012 г. 12 стр.

- 7) Комарова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Изучение излучения абсолютно черного тела". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2013 г. 8 стр.
- 8) Комарова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Определение коэффициента теплопроводности воздуха методом нагретой нити". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2014 г. 12 стр.
- 9) Комарова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Определение отношений теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме методом Клемана-Дезорма". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2014 г. 19 стр.
- 10) Комарова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Определение коэффициента вязкости воздуха капиллярным методом". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2014 г. 14 стр.
- 11) Жукова Т.А., Барабанов Д.В. Физика. "Изучение интерференции света". Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов дневной и заочной форм обучения. 2014 г. 20 стр.

#### **6.5. Информационные справочные системы, используемые для освоения дисциплины (модуля) (при необходимости)**

- 1) Научная электронная библиотека <http://e-library.ru>
- 2) Информационно-правовой портал «Гарант» <http://www.garant.ru>

#### **6.6. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) (при необходимости)**

LMSMoodle

#### **6.7. Программное обеспечение, используемое для освоения дисциплины**

1. Операционная система типа Windows.
2. Интегрированный пакет прикладных программ общего назначения Microsoft Office.
3. Интернет браузеры.

#### **7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

Указывается материально-техническое обеспечение дисциплины: технические средства, лабораторное оборудование и др.

№ п/п	Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий и пр.	Краткий перечень основного оборудования
1.	Учебная аудитория для занятий лекционного типа	укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2.	Учебная аудитория для занятий семинарского типа, групповых и	укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими



	индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	для представления учебной информации.
3.	Помещение для самостоятельной работы	укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
4.	Лаборатория механики и молекулярной физики.	Установка лабораторная "Маятник Максвелла"; Установка лабораторная "Маятник Обербека"; Установка лабораторная "Маятник универсальный" ФМ 13; Модуль "Изучение вынужденных колебаний" ФПЭ 11. Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры ФПТ 1-7; Установка для измерения теплопроводности воздуха ФПТ 1-3; Установка для определения отношения теплоемкости воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме ФПТ 1-6н; Установка для определения коэффициента вязкости воздуха ФПТ 1-1н.
5.	Лаборатория электромагнетизма	Модуль "Изучение релаксационных колебаний" ФПЭ 12; Модуль "Изучение магнитного поля соленоида с помощью датчика Холла" ФПЭ 04; Модуль "Изучение процессов заряда и разряда конденсатора" ФПЭ-08 М; Модуль "Изучение свойств сегнетоэлектриков"; Модуль "Изучение явления взаимной индукции"; Модуль "Определение отношения заряда электрона в его массе методом магнетрона" ФПЭ 03; Набор установок демонстрационный "Опыты по электростатике"; Установка демонстрационная "Индуктивность и емкость цепи переменного тока. Переходные процессы в цепи" ФДЭ 008 М; Установка демонстрационная "Конденсатор универсальный раздвижной" ФДЭ 11; Установка демонстрационная "Взаимодействие параллельных токов"; Установка демонстрационная "Магнитное поле проводника с током различной конфигурации"; Установка демонстрационная "Резонанс в колебательном контуре" с генератором сигналов ФДЭ 18 М; Установка для демонстрации эффекта Холла ФДСВ 02; Установка для демонстрации эффекта Пельтье ФДСВ 04; Установка для изучения температурной зависимости электропроводности металлов и полупроводников ФПК 07; Модуль "Изучение электрических процессов в простейших линейных цепях при действии гармонической электродвижущей силы" ФПЭ09; Модуль "Изучение затухающих колебаний в колебательном контуре" ФПЭ 10; Модуль "Ток в вакууме" ФПЭ 06.

6.	Лаборатория оптики, квантовой физики, атомной и ядерной физики.	Установка для изучения геометрической оптики и поляризации РМС №1; Установка для изучения интерференции РМС №2; Установка для изучения дифракции РМС №3; Модель абсолютно черного тела ФДСВ 07; установка для изучения абсолютно черного тела ФПК 11 Установка для демонстрации опыта Франка и Герца; Установка для изучения и анализа свойств материалов с помощью сцинтилляционного счетчика (изучения $\gamma$ - радиоактивных элементов) ФПК 13; Установка для изучения работы газового лазера ФДСВ 12;
7	Лаборатория общей физики	Амперметр демонстрационный; Вольтметр демонстрационный; Выпрямитель; Динамометр; Диск вращающийся; Камертон; Люксметр; Магазин сопротивления; Машина электрофорная; Метроном; Микрометр МК – 47; Набор пружин; Прибор У – 55; Реостат; Счетчик газовый; Трансформатор; Установка УД – 1; Штангенциркуль; Мультиметр М 830 В; Осциллограф С1 – 94; Поле информационное; Проектор ЕР 0; Установка проекционная; Устройство видеопросмотровое; Весы; Реохорд; Гальванометр; Индукционный однофазный счётчик электрической энергии; Ламповый реостат; Электронная лампа; Потенциометр; Источник тока ВС – 24 М; Баллистический гальванометр; Термостат; Ключ; Амперметр; Вольтметр; Секундомер; Соленоид; Миллиамперметр; Катушка индуктивности с сердечником; Набор ёмкостей; Термосопротивление; Мостик Уитстона;

**Приложение № 1**  
**к рабочей программе по дисциплине физика**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Физика»**

**Перечень компетенций, формируемых на данном этапе**

Шифр компетенции	Дескрипторы компетенции		Форма контроля и период его проведения*	Оценочные средства
1	3		4	5
СК-1	Знает:	З-1. Формулирует понятия и законы естественнонаучных дисциплин	ИДЭ Э, 1 курс Э, 2 курс	Индивидуальные домашние задания, экзаменационные билеты,
		З-2. Описывает методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Э, 1 курс Э, 2 курс	
	Умеет:	У-1. Применяет законы естественнонаучных дисциплин для решения расчетных и исследовательских задач	Э, 1 курс Э, 2 курс	
		У-2. Решает естественнонаучные задачи различными методами и приемами в учебных целях	Э, 1 курс Э, 2 курс	
	Владеет:	В-1. Способами решения расчетных и исследовательских задач	Э, 1 курс Э, 2 курс	
		В-2. Самостоятельным выбором методов решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Э, 1 курс Э, 2 курс	

\* Форма контроля: Э – экзамен, ИДЗ – индивидуальные домашние задания. Период проведения – указывается семестр обучения. Ячейка заполняется следующим образом, например: Э, 4-й сем.

**2. Показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на данном этапе их формирования**

При наличии в учебном плане экзамена по дисциплине, дифференцированного зачета, курсовой работы (проекта), отчета по результатам выполнения НИР, оцениваемых по четырехбалльной шкале:

Шифр компетенции	Дескрипторы компетенции		Критерии оценивания			
			«неудовлетворительный ответ»	«удовлетворительный ответ»	«хороший ответ»	«отличный ответ»
СК-1	Знает:	З-1. Формулирует понятия и законы естественнонаучных дисциплин	Не формулирует основные понятия и законы естественнонаучных дисциплин	Формулирует основные понятия и законы естественнонаучных дисциплин	Формулирует и объясняет основные понятия и законы естественнонаучных	Формулирует и объясняет основные понятия и законы естественнонаучных дис-

					дисциплин	циплин, указывает границы их применимости
		3-2. Описывает методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Не называет методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Перечисляет методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Описывает методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач	Описывает методы решения качественных, расчетных и исследовательских задач и условия их применения
Умеет:		У-1. Применяет законы естественнонаучных дисциплин для решения расчетных и исследовательских задач	Не применяет основные законы естественнонаучных дисциплин для решения простейших типовых расчетных и исследовательских задач	Применяет основные законы естественнонаучных дисциплин для решения простейших типовых расчетных и исследовательских задач	Применяет основные законы естественнонаучных дисциплин для решения различных типовых расчетных и исследовательских задач	Применяет законы естественнонаучных дисциплин для решения типовых и нетиповых расчетных и исследовательских задач
		У-2. Решает естественнонаучные задачи различными методами и приемами в учебных целях	Не решает простейшие типовые естественнонаучные задачи указанными методами и приемами	Решает простейшие типовые естественнонаучные задачи указанными методами и приемами	Решает типовые естественнонаучные задачи различными методами и приемами	Решает естественнонаучные задачи различными методами и приемами, обосновывая выбор метода
Владеет:		В-1. Способами решения расчетных и исследовательских задач	Не применяет предложенный способ решения расчетных и исследовательских задач	Применяет предложенный способ решения расчетных и исследовательских задач	Применяет один из возможных способов решения расчетных и исследовательских задач	Применяет несколько способов решения расчетных и исследовательских задач, выполняет проверку полученного результата
		В-2. Самостоятельным выбором методов решения качественных,	Не правильно выбирает методы решения качественных,	Правильно выбирает методы решения качественных,	Правильно выбирает методы решения	Правильно самостоятельно выбирает ме-

		расчетных и исследовательских задач	расчетных и исследовательских задач из предложенных	расчетных и исследовательских задач из нескольких предложенных	качественных, расчетных и исследовательских задач	тоды решения качественных, расчетных и исследовательских задач, анализирует эффективность выбранного метода
--	--	-------------------------------------	---	--	---	---

### 3. Оценочные средства

#### 3.1. Индивидуальные домашние работы

##### 3.1.1. Пример индивидуальных домашних заданий (1 семестр)

###### Кинематика

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси  $x$  имеет вид  $x = A + Bt + Ct^3$ , где  $B = 1$  м/с,  $C = 0,5$  м/с<sup>3</sup>. Найти скорость  $v$  и ускорение  $a$  в момент времени  $t = 2$  с.
2. Вал начинает вращаться и в первые 10 с совершает 50 оборотов. Считая вращение вала равноускоренным, определить угловое ускорение и конечную угловую скорость.

###### Динамика

1. Диск радиусом  $R = 20$  см и массой  $m = 7$  кг вращается согласно уравнению  $\varphi = A + Bt + Ct^3$ , где  $A = 3$  рад;  $B = -1$  рад/с;  $C = 0,1$  рад/с<sup>3</sup>. Найти закон, по которому меняется вращающий момент, действующий на диск. Определить этот момент сил  $M$  в момент времени  $t = 2$  с.
2. Шайба, пущенная по поверхности льда с начальной скоростью 20 м/с остановилась через 40 с. Найти коэффициент трения шайбы об лед.

###### Законы сохранения в механике

1. Под углом  $\alpha = 45^\circ$  к стене движется шар массой  $m = 0,2$  кг со скоростью  $v = 2,5$  м/с. Определить импульс, полученной стенкой при упругом взаимодействии.
2. Тележка движется по горизонтальной дороге со скоростью 18 км/ч и въезжает на подъем. На какой высоте над уровнем дороги остановится тележка? Сопротивлением пренебречь.

###### Механические колебания и волны

1. Амплитуда гармонического колебания 5 см, период 4 сек. Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.
2. Составить уравнение плоской волны, распространяющейся в среде, точки которой колеблются с частотой  $\nu = 1,5$  кГц. Длина волны, соответствующая данной частоте, равна  $\lambda = 15$  см. Максимальные смещения точек среды от положения равновесия в  $n = 200$  раз меньше длины волны.

###### Молекулярно-кинетическая теория

1. В закрытом сосуде находится газ под давлением 500 кПа. Какое давление установится в этом сосуде, если после открытия крана  $4/5$  массы газа выйдет наружу?
2. Сосуд емкостью  $V = 0,01$  м<sup>3</sup> содержит азот массой  $m_1 = 7$  г и водород массой  $m_2 = 1$  г при температуре  $T = 280$  К. Определить давление  $p$  смеси газов.

###### Применение первого начала термодинамики

1. Определить удельную теплоемкость при постоянном давлении двухатомного газа, если его плотность при нормальных условиях равна  $1,43 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>.
2. Количество теплоты, необходимое для нагревания газа на 25 К при постоянном давлении, равно 500 Дж. Количество теплоты, выделяемое этим газом при охлаждении на 75 К при постоянном объеме, равно 1,07 кДж. Определить коэффициент Пуассона.

###### КПД Второе начало термодинамики

1. Совершая цикл Карно, газ отдал охладителю теплоту  $Q_2 = 4$  кДж. Работа цикла  $A = 1$  кДж. Определить температуру нагревателя, если температура охладителя  $T = 300$  К.

2. Найти приращение энтропии 1 моля углекислого газа при увеличении его температуры в  $n=2$  раза при изобарическом процессе.

#### Статистические распределения

1. Баллон емкостью  $V = 10\text{ л}$  содержит азот массой  $m = 1\text{ г}$ . Определить среднюю длину свободного пробега молекул.
2. На высоте 123 км от поверхности Земли концентрации молекул водорода и азота равны. Определить отношение концентраций молекул водорода и азота у поверхности Земли.

#### **3.1.2. Методические материалы**

При выполнении индивидуальных домашних заданий работы решение задач оценивается в 1 балл за каждую правильно решенную задачу.

#### **3.2. Вопросы к экзамену / экзаменационные билеты**

##### **3.2.1. Вопросы (1 курс)**

1. Предмет механики. Классическая, релятивистская и квантовая механика. Кинематическое описание движения. Скорость и ускорение при криволинейном движении.
2. Тангенциальное и нормальное ускорения. Степени свободы и обобщенные координаты. Число степеней свободы абсолютно твердого тела.
3. Вращательное движение абсолютно твердого тела. Вектор угловой скорости и углового ускорения.
4. Основная задача динамики. Понятие состояния в классической механике. Уравнение движения. Масса и импульс.
5. Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы. Второй закон Ньютона как уравнение движения. Третий закон Ньютона.
6. Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы.
7. Центр инерции. Закон сохранения центра инерции. Теорема о движении центра инерции. Система центра инерции.
8. Механическая работа. Мощность. Кинетическая энергия.
9. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Свойства потенциальных полей. Потенциальная энергия упругодеформированного тела. Потенциальная энергия тяготения.
10. Закон сохранения энергии в механике. Общефизический закон сохранения энергии.
11. Момент силы. Уравнение вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси.
12. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.
13. Момент инерции твердого тела относительно оси. Теорема Штейнера.
14. Преобразования Галилея. Механический принцип относительности.
15. Постулаты СТО. Преобразования Лоренца.
16. Сокращение движущихся масштабов длины. Замедление движущихся часов.
17. Закон сохранения скоростей. Интервал.
18. Релятивистский импульс. Уравнение движения релятивистской частицы.
19. Инварианты преобразования.
20. Закон взаимосвязи массы и энергии.
21. Понятие о колебательных процессах. Кинематика гармонических колебаний.
22. Математический и физический маятники.
23. Собственные колебания гармонического осциллятора. Энергия колебаний.
24. Свободные затухающие колебания.
25. Вынужденные колебания осциллятора под действием синусоидальной силы. Резонанс.

26. Волны в упругих средах. Уравнение плоской волны.
27. Фазовая и групповая скорости.
28. Энергетические соотношения. Вектор Умова.
29. Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул и ее связь с абсолютной температурой.
30. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.
31. Распределение молекул по скоростям.
32. Барометрическая формула. Распределение Больцмана.
33. Газовые законы. Уравнение состояния идеального газа.
34. Число столкновений и средняя длина свободного пробега.
35. Внутренняя энергия термодинамической системы. Первое начало термодинамики.
36. Зависимость между теплоемкостями газов при постоянном давлении ( $C_p$ ) и при постоянном объеме ( $C_v$ ).
37. Работа газа при изобарическом и изотермическом расширениях.
38. Распределение энергии по степеням свободы. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкостей.
39. Работа газа при адиабатическом расширении.
40. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона.
41. Цикл Карно. КПД цикла.
42. Энтропия. Связь энтропии и вероятности термодинамического состояния.
43. Обратимые и необратимые процессы.
44. Второе начало термодинамики.
45. Уравнение реальных газов Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия реальных газов.
46. Электрические заряды
47. Закон сохранения электрического заряда
48. Закон Кулона
49. Напряженность электрического поля
50. Принцип суперпозиции полей
51. Теорема Гаусса
52. Проводники в электрическом поле
53. Сверхпроводники
54. Потенциал
55. Эквипотенциальные поверхности
56. Сила тока
57. Сопротивление проводника
58. Соединения проводников
59. Закон Ома для участка цепи
60. ЭДС источника тока
61. Закон Ома для полной цепи
62. Магнитное поле. Его характеристики
63. Напряженность магнитного поля
64. Индукция магнитного поля
65. Закон Био – Савара – Лапласа
66. Магнитный поток
67. Магнитное поле прямого тока
68. Магнитное поле кругового тока
69. Магнитное поле соленоида
70. Сила Ампера
71. Сила Лоренца
72. Явление электромагнитной индукции



73. Самоиндукция
74. Индуктивность соленоида
75. Магнитные свойства вещества
76. Конденсаторы
77. Емкость конденсаторов
78. Соединения конденсаторов
79. Энергия конденсаторов
80. Характеристики переменного тока
81. Колебательный контур
82. Электромагнитные волны

### Пример экзаменационного билета (1 курс)

#### Экзаменационный билет

1. . Степени свободы молекулы. Теплоемкости. Уравнение Майера.
2. Инерциальные системы отсчета. Первый закон Ньютона.
3. В баллоне объёмом 20 л находится аргон под давлением 1,0 МПа и температуре 300 К. После того как из баллона было взято 20,0 г аргона, температура в баллоне понизилась до 280 К. Определить давление газа, оставшегося в баллоне

#### Пример ответа на экзаменационный билет

1. Любые процессы, протекающие в газах, подчиняются первому закону (началу) термодинамики, являющемуся по существу законом сохранения и превращения энергии:

$$\delta Q = dU + \delta A, \quad (1)$$

где  $\delta Q$  – элементарное количество теплоты, получаемое газом;

$dU$  – приращение внутренней энергии газа;

$\delta A$  – элементарная работа, совершаемая газом.

Совершаемая газом работа определяется выражением:

$$\delta A = p dV, \quad (2)$$

где  $p$  – давление газа;

$dV$  – приращение объема, занимаемого газом.

Внутренняя энергия идеального газа - это суммарная кинетическая энергия поступательного и вращательного движения всех его молекул. Изменение внутренней энергии однозначно связано с изменением температуры:

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT, \quad (3)$$

где  $\mu$  и  $m$  – соответственно молярная масса и масса вещества;

$$R = 8.31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} - \text{универсальная газовая постоянная};$$

$dT$  – изменение температуры газа;

$i$  – число степеней свободы молекул (число независимых координат, задающих изменение положения молекулы в пространстве при поступательном движении и вращении). Поскольку вращение атома вокруг собственной оси не изменяет его положения в пространстве, то для одноатомных молекул  $i = 3$ , для двухатомных  $i = 5$ , для трехатомных и более  $i = 6$ .

Количество теплоты получаемое ( $\delta Q > 0$ ) или отдаваемое ( $\delta Q < 0$ ) газом, является мерой энергии, передаваемой в процессе теплообмена, и в общем случае может быть выражено уравнением:

$$\delta Q = C dT, \quad (4)$$

где  $C$  – теплоемкость тела;

$dT$  – изменение его температуры.

Согласно данному уравнению теплоемкость тела – это количество теплоты, необходимое для повышения температуры тела на один кельвин (или градус).

Удобнее пользоваться удельной теплоемкостью – теплоемкостью единицы массы вещества или молярной теплоемкостью – теплоемкостью одного моля вещества. В этих случаях уравнение (4) принимает вид:

$$\delta Q = c m dT, \quad (5)$$

$$\delta Q = C_v dT, \quad (6)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость;

$m$  – масса вещества;

$C_v$  – молярная теплоемкость;

$\nu = m/\mu$  – число молей вещества.

В отличие от твердых и жидких веществ, теплоемкость которых можно считать постоянной во всех процессах, у газов она принимает различные значения. В частности, при расчете теплообмена в изохорном и изобарическом процессах используют, соответственно, теплоемкость при постоянном объеме  $C_v$  и теплоемкость при постоянном давлении  $C_p$ .

Согласно уравнению (2), при постоянном объеме работа не производится, и все передаваемое газу количество теплоты идет на изменение внутренней энергии газа (1), то есть на повышение его температуры (3):

$$\delta Q = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R dT . \quad (7)$$

Для одного моля ( $\frac{m}{\mu} = 1$ ) это выражение приобретет вид:

$$\delta Q = \frac{i}{2} R dT = C_V dT , \quad (8)$$

где  $C_V = \frac{i}{2} R$  - молярная теплоемкость при постоянном объеме.

При постоянном давлении часть тепла расходуется на совершение работы расширения газа, и лишь оставшаяся часть - на повышение его температуры, поэтому теплоемкость газов в изобарическом процессе  $C_p$  всегда больше, чем в изохорическом  $C_V$ .

Действительно, объединяя уравнения (1, 2, 8) получим:

$$\delta Q = C_V dT + p dV . \quad (9)$$

Учитывая, что любой в момент времени состояние газа подчиняется уравнению Клапейрона - Менделеева (для одного моля)

$$pV = RT , \quad (10)$$

из которого следует, что при  $p = const$

$$p dV = R dT \quad (11)$$

и подставляя это выражение в уравнение (9), получим

$$\delta Q = C_V dT + R dT = C_p dT . \quad (12)$$

$$\text{Вытекающее отсюда соотношение } C_p = C_V + R \quad (13)$$

выражает связь между молярными теплоемкостями газов при постоянном давлении и постоянном объеме и носит название уравнения Майера.

Учитывая, что  $C_V = \frac{i}{2} R$ , из уравнения (13) получим:

$$C_p = \frac{i+2}{2} R , \quad (14)$$

т. е. молярные теплоемкости  $C_V$  и  $C_p$  идеальных газов зависят только от числа степеней свободы их молекул, и могут быть рассчитаны теоретически.

В случае смеси разноатомных газов и отклонения от идеальности определение их теплоемкости производят экспериментально.

2. Первый закон Ньютона формулируется так : Существуют такие системы отсчета , относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной или находится в покое , если на него не действуют другие тела , или действия других тел компенсируются . Первый закон Ньютона позволяет ответить на вопрос , при каких условиях скорость тела постоянна . Скорость тела остается постоянной , если действия на него других тел скомпенсированы . Само явление сохранения скорости постоянной ( в частности , нулевой ) называется инерцией , а системы отсчета , в которых выполняется закон , называют инерциальными . Сколько может быть инерциальных систем отсчета ? Если имеем одну , в которой выполняется первый закон Ньютона , то любая система отсчета , движущаяся относительно этой одной с постоянной скоростью будет также инерциальной . А таких систем может быть бесконечное множество .

Если Вы подбегаете к шарик , висящему на нити с ускорением , то и шарик относительно Вас будет двигаться с ускорением . И хотя все воздействия на шарик скомпенсированы , в системе отсчета , связанной с Вами он не покоится , а движется с ускорением и первый закон Ньютона не выполняется . Такие системы отсчета , движущиеся с ускорениями относительно инерциальных систем отсчета , называются неинерциальными . В дальнейшем мы будем пользоваться только инерциальными системами отсчета

3.

Дано:

$$V = 20 \text{ л} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$$

ния

$$p_1 = 1,0 \text{ МПа} = 1,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 280 \text{ К}$$

$$\Delta m = 20,0 \text{ г} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$p_2 = ?$$

Решение:

Для решения задачи воспользуемся уравнением состояния

идеального газа, применив его к начальному и конечному состояниям газа:

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu} R T_1, \quad (1)$$

$$p_2 V = \frac{m_2}{\mu} R T_2. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) выразим  $m_1$  и  $m_2$  и найдём их разность:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \left( \frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) \frac{\mu V}{R},$$

откуда находим

$$p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} - \frac{\Delta m R T_2}{\mu V}. \quad (3)$$

Проверку решения проведем по размерности физических величин. В правую часть вместо символов величин подставим их единицы измерения. В правой части два слагаемых. Первое из них имеет размерность давления, так как состоит из двух множителей, первый из которых – давление, а второй – безразмерный. Проверим второе слагаемое:

$$\frac{[R] \cdot [m] \cdot [T]}{[\mu] \cdot [V]} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{кг}} \cdot \text{кг} \cdot \text{К}}{\frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \text{м}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Вычисления произведём по формуле (3) с учётом, что для аргона  $\mu = 40 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

$$p_2 = 1,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{280}{300} - \frac{8,31 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2,8 \cdot 10^2}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 93,3 \cdot 10^4 - 5,8 \cdot 10^4 =$$

$$= 87,5 \cdot 10^4 \text{ Па} = 875 \text{ кПа.}$$

Ответ: 875 кПа.

### 3.2.2. Методические материалы

Условия и порядок проведения экзамена даны в Приложении № 2 к Положению ПВД-07 «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся».

На подготовку ответа обучающемуся предоставляется не более одного академического часа. На устный ответ обучающегося по вопросам экзаменационного билета отводится не более 10 мин, и не более 5 минут на ответы на дополнительные вопросы экзаменатора.

Обучающийся, испытывающий затруднения при подготовке к ответу по выбранному билету, имеет право получить второй билет с соответствующим продлением времени на подготовку.

Отметка "Отлично" ставится студенту давшему подробный ответ на теоретический вопрос, расписавшему и объяснившему второй вопрос, решившему правильно и подробно объяснившему задачу.

Отметка "Хорошо" ставится при полном ответе на вопросы экзаменационного билета, но допускались некоторые неточности в формулировках или не полностью объяснен ответ, и решившему задачу.

Отметка "Удовлетворительно" ставится при неполном ответе на теоретические вопросы экзаменационного билета и попытке решить задачу (или правильный и подробный ответ на теоретические вопросы, но отсутствует решение задачи).

### 3.3. Вопросы к экзамену / экзаменационные билеты.

#### 3.3.1. Вопросы (2 курс)

1. Интерференция света. Интерференция монохроматических волн. Интерференция цилиндрических и сферических волн.
2. Квазимонохроматические волны. Когерентность. Временная когерентность.
3. Пространственная когерентность.
4. Интерференция в тонких пленках.
5. Интерференция равной толщины и равного наклона. Интерференция в клине.
6. Кольца Ньютона.
7. Интерферометр Майкельсона.
8. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля.
9. Дифракция от круглого отверстия и круглого непрозрачного экрана.
10. Дифракция на одной щели.
11. Дифракционная решетка. Диаграмма направленности.
12. Дифракционная решетка как спектральный прибор. Разрешающая способность и дисперсия дифракционной решетки.
13. Критерий, определяющий вид дифракции. Дифракция на пространственной решетке.
14. Понятие о голографии.
15. Поляризация света. Поляризация при отражении и преломлении. Закон Брюстера.
16. Двойное лучепреломление. Поляризационные приборы.
17. Закон Малюса.
18. Тепловое излучение. Основные характеристики теплового излучения.
19. Закон Кирхгофа для теплового излучения. Закон Стефана-Больцмана и закон Вина.

20. Гипотеза Планка. Явление фотоэффекта.
21. Законы фотоэффекта. Фотоны.
22. Давление света.
23. Эффект Комптона.
24. Корпускулярно- волновой дуализм свойств вещества. Гипотеза де Бройля.
25. Экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля.
26. Соотношение неопределенностей.
27. Задание состояния микрочастицы: волновая функция и ее статистический смысл.
28. Временное уравнение Шредингера.
29. Стационарное уравнение Шредингера.
30. Частица в одномерном стационарном ящике. Свободная частица. Уровни энергии.
31. Принцип соответствия Бора.
32. Атом водорода по квантовой теории.
33. Водородоподобные атомы. Энергетические уровни. Потенциал возбуждения и ионизации. Спектры водородоподобных атомов.
34. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули.
35. Молекулярные спектры и их применение.
36. Опыт Герлаха и Штерна. Спин.
37. Линейный гармонический осциллятор.
38. Комбинационное рассеяние.
39. Эффект Зеемана. Эффект ЭПР.
40. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучение. Принцип детального равновесия. Коэффициенты Эйнштейна.
41. Принцип работы квантового генератора. Применение лазерного излучения.
42. Твердотельный и газоразрядный лазеры.
43. Строение атомных ядер. Феноменологический модели ядра: газовая, капельная, оболочечная.
44. Явление радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Характеристики радиоактивного распада.
45. Ядерные реакции.
46. Альфа-распад.
47. Резонансное поглощение  $\gamma$  - излучения. Эффект Мессбауэра и его применение.
48. Опыт Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.
49. Опыт Франка и Герца.

Согласно списку вопросов составляются экзаменационные билеты.

### **Пример экзаменационного билета (2 курс)**

#### **Экзаменационный билет**

1. Свойства и физический смысл волновой функции.
2. Интерференция. Опыт Юнга. Построение хода лучей в тонких пленках.
3. При наблюдении колец Ньютона в отраженном свете диаметр четвертого темного кольца оказался равным 14,4 мм. Определить длину волны монохроматического света, которым освещалась линза, если ее радиус кривизны 22 м.

#### **Пример ответа на экзаменационный билет**

1. Волновая функция  $\psi$  представляет собой полную квантовую характеристику состояния микрочастиц. Она характеризует состояние частицы и играет ту же самую роль, что и напряжённость электрического и магнитного полей в электромагнитном поле волны для фотона.

Волновая функция  $\psi$  может принимать положительные значения и отрицательные значения и характеризует дифракционные явления потоков микрочастиц.

Основное утверждение квантовой механики заключается в том, что величина  $\psi^2 \Delta V$  пропорциональна вероятности нахождения частицы в объёме  $\Delta V$ . Таким образом, уравнение Шредингера  $\Delta \psi + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U)\psi = 0$  даёт только вероятность нахождения частицы в определённой области пространства.

Если, например, электрон находится в таком состоянии, что он локализован в малой области пространства, то  $\psi$  - функция этого состояния электрона вне этой области обращается в нуль.

Для того чтобы волновая функция являлась объективной характеристикой состояния микрочастицы, она должна удовлетворять следующим условиям:

1. Функция  $\psi$  должна быть непрерывной, конечной, однозначной и иметь непрерывную первую производную.
2. Т.е. она не должна изменяться скачком и давать однозначное значение вероятности состояния частицы.

В определенных случаях одному и тому же значению энергии  $E$  системы (частицы) могут отвечать несколько состояний, описываемых разными волновыми функциями. Такие состояния называются вырожденными, соответственно дважды или трижды вырожденными и т.п.

Собственные функции  $\Psi$  уравнения Шредингера, принадлежащие разным собственным значениям ортогональны. Можно показать, что области нахождения частицы в состояниях  $\Psi_i$  и  $\Psi_j$  взаимно не налагаются. То есть

$$\int \Psi_i^* \Psi_j dv = \delta_{ij}, \quad (1.2)$$

где  $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j \\ 0, & \text{если } i \neq j. \end{cases}$  - символ Кронекера. Принадлежащие одному и тому же

собственному значению  $E_i$  вырожденные собственные функции  $\Psi_{i1}$ ,  $\Psi_{i2}$  и т.д. не обязательно ортогональны, но из линейных комбинаций этих функций может быть построена система ортогональных функций.

Уравнение Шредингера решается с точностью до произвольного множителя, т.е. если ему удовлетворяет функция  $\Psi_i$  то ему уже удовлетворяет и функция  $c\Psi_i$  где  $c$  — любое число. Для однозначности решения исходят из физической сущности  $\Psi$ -функции.

Волновая функция должна удовлетворять условию нормировки, т.е. для неё должно выполняться равенство:  $\int_V |\psi|^2 dV = 1$ , или  $\int_V \psi \psi^* dV = 1$ , где  $\psi^*$  - величина комплексно-сопряжённая функции  $\psi$ .

Физический смысл данного утверждения состоит в том, что при определённых условиях частица заведомо будет где-нибудь обнаружена. Т.е., что вероятность обнаружения частицы во всём пространстве равна 1, - вероятность достоверного события. Таким образом, в квантовой механике, вероятности входят непосредственно в фундаментальные механические соотношения как характеристические величины, а не как результаты недостаточности знаний механических деталей движения микрочастиц.

2. Интерференцию света можно наблюдать не только в лабораторных условиях с помощью специальных установок и приборов, но и в естественных условиях. Так, легко наблюдать радужную окраску мыльных пленок, тонких пленок нефти и минерального масла на поверхности воды, оксидных пленок на поверхности закаленных стальных деталей (цвета побежалости). Все эти явления обусловлены интерференцией света в тонких прозрачных пленках, возникающей в результате наложения когерентных волн, возникающих при отражении от верхней и нижней поверхностей пленки.

Исследование интерференции в тонких пленках позволяет определять ряд практически важных величин – толщину пленки, её показатель преломления, температуру нагрева под закалку деталей, длину волны излучения и т.д.

Схема возникновения интерференции света в отраженном свете показана на рис. 1.4. На пленку толщиной  $d$  падает плоская монохроматическая волна ( $\lambda_0 = \text{const}$ ) под углом  $i$ . Предположим, что по обе стороны от пленки с показателем преломления  $n$  находится одна и та же среда (например, воздух с показателем преломления  $n_0 = 1$ ).

Рассмотрим один луч, падающий на верхнюю поверхность пленки. На поверхности пленки в точке  $O$  падающий луч разделится на два: первый (1) – отразится от верхней поверхности пленки, второй (2) – преломится. Преломленный луч, дойдя до точки  $C$ , частично преломится в воздух, а частично отразится и пойдет к точке  $B$ .



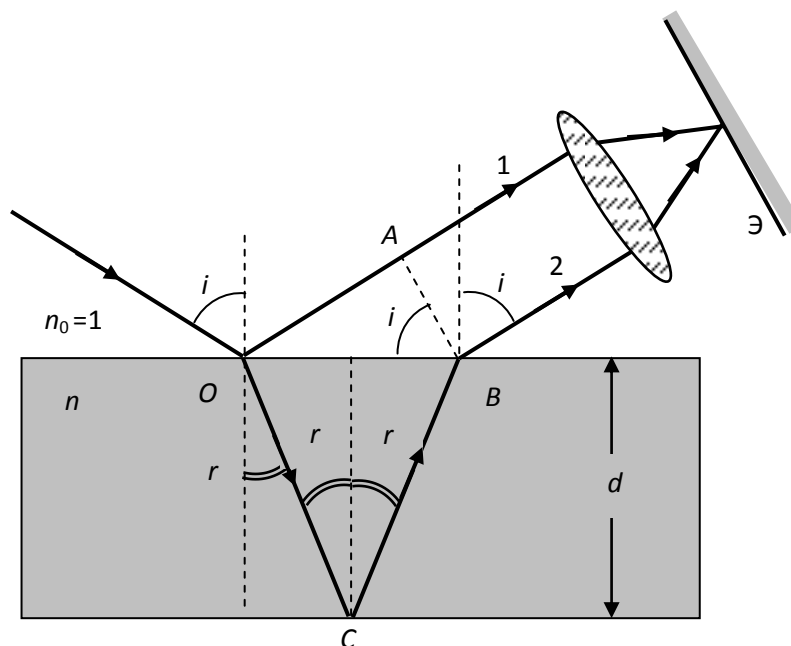


Рис. 1.4.

В этой точке он вновь частично отразится в пленку и частично преломится, выйдя в воздух под углом  $i$ . Лучи 1 и 2, образовавшиеся в результате отражения от верхней и нижней поверхностей пленки, когерентны. Если на их пути поставить собирающую линзу (глаз), то лучи сойдутся в одной из точек  $M$  фокальной плоскости, образуя на экране  $\mathcal{E}$  интерференционную картину (интерференция в отраженном свете).

Результат интерференции в точке  $M$  определится оптической разностью хода лучей 1 и 2. Оптическую разность хода эти лучи набирают от точки  $O$  до плоскости  $AB$ , являющейся фронтом вторичных (отраженных) лучей. Фронт  $AB$  перпендикулярен лучам 1 и 2.

Итак, оптическая разность хода лучей 1 и 2

$$\Delta L = (OC + CB)n - \left( OA + \frac{\lambda_0}{2} \right) n_0, \quad (1.1)$$

где  $n$  – показатель преломления пленки;  $n_0$  – показатель преломления воздуха,  $n_0 = 1$ ; а  $\lambda_0/2$  – длина полуволны, потерянной при отражении луча 1 в точке  $O$  от границы раздела с оптически более плотной средой ( $n > n_0$ ).

Используя выражение (1.1) для оптической разности хода, условия максимумов и минимумов интерференции, а также закон преломления, получим:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2k + 1)\frac{\lambda_0}{2}, \quad (1.2)$$

где  $k = 0, 1, 2, \dots$  (в этом случае отраженные лучи будут максимально усилены, т.е. наблюдается максимум интерференции);

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2k)\frac{\lambda_0}{2}, \quad (1.3)$$

(в этом случае наблюдается наибольшее ослабление отраженных лучей – минимум интерференции).

При освещении пленки белым светом она окрашивается в какой-либо определенный цвет, длина волны которого удовлетворяет максимуму интерференции. Следовательно, по цвету пленки можно оценивать её толщину.

Интерференция наблюдается также и в проходящем свете. Оптическая разность хода ( $\Delta L$ ) для проходящего света отличается от её значения для отраженного света на  $\lambda_0/2$ . Следовательно, максимуму интерференции в отраженном свете для данной длины волны соответствует минимум интерференции в проходящем, т.е. в отраженном и проходящем свете пленка окрашивается в дополнительные (до белого) цвета.

Возможность ослабления отраженного света вследствие интерференции в тонких пленках широко используется в современных оптических приборах (фотоаппаратах, биноклях, перископах, микроскопах и т.д.) для улучшения их качества. Способ получения высокоотражающих покрытий и улучшения качества оптических приборов получил название «просветления оптики».

Прохождение света через каждую преломляющую поверхность линзы, например, через границу стекло – воздух, сопровождается отражением  $\sim 4\%$  падающего потока (при показателе преломления стекла  $n = 1,5$ ). Так как современные объективы содержат большое количество линз, потери светового потока из-за отражений велики. В результате интенсивность прошедшего света ослабляется, и светосила оптического прибора уменьшается. Кроме того, отражение от поверхностей линз приводит к возникновению бликов, что, например, в военной технике, демаскирует местонахождение прибора. Для устранения указанных недостатков осуществляют так называемое просветление оптики. С этой целью на поверхности линз наносят тонкие пленки с показателем преломления, меньшим показателя преломления материала линз ( $1 < n < n_{ст}$ ). При отражении света от границ раздела воздух – пленка и пленка – стекло возникает интерференция когерентных лучей  $1'$  и  $2'$  (рис. 1.5).

Толщину пленки  $d$  и показатели преломления стекла  $n_{ст}$  и пленки  $n_{пл}$  подбирают так, чтобы при интерференции в отраженном свете лучи  $1'$  и  $2'$  гасили друг друга. Для этого их оптическая разность хода должна удовлетворять условию (1.17). Так как потери

полуволн происходят на обеих поверхностях пленки, и свет падает нормально (угол падения  $i = 0$ ), условие минимума в отраженном свете запишется так:

$$2dn_{\text{пл}} = (2k + 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (1.4)$$

где  $2d \cdot n_{\text{пл}}$  - оптическая разность хода лучей  $1'$  и  $2'$ . Толщину пленки выбирают минимальной ( $k=0$ ). Тогда

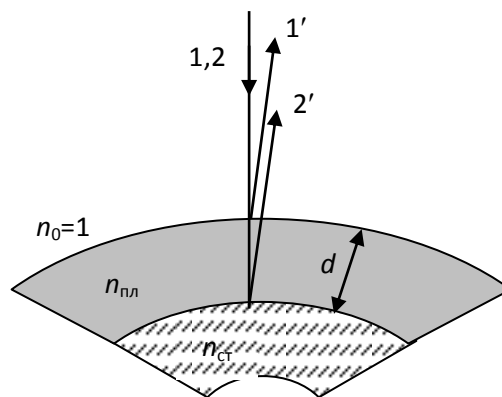


Рис. 1.5.

Схема интерференции при отражении

$$d = \frac{\lambda_0}{4n_{\text{пл}}}. \quad (1.5)$$

Так как добиться одновременного гашения всех длин волн спектра невозможно, то это обычно делается для зеленого цвета ( $\lambda_0 = 550$  нм), к которому человеческий глаз наиболее чувствителен (в спектре излучения Солнца эти лучи имеют наибольшую интенсивность).

В отраженном свете объективы с просветленной оптикой кажутся окрашенными в красно-фиолетовый цвет. Это, разумеется, несколько искажает цветопередачу в изображении. Для улучшения характеристик просветляющего покрытия его делают из нескольких слоев, что «просветляет» оптические стекла более равномерно по всему спектру.

При изучении интерференции света в тонких пленках различают полосы равного наклона и равной толщины.

Из выражений (1.2, 1.3) следует, что для данных  $\lambda_0$ ,  $d$ , и  $n$  каждому углу падения лучей соответствует своя интерференционная полоса. Интерференционные линии, возникающие в результате наложения лучей, падающих на плоскопараллельную пластинку под одинаковыми углами, называются полосами равного наклона.

Если пленка имеет переменную толщину  $d \neq \text{const}$ , а  $\lambda_0$ ,  $n$  и  $i$  неизменны, то на экране возникает система интерференционных полос, называемых полосами равной толщины. Каждая из полос возникает за счет отражения от мест пленки, имеющих одинаковую толщину.

3.

Дано:

$$d = 14.4 \text{ мкм} = 14.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$R = 22 \text{ м}$$

Решение:

Радиусы темных колец Ньютона в отраженном свете

$n = 1$ $m = 4$ <hr style="width: 100%;"/> $\lambda = ?$	$r_m = \sqrt{\frac{R\lambda m}{n}}, m = 0, 1, 2, \dots$ <p>Выразим из этой формулы длину волны</p> $r_m^2 = \frac{R\lambda m}{n}, m = 0, 1, 2, \dots$ $\lambda = \frac{r_m^2 n}{Rm}$ <p>Подставим числовые значения</p> $\lambda = \frac{(14.4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1}{22 \cdot 4} = 2.36 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ <p>Ответ: <math>\lambda = 2.36 \cdot 10^{-6} \text{ м}</math></p>
--	--

### 3.3.2. Методические материалы

Условия и порядок проведения экзамена даны в Приложении № 2 к положению ПВД-07 "О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся"

На подготовку ответа обучающемуся предоставляется не более одного академического часа. На устный ответ обучающегося по вопросам экзаменационного билета отводится не более 10 мин, и не более 5 минут на ответы на дополнительные вопросы экзаменатора.

Обучающийся, испытывающий затруднения при подготовке к ответу по выбранному билету, имеет право получить второй билет с соответствующим продлением времени на подготовку.

Отметка "Отлично" ставится студенту давшему подробный ответ на теоретический вопрос, расписавшему и объяснившему второй вопрос, решившему правильно и подробно объяснившему задачу.

Отметка "Хорошо" ставится при полном ответе на вопросы экзаменационного билета, но допускались некоторые неточности в формулировках или не полностью объяснен ответ, и решившему задачу.

Отметка "Удовлетворительно" ставится при неполном ответе на теоретические вопросы экзаменационного билета и попытке решить задачу (или правильный и подробный ответ на теоретические вопросы, но отсутствует решение задачи).