

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Новиков Денис Владимирович  
Должность: Директор филиала  
Дата подписания: 11.11.2024 11:00:25  
Уникальный программный ключ:  
3357c68ce48ec4f695c95289ac7a9678e502be60

### Тест 3

#### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 3 «Маятник Обербека»

1. Какие кинематические величины характеризуют вращательное движение, поступательное движение? Запишите связь между ними.
2. Что характеризует момент инерции твердого тела относительно оси вращения? Как он рассчитывается?
3. Сформулируйте теорему Штейнера. Приведите пример ее применения.
4. Как изменятся кинематические величины при опускании груза, если грузы-насадки на крестовине передвинуть ближе (дальше) к оси вращения.
5. Дайте определение момента силы. Какие моменты сил действуют на крестовину маятника Обербека в данной работе.
6. Запишите математически и сформулируйте закон динамики вращательного движения относительно оси вращения.

## Тест 5

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 5 «Изучение равновесных и квазиравновесных термодинамических процессов и экспериментальное определение показателя адиабаты воздуха»

1. Дайте определение идеального газа. Запишите уравнение Менделеева-Клапейрона, связывающее параметры состояния идеального газа.
2. Дайте определение изопроцессов и адиабатного процесса, напишите уравнения этих процессов, графически изобразите их на диаграмме состояний. Выведите уравнение адиабатического процесса (уравнение Пуассона).
3. Сформулируйте первый закон (начало) термодинамики. Объясните каждую из величин  $Q$ ,  $\Delta U$ ,  $A$  ( $\delta Q$ ,  $dU$ ,  $\delta A$ ) входящую в этот закон. От каких параметров состояния идеального газа зависят эти величины. Запишите первое начало термодинамики для изопроцессов и адиабатного процесса.
4. Что называется степенями свободы молекулы и чему равно их число для одно-, двух- и трехатомных молекул? Назовите известные вам газы с одно-, двух- и трехатомными молекулами. Запишите химический состав воздуха в процентном отношении. Из каких молекул состоят газы, входящие в состав воздуха?
5. Дайте определение теплоемкости, удельной теплоемкости и молярной теплоемкости газа. В каких единицах их измеряют в СИ?
6. Чему равны молярные теплоемкости идеального газа при изобарическом, изохорическом, изотермическом и адиабатическом процессах? Каким соотношением связаны между собой молярные теплоемкости идеального газа при изобарическом и изохорическом процессах?
7. Что называется показателем адиабаты для идеального газа? Запишите выражение для показателя адиабаты через число степеней свободы молекул.

## Тест 23

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 23 «Маятник Максвелла»

1. Дать определение поступательного и вращательного движений.
2. Дать определение момента силы относительно точки и относительно оси.
3. Что называется моментом инерции твердого тела? От чего он зависит? Какой физический смысл момента инерции?
4. Записать выражения для моментов инерции тел простейшей формы относительно оси, проходящей через центр масс.
5. Сформулировать теорему Штейнера и привести пример ее применения.
6. При каких условиях время подъема и опускания маятника будет одинаковым?

## Тест 63

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 63 «Изучение электронного осциллографа»

1. Устройство электронно-лучевой трубки и назначение отдельных её частей. Благодаря какому явлению внутри трубки появляются электроны? Электронная пушка. Управляющие электроды. Соединение электродов трубки с источниками питания. Каким образом достигается четкость пятна на экране трубки и как можно регулировать яркость светящегося пятна?
2. Как при помощи электронного осциллографа получается осциллограмма исследуемого напряжения? Как получаются фигур Лиссажу? Чем определяется вид фигур Лиссажу.
3. Как рассчитать скорость, полученную электроном при прохождении ускоряющего поля между анодом и катодом? Вывод формулы для определения чувствительности трубки.
4. Генератор развертки и его назначение. Как получается устойчивое изображение на экране электронно-лучевой трубки?
5. Блок схема осциллографа ФП-33 и назначение отдельных его узлов.
6. Порядок выполнения лабораторной работы. Как в условиях опыта определяется чувствительность трубки? Как можно наблюдать форму кривой напряжения развертки осциллографа ФП-33?

## Тест 13

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 13 «Коэффициент поверхностного натяжения жидкости»

1. Какой метод определения коэффициента поверхностного натяжения применяется в данной работе?
2. Под действием каких сил смачивающая жидкость поднимается в капилляре, а несмачивающая жидкость опускается?
3. Что такое краевой угол?
4. Дать определение коэффициента поверхностного натяжения.
5. Записать и объяснить формулу Лапласа для добавочного давления в случае произвольно изогнутой поверхности жидкости.
6. Вывести формулу, определяющую высоту поднятия жидкости в капилляре.

## Тест 14

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 14 «Определение удельного заряда электрона (метод магнетрона)»

1. Расскажите об устройстве магнетрона. За счет чего создаются электрическое и магнитное поля? Покажите направление индукции магнитного поля и напряженности электрического поля в лампе магнетрона.
2. Какие силы действуют на электрон в электрическом и магнитном полях?
3. Какое направление имеет сила Лоренца? Чему равен ее модуль?
4. Как изменяется анодный ток магнетрона при увеличении тока в соленоиде?
5. По каким траекториям может двигаться заряд в однородном магнитном поле?.
6. Понятие добротности контура, способ ее нахождения по резонансной кривой.

## Тест 53

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 53 «Исследование магнитного поля соленоида»

1. Что является источником магнитного поля?
2. Как намагнитить вещество?
3. Сформулировать закон Био-Савара-Лапласа.
4. Как с помощью закона Био-Савара-Лапласа рассчитать индукцию магнитного поля: а) на оси кругового тока; б) на оси соленоида; в) на расстоянии  $r$  от бесконечного прямого проводника с током?
5. В чем состоит эффект Холла?
6. Как ведет себя заряд, влетающий в однородное магнитное поле?
7. От чего зависит величина и направление силы Лоренца?

## Тест 31

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 31 «Изучение вынужденных колебаний в колебательном контуре и определение индуктивности катушки при помощи резонанса»

1. Свободные электрические колебания в контуре.
2. Свободные затухающие колебания.
3. Вынужденные электрические колебания.
4. Векторная диаграмма. Нарисовать векторную диаграмму для схемы, предложенной преподавателем.
5. Переменный ток. Метод комплексных импедансов. Рассчитать импеданс схемы, предложенной преподавателем.
6. Понятие добротности контура, способ ее нахождения по резонансной кривой.



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20. уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение.
3. Первое начало термодинамики и его применение к изопроцессам.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Угловая скорость и угловое ускорение.
3. Адиабатный процесс.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Связь линейных и угловых кинематических характеристик.
3. Изотермический процесс.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Законы динамики.
3. Изобарный процесс.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 5

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Потенциальная, кинетическая и полная механическая энергия. Закон сохранения полной механической энергии.
3. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы. Работа цикла.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Кинетическая энергия вращающегося тела.
3. Энтропия. Второе начало термодинамики. Статистический смысл второго начала термодинамики.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20/ уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Момент инерции. Момент силы.
3. Идеальная тепловая машина. Цикл Карно и его КПД.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20/ уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Основной закон динамики вращательного движения.
3. Колебания. Виды колебаний. Маятники.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.  
Работа при вращательном движении.
3. Сложение колебаний одной частоты.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Теорема Штейнера.
3. Гармонические механические колебания: уравнение,  
характеристики.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Идеальный газ. Давление идеального газа.
3. Способы описания колебательных процессов.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
3. Энергия колебательных процессов.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Импульс тела. Импульс системы тел. Закон сохранения импульса.
3. Затухающие колебания: уравнение, график, характеристики.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Закон равного распределения энергии по степеням свободы.
3. Волны. Уравнение волны.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15  
по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Барометрическая формула.
3. Волновое уравнение. Фазовая скорость волны.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16  
по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Распределение Больцмана.
3. Стоячие волны.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17  
по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Первое начало термодинамики и его применение к изопроцессам.
3. Угловая скорость и угловое ускорение.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18  
по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Адиабатный процесс.
3. Связь линейных и угловых кинематических характеристик.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Изотермический процесс.
3. Кинетическая энергия вращающегося тела.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 20

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Изобарный процесс.
3. Момент инерции. Момент силы.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Изохорный процесс.
3. Основной закон динамики вращательного движения.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы.  
Работа цикла.
3. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.  
Работа при вращательном движении.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Идеальная тепловая машина. Цикл Карно и его КПД.
3. Теорема Штейнера.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 24

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Сложение колебаний одной частоты.
3. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 25

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Гармонические механические колебания: уравнение, характеристики.
3. Идеальный газ. Давление идеального газа.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 26

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Способы описания колебательных процессов.
3. Распределение Больцмана.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 27

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Затухающие колебания: уравнение, график,  
характеристики.
3. Барометрическая формула.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 28

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Волновое уравнение. Фазовая скорость волны.
3. Законы динамики.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 29

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Стоячие волны.
3. Импульс тела. Импульс системы тел. Закон сохранения импульса.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**  
1. семестр ....1... курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 30

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Колебания. Виды колебаний. Маятники.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

### Задачи к билетам

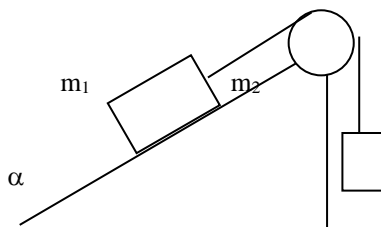
1. Тело брошено со скоростью  $U_0 = 15$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) высоту подъема тела; 2) дальность полета (по горизонтали)  $s$  тела; 3) время его движения.

2. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением  $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$  ( $C = 0,1$  м/с<sup>2</sup>,  $D = 0,03$  м/с<sup>3</sup>). Определить: 1) через сколько времени после начала движения ускорение  $a$  тела будет равно 2 м/с<sup>2</sup>; 2) среднее ускорение  $a_{cp}$  тела за этот промежуток времени.

3. Зависимость пройденного телом пути по окружности радиусом  $r = 3$  м задается уравнением  $s = At^2 + Bt$  ( $A = 0,4$  м/с<sup>2</sup>;  $B = 0,1$  м/с). Определить для момента времени  $t = 1$  с после начала движения ускорения: 1) нормальное; 2) тангенциальное; 3) полное.

4. Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время  $t = 2$  мин оно изменило частоту вращения от 240 до 60 мин<sup>-1</sup>. Определить: 1) угловое ускорение колеса; 2) число полных оборотов, сделанных колесом за это время.

5. В установке угол  $\alpha$  наклонной плоскости с горизонтом равен  $20^\circ$ , массы тел  $m_1 = 200$  г и  $m_2 = 150$  г. Считая нить и блок невесомыми и пренебрегая силами трения, определить ускорение, с которым будут двигаться эти тела, если тело  $m_2$  опускается.



6. Снаряд массой  $m = 5$  кг, вылетевший из орудия, в верхней точке траектории имеет скорость  $v = 300$  м/с. В этой точке он разорвался на два осколка, причем больший осколок  $m_1 = 3$  кг полетел в обратном направлении со скоростью  $v_1 = 100$  м/с. Определить скорость  $v_2$  второго, меньшего, осколка.

7. Автомашина массой  $m = 1,8$  т движется в гору, уклон которой составляет 3 м на каждые 100 м пути. Определить 1) работу, совершаемую двигателем автомашины на пути 5 км, если коэффициент трения равен 0,1; 2) развиваемую двигателем мощность, если известно, что этот путь был преодолен за 5 мин.

8. Два груза ( $m_1 = 500$  г и  $m_2 = 700$  г) связаны невесомой нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К грузу  $m_1$  приложена горизонтально направленная сила  $F = 6$  Н. Пренебрегая трением, определить: ускорение грузов; 2) силу натяжения нити.





9. По наклонной плоскости с углом  $\alpha$  наклона к горизонту, равным  $30^\circ$ , скользит тело. Определить скорость тела в конце второй секунды от начала скольжения, если коэффициент трения  $\mu = 0,15$ .
10. К ободу однородного диска массой  $m = 10$  кг, насаженного на ось, приложена постоянная касательная сила  $F = 30$  Н. Определить кинетическую энергию диска через время  $t = 4$  с после начала действия силы.
11. Азот массой 7 г находится под давлением  $p = 0,1$  МПа и температуре  $T_1 = 290$  К. Вследствие изобарного нагревания азот занял объем  $V_2 = 10$  л. Определить: 1) объем газа  $V_1$  до расширения; 2) температуру  $T_2$  газа после расширения; 3) плотности газа до и после расширения.
12. Кислород массой 32 г находится в закрытом сосуде под давлением 0,1 МПа при температуре 290 К. После нагревания давление в сосуде повысилось в 4 раза. Определить: 1) объем сосуда; 2) температуру, до которой газ нагрели; 3) количество теплоты, сообщенное газу.
13. При изобарном нагревании некоторого идеального газа ( $\nu = 2$  моль) на  $\Delta T = 90$  К ему было сообщено количество теплоты 2,1 кДж. Определить: 1) работу, совершаемую газом; 2) изменение внутренней энергии газа; 3) величину  $\gamma = C_p/C_v$ .
14. При адиабатическом расширении кислорода ( $\nu = 2$  моль), находящегося при нормальных условиях, его объем увеличился в  $n = 3$  раза. Определить: 1) изменение внутренней энергии газа; 2) работу расширения газа.
15. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя  $T_1 = 500$  К. Работа изотермического расширения газа составляет 2 кДж. Определить: 1) термический КПД цикла; 2) количество теплоты, отданное газом при изотермическом сжатии холодильнику.
16. Колесо вращается так, что зависимость угла поворота от времени дается уравнением  $\varphi$ , где  $B = 1 \text{ рад}/\text{с}$ ,  $C = 1 \text{ рад}/\text{с}^2$ ,  $D = 1 \text{ рад}/\text{с}^3$ . Найти радиус колеса, если известно, что к концу второй секунды движения ускорение точек, лежащих на ободу колеса, равно  $a_n = 3,46 \cdot 10^2 \text{ м}/\text{с}^2$ .
17. Материальная точка массой  $m = 2$  кг движется под действием некоторой силы  $F$  согласно уравнению  $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ , где  $C = 1 \text{ м}/\text{с}^2$ ,  $D = -0,2 \text{ м}/\text{с}^3$ . Найти значения этой силы в моменты времени  $t_1 = 2$  с и  $t_2 = 5$  с. В какой момент времени сила равна нулю?

18. Платформа в виде диска радиусом  $R = 1$  м вращается по инерции с частотой  $n_1 = 6 \text{ мин}^{-1}$ . На краю платформы стоит человек, масса  $m$  которого равна 80 кг. С какой частотой  $n$  будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции  $I$  платформы равен  $120 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ . Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

19. Движение точки по кривой задано уравнениями  $x = A_1 t^3$  и  $y = A_2 t$ , где  $A_1 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^3}$ ;

$A_2 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Найти уравнение траектории точки, ее скорость  $v$  и полное ускорение  $a$  в момент времени  $t = 0.8$  с.

20. В лодке массой  $m_1 = 240$  кг стоит человек массой  $m_2 = 60$  кг. Лодка плывет со скоростью  $v_1 = 2$  м/с. Человек прыгает с лодки в горизонтальном направлении со скоростью  $v = 4$  м/с (относительно лодки). Найти скорость  $u$  движения лодки после прыжка человека в двух случаях: 1) человек прыгает вперед по движению лодки; 2) в сторону, противоположную движению лодки.

21. Человек массой 60 кг находится на неподвижной платформе массой 100 кг. Какое число оборотов в минуту будет делать платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом 5 м вокруг оси вращения? Скорость движения человека относительно платформы равна 4 км/час. Радиус платформы 10 м. Считать платформу однородным диском, а человека - точечной массой.

22. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты  $Q = 21$  кДж. Определить работу  $A$ , которую совершил при этом газ, и изменение его внутренней энергии.

## Тест 38

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 38 «Определение длины световой волны с помощью колец Ньютона»

1. Опишите явление интерференции и поясните, почему интерференционное сложение отсутствует при сложении колебаний, имеющих взаимно перпендикулярные направления.
2. Что называется интенсивностью световой волны? Получите выражение  $I = E^2(\cos^2 \omega t) = E^2/2$ .
3. Дайте определение показателя преломления среды. Почему выпуклая линза является собирающей, а вогнутая- рассеивающей? Дайте определение оптической силы линзы.
4. Дайте определение оптической разности хода для световых волн, напишите условие максимумов и минимумов интенсивности интерференционной картины.
5. Выведите расчетные формулы в эксперименте с использованием колец Ньютона 1) для определения длины световой волны  $\lambda$  при известной оптической силе линзы  $F=1/D(\text{м})$  и 2) для определения оптической силы линзы при известной длине волны (частоты) падающего света.
6. Как изменится наблюдаемая с помощью колец Ньютона интерференционная картина, если свободное пространство между линзой и плоско параллельной стеклянной пластиной заполнить прозрачной средой с показателем преломления 1)  $n < n_{\text{ст}}$ , меньшим показателя преломления стекла, и 2)  $n > n_{\text{ст}}$ .

## Тест 36

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 36 «Определение степени поляризации частично поляризованного света»

1. Естественный, поляризованный свет.
2. Частично поляризованный свет. Степень поляризации.
3. В чем состоит явление двойного лучепреломления и его объяснение.
4. Закон Малюса.

## Тест 46

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 46 «Снятие вольтамперной характеристики фотоэлемента»

1. Какие уравнения выражают связь волновых и корпускулярных свойств частиц.
2. Чему равна масса фотона.
3. Определение явления фотоэффекта. Его отличие от эффекта Комптона. Физический смысл формулы Комптона.
4. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта, его физический смысл.
5. Определение порога и красной границы фотоэффекта.
6. Объяснение закона Столетова. Почему фототок не зависит от частоты фотона.
7. Устройство фотоэлемента.
8. Что такое вольтамперная характеристика, ток насыщения.
9. Определение запирающего напряжения, от чего он зависит.

## Тест 18

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 18 «Определение электродвижущей силы элемента методом компенсации»

1. Что называется электрическим током? Назовите единицы измерения силы тока.
2. Что называется ЭДС? Назовите единицы измерения ЭДС.
3. Закон Ома для однородного и неоднородного измерения ЭДС.
4. Метод компенсации для измерения ЭДС.
5. От чего зависит сопротивление проводника? Назовите единицы измерения сопротивления.
6. Параллельное и последовательное соединение проводников.
7. Правила Кирхгофа для расчета разветвленных электрических цепей.

## Тест 12

### Контрольные вопросы

к лабораторной работе № 18 «Исследование электростатического поля»

1. Что такое напряженность и потенциал электростатического поля?
2. Какова связь вектора напряженности и потенциала?
3. Какова связь проекции вектора напряженности на некоторое направление и потенциала?
4. Как определить значение потенциала на эквипотенциальной поверхности, относительно какого тела он определяется?
5. Как по картине эквипотенциальных линий построить картину силовых линий электростатического поля? Докажите, что силовые линии пересекают эквипотенциальные поверхности под прямым углом.

6. Как можно вычислить напряженность и потенциал поля точечного заряда?
7. Какой угол составляют силовые линии с поверхностью заряженного проводника в непосредственной близости от неё вне проводника?

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Электрическое поле. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей.
3. Дифракция волн на отверстиях, диске.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра Физики

2 семестр, ....1 курс 20. /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Потенциал электрического поля. Эквипотенциальные поверхности.
3. Дифракция волн на щели.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Связь между напряженностью электростатического поля  $E$  и потенциалом  $\varphi$ . Графические способы описания электростатических полей.
3. Поляризация света.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1 курс** 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Электрическая емкость. Конденсаторы. Энергия электрического поля.
3. Законы Малюса и Брюстера.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 6**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Сторонние силы. ЭДС. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
3. Состав и характеристики атомных ядер.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 1/20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 7**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Правила Кирхгофа.
3. Дефект массы и энергия связи ядра.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 8**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитных полей.
3. Зависимость удельной энергии связи от массового числа.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 2С /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 9**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Напряженность магнитного поля. Закон полного тока.  
Магнитное поле тора и соленоида.
3. Виды радиоактивности.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова , 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 10

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Сила Лоренца.
3. Закон радиоактивного распада.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 11**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Закон Ампера.
3. Закон радиоактивного распада.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20/ .уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 12**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Эффект Холла.
3. Активность источников радиоактивного излучения.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20/ уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 13**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.
3. Дифракция волн.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца.
3. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20/20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 15**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Индуктивность контура. Самоиндукция. Энергия и плотность энергии магнитного поля.
3. Интерференция в тонких пленках.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 16**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Природа диа- и парамагнетизма.
3. Когерентность волн. Интерференция волн от двух когерентных источников.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20: /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 17**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Ферромагнетики и их характеристики.
3. Поглощение электромагнитных волн.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 18**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Уравнения Максвелла в дифференциальной форме.
3. Состав и характеристики атомных ядер.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20/ уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 19**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Уравнения Максвелла в интегральной форме.
3. Дефект массы и энергия связи ядра.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 21**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Затухающие электромагнитные колебания.
3. Дефект массы и энергия связи ядра.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 22**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Вынужденные электромагнитные колебания. Резонанс.
3. Правила Кирхгофа.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 23**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Закон Ома для переменного тока. Мощность в цепи переменного тока. Коэффициент мощности.
3. Законы Малюса и Брюстера.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 25**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Свойства электромагнитных волн.
3. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитных полей.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20/ уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 26**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Энергия электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга.
3. Закон радиоактивного распада.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1 курс** 20 /20/ уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 27**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Плотность энергии электромагнитного поля.
3. Дефект массы и энергия связи ядра.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 28**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Поглощение электромагнитных волн.
3. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Правило Ленца.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ...1** курс 20 /20/ уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 29**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля.
3. Закон Био-Савара-Лапласа и его применение к расчету магнитных полей.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО  
ТРАНСПОРТА  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Волжский государственный  
университет водного транспорта»  
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
г. Н. Новгород, 603600,  
ул. Нестерова, 5

Кафедра **Физики**

**2 семестр, ....1** курс 20 /20 уч. г.

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 30**

по дисциплине **ФИЗИКА**

1. Задача по теме.
2. Дифракция волн на отверстии, диске.
3. Связь между напряженностью электростатического поля  $E$  и потенциалом  $\varphi$ . Графические способы описания электростатических полей.

Зав. кафедрой

Ф.И. Выборнов

## Электростатика

**Задача 1.** Два одинаковых заряженных шарика, подвешенные на нитях одинаковой длины, опускают в керосин плотностью  $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$ . Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость керосина  $\varepsilon = 2$ .

Дано:

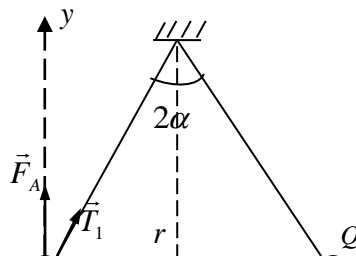
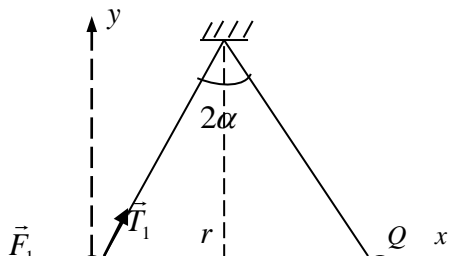
$$\rho_k = 0,8 \text{ г/см}^3 = 8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$2\alpha$$

$$\varepsilon = 2$$

$$\rho - ?$$

Решение:



Вспользуемся условиями равновесия:  $\sum \vec{F}_k = 0$ .

$$\vec{T}_1 + m\vec{g} + \vec{F}_1 = 0$$

$$\vec{T}_2 + m\vec{g} + \vec{F}_2 = 0$$

В проекциях на оси «X» и «Y»:

$$F_1 = T_1 \sin \alpha \quad (1)$$

$$F_2 = T_2 \sin \alpha \quad (3)$$

$$mg = T_1 \cos \alpha \quad (2)$$

$$mg = F_A + T_2 \cos \alpha \quad (4)$$

Из (1) и (2)  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_1}{mg}$ , из (3) и (4)  $\operatorname{tg}\alpha = \frac{F_2}{mg - F_A}$ , но т.к. углы

расхождения нитей в вакууме и керосине одинаковы и равны  $2\alpha$ ,

$$\frac{F_1}{mg} = \frac{F_2}{mg - F_A} \quad (5)$$

Силы кулоновского отталкивания

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{r^2} \qquad F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{Q^2}{r^2};$$

масса шарика  $m = V \cdot \rho$ , сила Архимеда  $F_A = V\rho_k g$ .

Из (5) получим:

$$\frac{1}{V\rho} = \frac{1}{\epsilon(V\rho - V\rho_k)},$$

откуда

$$\rho = \frac{\varepsilon \rho_k}{\varepsilon - 1}.$$

Подставив  $\varepsilon, \rho_k$ , получим  $\rho = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{м}^3 = 1,6 \text{ г} / \text{см}^3$ .

Ответ:  $\rho = 1,6 \text{ г} / \text{см}^3$ .

*Задача 2.* Электрическое поле создано двумя зарядами  $q_1 = 8 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -6 \text{ нКл}$ , находящимися на расстоянии  $d = 5 \text{ см}$  друг от друга. Найти напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  в точке, отстоящей на  $a = 4 \text{ см}$  и  $b = 3 \text{ см}$  от  $q_1$  и  $q_2$  соответственно.

Дано:

Решение:

$$q_1 = 8 \text{ нКл} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -6 \text{ нКл} = -6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$d = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$a = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$b = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$E$  - ?

$\varphi$  - ?

Согласно принципу суперпозиции

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 .$$

Поскольку  $d^2 = a^2 + b^2$ , где  $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{a^2}$ ,  $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{b^2}$  -

напряженности поля точечных зарядов.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{q_1^2}{a^4} + \frac{q_2^2}{b^4}}$$

$$E = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \sqrt{\frac{64 \cdot 10^{-18}}{256 \cdot 10^{-8}} + \frac{36 \cdot 10^{-18}}{81 \cdot 10^{-8}}} = 75 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 75 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$$

Потенциал

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \left( \frac{8 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-2}} + \frac{-6 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-2}} \right) = 0(B).$$

Ответ:  $E = 75 \text{ кВ/м}$ ;  $\varphi = 0$ .

*Задача 3.* Тонкое полукольцо радиуса  $R = 20 \text{ см}$  заряжено равномерно зарядом  $q = 0,7 \text{ нКл}$ . Найти модуль вектора напряженности электрического поля в центре кривизны этого полукольца.

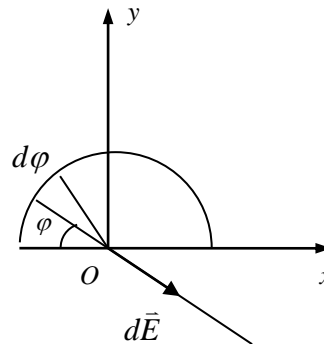
Дано:

$$R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$


$$q = 0,7 \text{ нКл} = 0,7 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$E - ?$

Решение:







Выделим на полукольце малый элемент, заряд которого  $dq = \frac{q}{\pi R} \cdot R d\varphi = \frac{q}{\pi} d\varphi$ . Считая  $dq$  – точечным зарядом, определим модуль напряженности создаваемого им поля в точке О:

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{R^2}.$$

Согласно принципу суперпозиции  $\vec{E} = \int d\vec{E}$ . Из соображений симметрии, очевидно, что  $E_x = \int dE_x = 0$  и  $E_y = \int dE_y = E$  в точке О.

$$dE_y = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{R^2} \sin \varphi dq = -\frac{1}{4\pi^2 \epsilon_0} \frac{q}{R^2} \sin \varphi d\varphi.$$

$$E = E_y = -\frac{1}{4\pi^2 \varepsilon_0} \frac{q}{R^2} \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi = \frac{1}{4\pi^2 \varepsilon_0} \frac{q}{R^2} \cos \varphi \Big|_0^\pi = \frac{1}{2\pi^2 \varepsilon_0} \frac{q}{R^2}.$$

Подставляя значения  $q, R, \varepsilon_0$ , получим:

$$E = \frac{1}{2\pi^2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 10^{-2}} = 100(B/m)$$

Ответ:  $E = 100 B/m$ .

*Задача 4.* На расстоянии  $r_1 = 4\text{см}$  от бесконечно длинной заряженной нити находится точечный заряд  $Q = 0,66\text{нКл}$ . Под действием поля заряд приближается к нити до расстояния  $r_2 = 2\text{см}$ ; при этом совершается работа  $A = 5\text{мкДж}$ . Найти линейную плотность заряда на нити.

Дано:

Решение:

$$r_1 = 4\text{см} = 0,04\text{м}$$

$$r_2 = 2\text{см} = 0,02\text{м}$$

$$Q = 0,66\text{нКл} = 0,66 \cdot 10^{-9}\text{ Кл}$$

$$A = 5\text{мкДж} = 5 \cdot 10^{-6}\text{ Дж}$$

---

$\tau$  - ?

Элементарная работа по перенесению полем  
заряда  $Q$

$$dA = QdU.$$

Поскольку

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi, E = -\frac{dU}{dr}; dU = -E dr.$$

Напряженность поля, создаваемого заряженной  
нитью

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

где  $\tau$  - линейная плотность заряда,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{ Ф/м}$ ,  $\epsilon = 1$  в вакууме.

Получим:

$$dA = -\frac{\tau Q}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{dr}{r},$$

для работы

$$A = \int_1^2 dA$$

$$A = -Q \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau Q}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\tau Q}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_1}{r_2}$$

Искомая линейная плотность заряда

$$\tau = \frac{2\pi\epsilon_0 A}{Q \cdot \ln \frac{r_1}{r_2}};$$

$$\tau = \frac{6,28 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{0,66 \cdot 10^{-9} \ln 2} \cong 607 \cdot 10^{-9} = 0,6 (\text{мкКл} / \text{м})$$

Ответ:  $\tau = 0,6 \text{ мкКл/м}$ .

*Задача 5.* Электрическое поле создается непроводящим шаром радиусом  $R = 10 \text{ см}$ , равномерно заряженным с объемной плотностью  $\rho = 20 \text{ нКл/м}^3$ . Определить разность потенциалов между точками внутри шара на расстоянии  $r_1 = 2 \text{ см}$  и  $r_2 = 8 \text{ см}$  от его центра.

Дано:

$$R = 0,1 \text{ м},$$

$$\rho = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^3;$$

$$r_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$r_2 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

---

$$(\varphi_2 - \varphi_1) - ?$$

Решение:

Проведем мысленно внутри шара сферическую поверхность, центр которой совпадает с центром шара; радиус поверхности  $r$  меньше радиуса сферы.

Воспользуемся теоремой Гаусса:

$$\oint_S E_n ds = \frac{Q}{\epsilon_0}.$$



Так как  $E_n = E$ , а площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ ,

$$\oint_S E_n ds = E \cdot 4\pi \cdot r^2.$$

Заряд внутри поверхности

$$Q = \int_V \rho dV = \rho \int_V dV = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3.$$

$$E \cdot 4\pi r^2 = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3,$$

откуда

$$E = \frac{\rho}{3\varepsilon_0} r.$$

Напряженность для радиально симметричного электростатического поля равна

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\frac{d\varphi}{dr} \cdot \frac{\vec{r}}{r},$$

откуда

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr.$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho}{3\varepsilon_0} r dr = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{3\varepsilon_0} (r_2^2 - r_1^2) = \frac{\rho}{6\varepsilon_0} (r_2^2 - r_1^2).$$

Подставляя известные  $\rho, r_1, r_2, \varepsilon_0$ , получим:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{2 \cdot 10^{-8}}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \cdot (8^2 - 2^2) \cdot 10^{-4} = 2,26(\text{В})$$

Ответ: 2,26В.

*Задача 6.* Конденсатор емкости  $C_1 = 1,0 \text{ мкФ}$  выдерживает напряжение не более  $U_1 = 6,0 \text{ кВ}$ , а конденсатор емкости  $C_2 = 2,0 \text{ мкФ}$  - не более  $U_2 = 4,0 \text{ кВ}$ . Какое напряжение  $U$  может выдержать система из этих двух конденсаторов при последовательном соединении?

Дано:

Решение:



$$C_1 = 1,0 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 2,0 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$U_1 = 6,0 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$U_2 = 4,0 \text{ кВ} = 4 \cdot 10^3 \text{ В}$$

---

$U - ?$

При последовательном соединении конденсаторов емкость  $C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$  и заряд  $Q = UC = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$  равен заряду каждого конденсатора  $Q_1 = Q_2 = Q$ .

При достижении пробойного напряжения на любом из конденсаторов

$$C_1 U_1 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$$

$$C_2 U_2 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$$

Для  $C_1$  пробой наступит при  $U' = U_1 \left( \frac{C_1}{C_2} + 1 \right)$ , а для  $C_2$  - при  $U'' = U_2 \left( \frac{C_1}{C_2} + 1 \right)$ . Подставив значения задаваемых величин, получим, что для  $C_1$  пробой наступает при  $U' = 9\text{кВ}$ , а для  $C_2$  при  $U'' = 12\text{кВ}$ , т.о.

$$U \leq U_1 \left( \frac{C_1}{C_2} + 1 \right) = 9\text{кВ}.$$

Ответ:  $U \leq U_1 \left( \frac{C_1}{C_2} + 1 \right) = 9\text{кВ}$

***Магнетизм***

Задача 1. Бесконечно длинный провод образует круговой виток, касательный к проводу. По проводу идет ток  $I = 5 \text{ A}$ . Найти радиус  $R$  витка, если напряженность магнитного поля в центре витка  $H = 4I \text{ A/м}$ .

Дано:

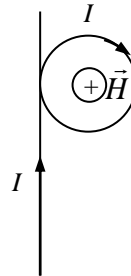
$$I = 5 \text{ A}$$

$$H = 4I \text{ A/м}$$

---

$$R - ?$$

Решение:



Поле в центре витка создается длинным проводом -  $\vec{H}_1$  и круговым током  $\vec{H}_2$ . Согласно принципу суперпозиции

$$\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$$

При заданном направлении тока, оба вектора напряженности направлены в одну сторону – за чертеж -, значит

$$H = H_1 + H_2.$$

Известно, что  $H_1 = \frac{I}{2\pi R}$ ,  $H_2 = \frac{I}{2R}$ , т.о.

$$H = \frac{I}{2R} \left( \frac{1}{\pi} + 1 \right),$$

откуда

$$R = \frac{I(\pi + 1)}{2\pi H};$$

$$R = \frac{5 \cdot 4,14}{6,28 \cdot 41} = 0,08(\text{м}) = 8(\text{см}).$$

Ответ:  $R = 8 \text{ см.}$

Задача 2. Определить индукцию магнитного поля  $\vec{B}$  в центре квадратной проволочной рамки со стороной  $a = 15 \text{ см}$ , если по рамке течет ток  $I = 5 \text{ А}$ .

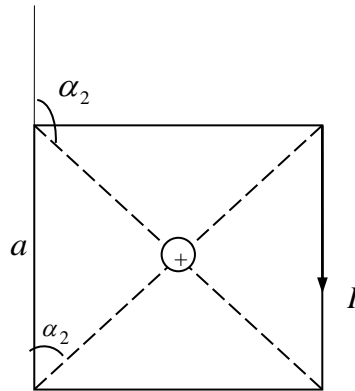
Дано:

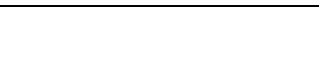
$$a = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$B - ?$

Решение:





Индукция магнитного поля  $\vec{B} = \sum_{i=1}^4 \vec{B}_i$ , где  $\vec{B}_i$  - индукция поля, созданного каждой стороной квадрата в его центре. Очевидно, что все вектора  $\vec{B}_i$  направлены в одну сторону – за чертеж, значит  $B = 4B_1$ .

$$B_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{(a/2)} 2 \cos \alpha_1.$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  - магнитная постоянная. Подставим все известные величины и учтем, что  $B = 4B_1$ .

$$B = 16 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{5}{0,15} \cdot \cos 45^\circ = 37,7 \cdot 10^{-6} (\text{Тл}) = 37,7 (\text{мкТл}).$$

Ответ:  $B = 37,7 \text{ мкТл}$ .

Задача 3. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 300\text{В}$ , движется параллельно прямолинейному проводнику на расстоянии  $a = 4\text{мм}$  от него (рис.5). Какая сила  $F$  действует на электрон, если по проводнику пустить ток  $I = 5\text{А}$ ?

Дано

$$U = 300\text{В}$$

$$a = 4\text{мм} = 0,004\text{м}$$

$$I = 5\text{А}$$

---

$$F - ?$$

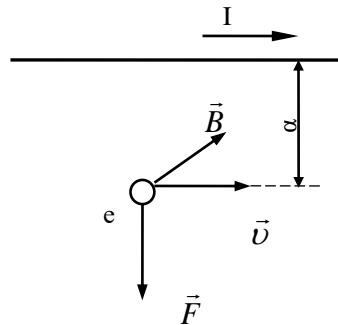


Рис.5

Решение:

На электрон, движущийся со скоростью  $v$  в магнитном поле проводника с током, действует сила Лоренца

$$F = eB v \sin \alpha = eBv$$

где  $\alpha = 90^\circ$  – угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ .

Скорость  $v$  электрон приобрел, пройдя разность потенциалов  $U$ . При этом электрическое поле совершило работу

$$A = e \cdot U$$

где  $e$  - заряд электрона.

Эта работа была затрачена на увеличение кинетической энергии электрона

$$\frac{m_e v^2}{2} - \frac{m_e v_0^2}{2} = eU;$$



$$v_0 = 0;$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU;$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}},$$

где  $m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  - электрона.

Индукция магнитного поля бесконечно длинного прямого провода рассчитывается по формуле

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi a}.$$

Тогда сила Лоренца

$$F = e \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi a} \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} = 4,12 \cdot 10^{-16} \text{ (H)}.$$

Ответ:  $F = 4,12 \cdot 10^{-16} \text{ H}$ .

*Задача 4.* Необходимо получить напряженность магнитного поля  $H = 1 \text{ кА/м}$  в соленоиде длиной  $l = 20 \text{ см}$  и диаметром  $D = 5 \text{ см}$ . Найти число ампер-витков, необходимое для этого соленоида и разность потенциалов  $U$ , которую надо приложить к концам обмотки из медной проволоки диаметром  $d = 0,5 \text{ мм}$ . Считать поле соленоида однородным.

Дано:

$$H = 1 \text{ кА/м}$$

$$l = 20 \text{ см}$$

$$D = 5 \text{ см}$$

$$d = 0,5 \text{ мм}$$

$$\rho = 17 \text{ нОм} \cdot \text{м}$$

---

$$IN - ? \quad U - ?$$

Решение:

Магнитное поле соленоида в средней его части

$$B = \mu\mu_0 nI. \quad (1)$$

$$B = \mu\mu_0 \vec{H},$$

$$n = N/l.$$

После подстановки последних выражений в (1) получаем скалярной форме:

$$\mu\mu_0 H = \mu\mu_0 I \frac{N}{l}$$

или

$$IN = Hl = 1000 \cdot 0,2 = 200 \text{ А} \cdot \text{витк.}$$

Разность потенциалов на концах провода находим по закону Ома

$$U = IR,$$

где

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

- сопротивление провода длиной  $L$ ;  $S = \frac{\pi d^2}{4}$  - поперечное сечение

провода;  $\rho$  - удельное сопротивление меди.

Определим длину провода.

Соленоид имеет

$$N = \frac{l}{d} = \frac{0,2}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ витков.}$$

Длина каждого витка равна  $\pi D$ . Общая длина провода, используемого для намотки соленоида

$$L = \frac{l}{d} \pi D.$$

Тогда сопротивление провода

$$R = \rho \frac{4Dl}{d^3},$$

а сила тока

$$I = \frac{200(\text{А} \cdot \text{витк})}{400} = 0,5 \text{А}.$$

Разность потенциалов

$$U = IR = \frac{4\rho IDl}{d^3} = 2,72B.$$

Ответ:  $IN = 200A \cdot \text{витк.}$ ;  $U = 2,72B.$

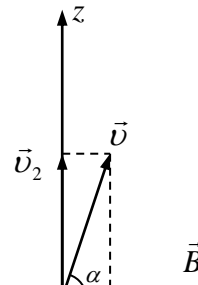
*Задача 5.* Электрон, имеющий скорость  $v = 1Mm/c$ , влетает в однородное магнитное поле по углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряженность магнитного поля  $H = 1,5$   $кА/м$ . Определить: 1) шаг спирали  $h$ ; 2) радиус  $R$  витка спирали.

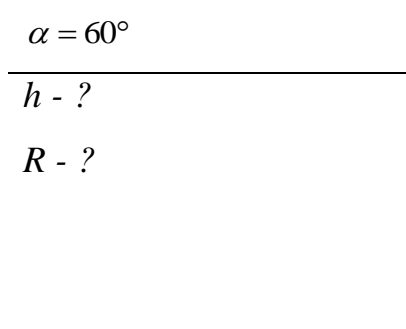
Дано:

$$v = 1Mm/c = 10^6 \text{ м/с}$$

$$H = 1,5 \text{ кА/м} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ А/м}$$

Решение:





Скорость электрона  $\vec{v}$  разложим на две составляющие:  $v_1$  - вдоль магнитного поля и  $v_2$  - перпендикулярно полю.

$$v_1 = v \cos \alpha,$$

$$v_2 = v \sin \alpha$$

Двигаясь в магнитном поле, электрон вращается вокруг  $\vec{B}$  с постоянной скоростью  $v_2$  и перемещается вдоль  $\vec{B}$  со скоростью  $v_1$ .

Период обращения электрона  $T = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha}$ , а шаг спирали

$$h = v_1 T = v \cos \alpha \cdot \frac{2\pi R}{v \sin \alpha}.$$

Учтем, что  $\vec{v}_2 \perp \vec{B}$  и сила Лоренца  $F = e v_2 B$ , запишем II закон Ньютона для вращающегося электрона:

$$e v_2 B = \frac{m v_2^2}{R},$$

$$R = \frac{m v_2}{e B},$$

или, зная  $B = \mu_0 H$ ,

$$R = \frac{m v \sin \alpha}{e \mu_0 H}.$$



Подставим  $R$  в выражение для  $h$ :

$$h = \frac{2\pi \nu m \cos \alpha}{e\mu_0 H}.$$

Теперь произведем вычисления:

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6 \cdot 0,866}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 1,5 \cdot 10^3} = 2,6 \cdot 10^{-3} (\text{м}) = 2,6 (\text{мм})$$

$$h = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{10^6 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 0,5}{1,5 \cdot 10^3} = 9,5 \cdot 10^{-3} (\text{м}) = 9,5 (\text{мм})$$

Ответ: 1)  $h = 9,5 \text{ мм}$ ;  $R = 2,6 \text{ мм}$ .

*Задача 6.* В однородном магнитном поле индукцией  $B=0,8 \text{ Тл}$  вращается рамка, содержащая  $N=100$  витков площадью  $S=400 \text{ см}^2$

каждый. Максимальная э.д.с., возникающая в рамке,  $E_{\max} = 200B$ .

Определить частоту  $n$  вращения рамки.

Дано:

$$B = 0,8 \text{ Тл}$$

$$N = 100$$

$$S = 400 \text{ см}^2 = 0,04 \text{ м}^2$$

$$E_{\max} = 200B$$

---

$$n - ?$$

Решение:

По определению магнитный поток  $\Phi$  через площадку  $S$  равен:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  - угол между вектором магнитной индукции  $\vec{B}$  и нормалью  $\vec{n}$  к  $S$ .

У нас  $\alpha = \omega t$ , а поток  $\Phi = BS \cos \omega t$ .

По закону Фарадея для электромагнитной индукции

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt},$$

где  $E$  - э.д.с. индукции,

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = BNS\omega \sin\omega t ,$$

откуда

$$E_{\max} = BNS\omega = BNS2\pi n .$$

Искомая частота

$$n = \frac{E_{\max}}{2\pi BNS} = \frac{200}{100 \cdot 0,04 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 3,14} \approx 10 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{мин}} .$$

Ответ:  $n = 600 \text{об} / \text{мин}$ .

*Задача 7.* Две гладкие металлические шины, расстояние между которыми  $a = 30 \text{ см}$ , соединены скользящей без трения проводящей перемычкой массой  $m = 5 \text{ г}$ . Шины и перемычка находятся в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$ , перпендикулярном плоскости

контура. Перемычка скользит вниз с постоянной скоростью  $v = 0,5 \text{ м/с}$ . Пренебрегая самоиндукцией и сопротивлением шин, найти сопротивление перемычки.

Дано:

$$a = 30 \text{ см}$$

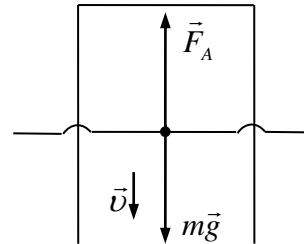
$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$v = 0,5 \text{ м/с}$$

$$m = 5 \text{ г} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$R - ?$

Решение:



При движении перемычки возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$ ,

модуль которой  $|\varepsilon| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$ .

За время  $dt$  элементарное изменение магнитного потока через контур

$$d\Phi = B dS = Ba v dt .$$

Тогда ЭДС

$$|\varepsilon_{\text{инд}}| = \frac{Ba v dt}{dt} = Ba v .$$

Из закона Ома  $\varepsilon_{\text{инд}} = IR, \text{ т.е. } IR = Ba v$ , где  $R$  – сопротивление  
перемычки.

Поскольку  $v = \text{const}$ , сила тяжести  $m\vec{g}$  уравновешена силой Ампера  $F_A$ :

$$F_A = IBa ,$$

тогда сила тока в перемычке

$$I = \frac{mg}{Ba} ,$$

а сопротивление

$$R = \frac{Bav}{I} = \frac{Bav \cdot Ba}{mg},$$
$$R = \frac{B^2 a^2 v}{mg}.$$

Произведя вычисления, получим:

$$R = \frac{10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} = 9,2 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}).$$

Ответ:  $R = 9,2 \text{ мОм}$ .

*Задача 8.* Соленоид диаметром  $d = 3 \text{ см}$  имеет однослойную обмотку из плотно прилегающих друг к другу витков алюминиевого провода ( $\rho = 26 \text{ нОм} \cdot \text{м}$ ) диаметром  $d_1 = 0,3 \text{ мм}$ . По соленоиду течет ток

$I_0 = 0,5A$ . Определить количество электричества  $Q$ , протекающее по соленоиду, если его концы замкнуть.

Дано:

$$\rho = 26 \text{нОм} \cdot \text{м}$$

$$I_0 = 0,5A$$

$$d = 3 \text{см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{м}$$

$$d_1 = 0,3 \text{мм} = 3 \cdot 10^{-4} \text{м}$$

---

$Q - ?$

Решение:

Сила тока убывает экспоненциально по закону

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}.$$

Количество электричества, протекающее через проводящую обмотку,

$$Q = \int_0^t Idt.$$

$$Q = \int_0^{\infty} Idt = I_0 \int_0^{\infty} e^{-\frac{R}{L}t} dt = \frac{L}{R} I_0.$$

При интегрировании помним, что  $t \rightarrow \infty \quad I \rightarrow 0$ .

Индуктивность соленоида  $L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}$ . Примем  $\mu = 1$ , тогда

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}.$$

Длина соленоида  $l = Nd_1$ , его площадь  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , тогда

$$L = \frac{\mu_0 N \pi d^2}{4d_1}.$$

Сопротивление обмотки  $R = \rho \frac{l_1}{S_1}$ , где  $l_1 = \pi dN$ , а площадь сечения

провода  $S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ , откуда  $R = \rho \frac{4dN}{d_1^2}$ .

Подставим в выражение для  $Q$   $L$  и  $R$ , получим:



$$Q = \frac{\mu_0 \pi d d_1}{16 \rho} I_0.$$

Произведем вычисления:

$$Q = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{16 \cdot 26 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,5 = 42,7 \cdot 10^{-6} (\text{Кл}).$$

Ответ:  $Q = 42,7 \text{ мкКл}$ .

### ***Электромагнитная индукция***

*Задача 1.* В магнитном поле, индукция которого  $B = 0,05 \text{ Тл}$ , вращается стержень длиной  $l = 1 \text{ м}$  с угловой скоростью  $\omega = 20 \text{ рад/с}$ . Ось вращения проходит через конец стержня и параллельна магнитному полю. Найти ЭДС индукции, возникающую на концах стержня.

Дано:

Решение:

$$B = 0,05 \text{ Тл}$$

$$l = 1 \text{ м}$$

$$\omega = 20 \text{ рад/с}$$

$$\varepsilon - ?$$

При вращении стержня за время  $dt$  стержень описывает сектор площадью

$$dS = \frac{1}{2} l v dt = \frac{1}{2} l^2 \omega dt .$$

Элементарный магнитный поток через этот сектор

$$d\Phi = B \cdot \frac{1}{2} l^2 \omega dt .$$

Согласно закону Фарадея  $\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$ . У нас  $|\varepsilon| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$ ,

$$\varepsilon = \frac{1}{2} B l^2 \omega .$$

Вычислим  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \cdot 0,05 \cdot 1 \cdot 20 = 0,5(B) .$$

Ответ:  $\varepsilon = 0,5 \text{ В}$ .

*Задача 2.* В однородном магнитном поле индукцией  $B=0,8 \text{ Тл}$  вращается рамка, содержащая  $N=100$  витков площадью  $S=400 \text{ см}^2$  каждый. Максимальная э.д.с., возникающая в рамке,  $E_{\max}=200 \text{ В}$ .

Определить частоту  $n$  вращения рамки.

Дано:

$$B = 0,8 \text{ Тл}$$

$$N = 100$$

$$S = 400 \text{ см}^2 = 0,04 \text{ м}^2$$

$$E_{\max} = 200 \text{ В}$$

---

Решение:

По определению магнитный поток  $\Phi$  через площадку  $S$  равен:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  - угол между вектором магнитной индукции  $\vec{B}$  и нормалью  $\vec{n}$  к  $S$ .

$n - ?$

У нас  $\alpha = \omega t$ , а поток  $\Phi = BS \cos \omega t$ .

По закону Фарадея для электромагнитной индукции

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt},$$

где  $E$  - э.д.с. индукции,

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = BNS\omega \sin \omega t,$$

откуда

$$E_{\max} = BNS\omega = BNS 2\pi n.$$

Искомая частота

$$n = \frac{E_{\max}}{2\pi BNS} = \frac{200}{100 \cdot 0,04 \cdot 0,8 \cdot 2 \cdot 3,14} \approx 10 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 600 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Ответ:  $n = 600 \text{ об / мин.}$

*Задача 3.* Круговой проводящий контур радиусом  $r = 5 \text{ см}$  и током  $I = 1 \text{ А}$  находится в магнитном поле, напряженность которого  $H = 10 \text{ кА/м}$ . Плоскость контура первоначально перпендикулярна полю. Определить работу  $A$ , которую надо совершить, чтобы повернуть контур на  $90^\circ$  вокруг оси, совпадающей с его диаметром.

Дано:

$$I = 1 \text{ А}$$

$$H = 10 \text{ кА/м}$$

Решение:

Элементарная работа  $dA = Md\varphi$ , где  $M$  –

$$r = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2}$$

$A$  - ?

вращающийся механический момент.  $M$  связан с магнитным моментом контура  $p_m$ :  $M = p_m B \sin \varphi$ , где

$p_m = IS = I\pi r^2$  угол  $\varphi$  - между  $\vec{p}_m$  и  $\vec{B}$ .

Магнитная индукция  $\vec{B}$  в воздухе связана с напряженностью  $\vec{H}$ :

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ . Т.о.

$$dA = I\pi r^2 \mu_0 H \sin \varphi d\varphi.$$

ИЛИ

$$\begin{aligned}
 A &= \int dA = I\pi r^2 \mu_0 H \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \varphi d\varphi = \\
 &= -I\pi r^2 \mu_0 H \cos \varphi \Big|_0^{\frac{\pi}{2}} = \\
 &= I\pi r^2 \mu_0 H
 \end{aligned}$$

Произведем вычисления:

$$A = \pi^2 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 = 98,7 \cdot 10^{-6} (\text{Дж}).$$

Ответ:  $A = 98,7 \text{ мкДж}$ .

*Задача 4.* Две гладкие металлические шины, расстояние между которыми  $a = 30 \text{ см}$ , соединены скользящей без трения проводящей перемычкой массой  $m = 5 \text{ г}$ . Шины и перемычка находятся в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1 \text{ Тл}$ , перпендикулярном плоскости

контура. Перемычка скользит вниз с постоянной скоростью  $v = 0,5 \text{ м/с}$ .  
Пренебрегая самоиндукцией и сопротивлением шин, найти сопротивление перемычки.

Дано:

$$a = 30 \text{ см}$$

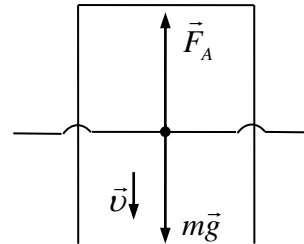
$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$v = 0,5 \text{ м/с}$$

$$m = 5 \text{ г} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$R - ?$

Решение:



При движении перемычки возникает ЭДС индукции  $\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{d\Phi}{dt}$ ,

модуль которой  $|\varepsilon| = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|$ .



За время  $dt$  элементарное изменение магнитного потока через контур

$$d\Phi = B dS = Ba v dt .$$

Тогда ЭДС

$$|\varepsilon_{\text{инд}}| = \frac{Ba v dt}{dt} = Dav .$$

Из закона Ома  $\varepsilon_{\text{инд}} = IR, \text{ т.е. } IR = Bav$ , где  $R$  – сопротивление  
перемычки.

Поскольку  $v = \text{const}$ , сила тяжести  $m\vec{g}$  уравновешена силой Ампера  $F_A$ :

$$F_A = IBa ,$$

тогда сила тока в перемычке

$$I = \frac{mg}{Ba} ,$$

а сопротивление

$$R = \frac{Bav}{I} = \frac{Bav \cdot Ba}{mg},$$
$$R = \frac{B^2 a^2 v}{mg}.$$

Произведя вычисления, получим:

$$R = \frac{10^{-2} \cdot 9 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5}{5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} = 9,2 \cdot 10^{-3} (\text{Ом}).$$

Ответ:  $R = 9,2 \text{ мОм}$ .

*Задача 5.* Проводник  $AB$  массы  $m$  скользит без трения по двум длинным проводящим рельсам, расположенным на расстоянии  $l$  друг от друга. На левом конце рельсы замкнуты сопротивлением  $R$ . Система находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном к поверхности контура. В момент  $t = 0$  стержню  $AB$  сообщили вправо

начальную скорость  $v_0$ . Пренебрегая сопротивлением рельсов, стержня и самоиндукцией, найти расстояние  $x$ , пройденное стержнем до остановки.

Дано:

$m$

$l$

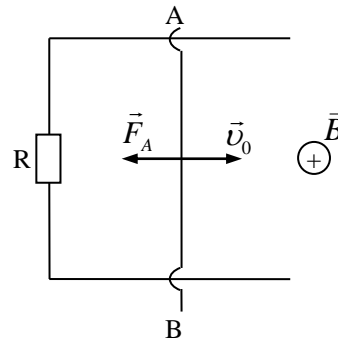
$R$

$v_0$

$\vec{B} \perp S$

$x - ?$

Решение:



При движении проводника в магнитном поле  $\vec{B}$  возникает ЭДС индукции

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

при этом при заданном направлении  $\vec{B}$  и  $\vec{v}_0$  ток в проводнике течет вверх.

$$IR = \left| \frac{d\Phi}{dt} \right|.$$

Величина  $\left| \frac{d\Phi}{dt} \right| = vBl$ , как было получено в задаче 4. Сила тока

$$I = \frac{vBl}{R}.$$

На проводник с током в магнитном поле действует сила Ампера

$$F_A = IBl \sin \alpha,$$

$\alpha$  – угол между  $\vec{l}$  и  $\vec{B}$ . У нас  $\alpha = 90^\circ$ , значит

$$F_A = IBl = \frac{B^2 l^2}{R} v.$$

Ускорение, с которым движется проводник,

$$a = \frac{F_A}{m},$$
$$a = -\frac{B^2 l^2}{mR} v,$$

где знак «-» означает, что  $\vec{a}$  и  $\vec{v}$  направлены в разные стороны.

Учтем, что  $a = \frac{dv}{dt}$ , получим

$$\frac{dv}{v} = -\frac{B^2 l^2}{mR} dt;$$

интегрируем от 0 до  $t$  и от  $v_0$  до  $v$ :

$$\ln v \Big|_{v_0}^v = -\frac{B^2 l^2}{mR} t \Big|_0^t,$$

получим

$$v = v_0 e^{-\frac{B^2 l^2}{mR} t}.$$

Поскольку  $v = \frac{dx}{dt}$ ,

$$\begin{aligned} dx &= v dt = v_0 e^{-\frac{B^2 l^2}{mR} t} \Big|_0^t = \\ &= -\frac{mRv_0}{B^2 l^2} e^{-\frac{B^2 l^2}{mR} t} + \frac{mRv_0}{B^2 l^2}. \end{aligned}$$

Пусть  $t \rightarrow \infty$ , тогда  $x = \frac{mRv_0}{B^2 l^2}$  - расстояние, на котором остановится стержень  $AB$ .

Ответ:  $x = \frac{mRv_0}{B^2 l^2}$ .

*Задача 6.* Соленоид диаметром  $d = 3$  см имеет однослойную обмотку из плотно прилегающих друг к другу витков алюминиевого

провода ( $\rho = 26 \text{нОм} \cdot \text{м}$ ) диаметром  $d_1 = 0,3 \text{мм}$ . По соленоиду течет ток  $I_0 = 0,5 \text{А}$ . Определить количество электричества  $Q$ , протекающее по соленоиду, если его концы замкнуть.

Дано:

$$\rho = 26 \text{нОм} \cdot \text{м}$$

$$I_0 = 0,5 \text{А}$$

$$d = 3 \text{см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{м}$$

$$d_1 = 0,3 \text{мм} = 3 \cdot 10^{-4} \text{м}$$

---

$Q - ?$

Решение:

Сила тока убывает экспоненциально по закону

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}t}$$

Количество электричества, протекающее через проводящую обмотку,

$$Q = \int_0^t Idt.$$

$$Q = \int_0^{\infty} Idt = I_0 \int_0^{\infty} e^{-\frac{R}{L}t} dt = \frac{L}{R} I_0.$$

При интегрировании помним, что  $t \rightarrow \infty \quad I \rightarrow 0$ .

Индуктивность соленоида  $L = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l}$ . Примем  $\mu = 1$ , тогда

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S}{l}.$$

Длина соленоида  $l = Nd_1$ , его площадь  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , тогда

$$L = \frac{\mu_0 N \pi d^2}{4d_1}.$$

Сопротивление обмотки  $R = \rho \frac{l_1}{S_1}$ , где  $l_1 = \pi d N$ , а площадь сечения

провода  $S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$ , откуда  $R = \rho \frac{4dN}{d_1^2}$ .

Подставим в выражение для  $Q$   $L$  и  $R$ , получим:



$$Q = \frac{\mu_0 \pi d d_1}{16 \rho} I_0.$$

Произведем вычисления:

$$Q = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \pi \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{16 \cdot 26 \cdot 10^{-9}} \cdot 0,5 = 42,7 \cdot 10^{-6} \text{ (Кл)}.$$

Ответ:  $Q = 42,7 \text{ мкКл}$ .

### ***Распространение волн. Интерференция волн***

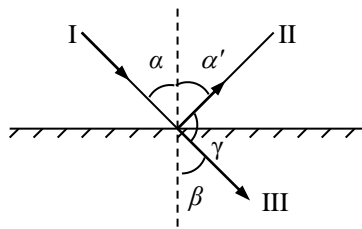
*Задача 1.* Луч света падает на тело с показателем преломления  $n$  под углом  $\alpha$ . Как должны быть связаны величины  $\alpha$  и  $n$ , чтобы отраженный луч был перпендикулярен преломленному?

Дано:

$\alpha$



Решение:



$$\begin{array}{|l}
 n \\
 \gamma = 90^\circ \\
 \hline
 n = f(\alpha) - ?
 \end{array}$$

По закону преломления света  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$ ,  $\alpha$  – угол падения (луч I),  $\beta$  – угол преломления (луч III). Угол отражения (луч II)  $\alpha' = \alpha$  согласно закону отражения света. По условию угол между II и III равен  $90^\circ$ , значит  $\beta = 90^\circ - \alpha$ .

$$\begin{aligned}
 \frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} &= \operatorname{tg} \alpha, \\
 n &= \operatorname{tg} \alpha.
 \end{aligned}$$

Ответ:  $n = \operatorname{tg} \alpha$ .

*Задача 2.* На дно сосуда, наполненного водой до высоты  $h = 10$  см, помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластинка так, что ее центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должна иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды.

Дано:

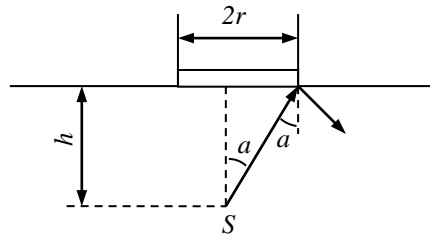
$$h = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$n = 1,33$$

---

$r - ?$

Решение:



Чтобы ни один световой луч не вышел из воды, надо, чтобы луч, идущий от источника света  $S$  на край пластинки, падал на нее под углом полного внутреннего отражения, когда угол преломления  $\beta = 90^\circ$ . С учетом, что световой луч выходит из воды, закон преломления света запишется так:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{1}{n};$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \sin \alpha = \frac{1}{n}.$$

Итак, угол падения  $\alpha = \arcsin \frac{1}{n} = 48,75^\circ$ .

Очевидно, что  $r = h \cdot \operatorname{tg} \alpha = 10 \cdot \operatorname{tg} 48,75^\circ = 11,4(\text{см})$ .

Ответ:  $r = 11,4 \text{ см}$ .

*Задача 3.* Показателем преломления некоторого сорта стекла для красного и фиолетового лучей равны  $n_{кр} = 1,51$  и  $n_{ф} = 1,53$ . Что произойдет при падении белого луча под углом  $\alpha = 41^\circ$  на поверхность раздела стекло – воздух?

Дано:

$$n_{кр} = 1,51$$

$$n_{ф} = 1,53$$

$$\alpha = 41^\circ$$


---

$$\alpha_{пред.кр} - ?$$

$$\alpha_{пред.ф} - ?$$

Решение:

Найдем предельные углы полного отражения для красного и фиолетового лучей.


$$\sin \alpha = \frac{1}{n}$$

$$\alpha_{\text{пред.кр}} = \arcsin \frac{1}{n_{\text{кр}}} = 41,47^\circ$$

$$\alpha_{\text{пред.ф}} = \arcsin \frac{1}{n_{\text{ф}}} = 40,8^\circ$$

Угол падения белого луча  $\alpha > \alpha_{\text{пред.ф}}$ , значит луч фиолетовый полностью отразится от поверхности в стекло. Угол падения  $\alpha < \alpha_{\text{пред.кр}}$ , следовательно красный луч, преломившись, выйдет из стекла в воздух.

*Задача 4.* Определить, во сколько раз изменится ширина интерференционных полос на экране в опыте с зеркалами Френеля, если фиолетовый светофильтр ( $\lambda_1 = 0,4 \text{ мкм}$ ) заменить красным ( $\lambda_2 = 0,7 \text{ мкм}$ ).

Дано:

$$\lambda_1 = 0,4 \text{ мкм}$$

$$\lambda_2 = 0,7 \text{ мкм}$$

---

$$\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = ?$$

Решение:

Оптическая разность хода лучей в опыте с зеркалами Френеля

$$\Delta = \frac{xd}{l},$$

где  $d$  – расстояние между двумя мнимыми источниками

света;  $l$  – расстояние от источников до экрана;  $x$  – расстояние на экране, отсчитанное от его середины.

Условие максимума интерференции:

$$\Delta = \pm m\lambda,$$

где  $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ ,  $\lambda$  – длина волны. У нас

$$\frac{xd}{l} = \pm m\lambda ,$$

откуда положение максимума  $x_m$  определяется формулой:

$$x_m = \pm \frac{l}{d} m\lambda .$$

Следующий максимум с  $(m+1)$  находится на экране в точке

$$x_{m+1} = \pm \frac{l}{d} (m+1)\lambda .$$

Ширина полосы  $\Delta x = x_{m+1} - x_m$ ,

$$\Delta x = \frac{l}{d} \lambda ,$$

и не зависит от  $x$ , но зависит от  $\lambda$ . Тогда искомое отношение

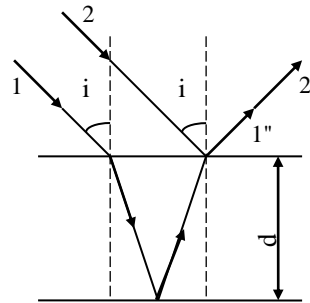
$$\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{7}{4} = 1,75 .$$



Ответ:  $\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = 1,75$ .

*Задача 5.* На мыльную пленку падает белый свет под углом  $45^\circ$  к поверхности пленки (рис.6). При какой наименьшей толщине  $d$  пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ( $\lambda = 600$  нм)? Показатель преломления  $n = 1,33$ .

Дано:



$$\begin{array}{l} n = 1,33 \\ i = 45^{\circ} \\ \lambda = 600\text{нм} \\ \hline d - ? \end{array}$$

Рис.6

Решение:

Оптическая разность хода лучей 2' и 1'', отраженных от верхней и нижней поверхностей пленки равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2},$$

где  $d$  – толщина пленки,  $n$  - ее показатель преломления,  $i$  - угол падения лучей.

Дополнительная разность хода  $\frac{\lambda}{2}$  возникает при отражении луча 2 на верхней поверхности от среды оптически более плотной.

Условие максимума интерференции

$$\Delta\varphi = 2k\pi,$$

$$\Delta = 2k \frac{\lambda}{2},$$

где  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

В нашем случае

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

При выполнении этого условия лучи с длиной волны  $\lambda$ , интерферируя, усиливают друг друга в отраженном свете

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}.$$

Толщина  $d$  минимальна при  $k = 0$ :

$$d = \frac{\lambda}{4} \frac{1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}.$$

Подставим заданные  $\lambda, n, i$  и произведем вычисления:

$$d = \frac{0,6}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{1,33^2 - 0,5}} = 0,133(\text{мкм}).$$

Ответ: 0,133 мкм .

*Задача 6.* Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим нормально. При заполнении пространства между линзой и стеклянной пластинкой прозрачной жидкостью радиусы темных колец в отраженном свете уменьшились в  $\gamma = 1,21$  раза. Определить показатель преломления  $n$  жидкости.

<p>Дано:</p> <p><math>\gamma = 1,21</math></p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p><math>n - ?</math></p>	<p>Решение:</p> <p>Радиус <math>m</math> – го темного кольца Ньютона в отраженном свете</p> $r_m^{(0)} = \sqrt{m\lambda_0 R},$
---	--

где  $\lambda_0$  - длина волны света в вакууме,  $R$  – радиус линзы.

Радиус  $m$  – го кольца Ньютона при заполнении пространства жидкостью

$$r_m^{(1)} = \sqrt{m\lambda_1 R},$$

где  $\lambda_1$  - длина волны в жидкости.

Учтем, что  $\lambda_0 = \frac{c_0}{\nu}$ , а  $\lambda_1 = \frac{c_1}{\nu}$ .  $\frac{\lambda_0}{\lambda_1} = \frac{c_0}{c_1} = n$ , где  $n$  - показатель

преломления.

Найдем  $\gamma$ :

$$\gamma = \frac{r_m^{(0)}}{r_m^{(1)}} = \sqrt{\frac{\lambda_0}{\lambda_1}} = \sqrt{n},$$

откуда  $n = \gamma^2$  или  $n = 1,21^2 = 1,46$ .

Ответ:  $n = 1,46$ .

***Поляризация света***

*Задача 1.* Степень поляризации частично поляризованного света  $P = 0,25$ . Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.

Дано:

$$P = 0,25$$

---

$$\frac{I_{пол}}{I_{ест}} - ?$$

Решение:

Степенью поляризации называется величина

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

(1)

где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  - максимальная и минимальная

Интенсивности света, соответствующие двум взаимно перпендикулярным направлениям вектора  $\vec{E}$ . Для естественного света  $I_{max} = I_{min}$ , тогда

$I_{max} + I_{min} = 2 I_{min}$ . Искомая величина

$$\frac{I_{пол}}{I_{есм}} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{2I_{\min}}$$

(2)

Выразим  $I_{\max}$  через  $I_{\min}$  из выражения (1):

$$\begin{aligned}PI_{\max} + PI_{\min} &= I_{\max} - I_{\min} \\(P + 1)I_{\min} &= (1 - P)I_{\max}\end{aligned}$$

и подставим в (2):

$$\frac{I_{пол}}{I_{есм}} = \frac{\frac{P+1}{1-P}I_{\min} - I_{\min}}{2I_{\min}} = \frac{\frac{P+1}{1-P} - 1}{2} = \frac{P}{1-P}.$$

Таким образом

$$\frac{I_{пол}}{I_{есм}} = \frac{P}{1-P} = \frac{0,25}{0,75} = 0,33$$



Ответ:  $\frac{I_{пол}}{I_{ест}} = 0,33$ .

*Задача 2.* Предельный угол полного отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен  $\alpha_0 = 43^\circ$ . Определить угол Брюстера  $\alpha_B$  для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

Дано:

$$\alpha_0 = 43^\circ$$

---

$$\alpha_B - ?$$

Решение:

Полное отражение происходит при отражении света от границы жидкость – воздух. Если  $n$  – показатель преломления жидкости, то

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

Угол Брюстера – угол падения луча, при котором отраженный луч полностью поляризован, - определяется формулой:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n.$$

Получим:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{1}{\sin \alpha_0}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{1}{\sin 43^\circ},$$

$$\alpha_B = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{\sin 43^\circ} \right) = 55,7^\circ.$$

Ответ:  $\alpha_B = 55,7^\circ$ .

*Задача 3.* Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения  $\alpha_B$  отраженный свет полностью поляризован?

Дано:	Решение:
$n_e = 1,33$	Отраженный от алмаза луч полностью поляризован
$n_{ал} = 2,42$	при падении его под углом Брюстера,
$\alpha_B - ?$	удовлетворяющим условию:

$$tg\alpha_B = n_{21},$$

где относительный показатель преломления

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n_{ал}}{n_e}.$$

Находим значения  $n_2$  и  $n_1$  в таблице, получим

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{2,42}{1,33},$$

$$\alpha_B = \operatorname{arctg} \frac{2,42}{1,33} = 61,2^\circ.$$

Ответ:  $\alpha_B = 61,2^\circ$ .

*Задача 4.* Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол  $30^\circ$ , если в каждом из николей теряется 10% интенсивности падающего на него света?

Дано:

Решение:

$$a = 30^\circ;$$

$$k = 0,1$$

---

$$\frac{I_0}{I} - ?$$

Пучок естественного света интенсивностью  $I_0$ , падая на грань николя, расщепляется вследствие двойного лучепреломления на два пучка: обыкновенный и необыкновенный. Оба пучка одинаковы по интенсивности и полностью поляризованы.

Обыкновенный пучок вследствие полного отражения от границы склеивания кристаллов николя отбрасывается на зачерненную поверхность призмы и поглощается ею. Необыкновенный пучок проходит через николю. При этом его интенсивность уменьшается вследствие поглощения в веществе николя.

Таким образом, интенсивность света, прошедшего через 1-ый николю,:

$$I_1 = \frac{I_0}{2}(1-k).$$

Пучок плоско поляризованного света интенсивности  $I_1$  падает на 2-ой николю, и также расщепляется на обыкновенный и необыкновенный пучки. Обыкновенный пучок полностью поглощается в николе, а интенсивность необыкновенного пучка света, вышедшего из николя, определяется законом Малюса. Без учета потерь в этом николе имеем:

$$I_2 = I_1 \cos^2 a.$$

Учитывая потери интенсивности во втором николе, получим

$$I_2 = I_1(1 - k)\cos^2 a = \frac{1}{2}I_0(1 - k)^2 \cos^2 a.$$

Искомое уменьшение интенсивности при прохождении света через оба николя найдем, разделив интенсивность  $I_0$  естественного света на интенсивность  $I_2$  света, прошедшего через систему из двух николей:

$$\frac{I_0}{I_2} = \frac{2}{(1-k)^2 \cos^2 a} = \frac{2}{(1-0,1)^2 \cos^2 \cdot 30^\circ} = 3,29.$$

Ответ:  $\frac{I_0}{I} = 3,29.$

*Задача 5.* Интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, уменьшилась в 8 раз. Пренебрегая поглощением света, определить угол  $\varphi$  между главными плоскостями николей.

Дано:

$$\frac{I_0}{I_2} = 8$$

$\varphi - ?$

Решение:

После прохождения первого николя интенсивность света уменьшается вдвое:

$$I_1 = \frac{I_0}{2}.$$

На второй николе падает поляризованный свет интенсивности  $I_1$ . По закону Малюса интенсивность вышедшего из него света

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi,$$

$$I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \varphi,$$

откуда

$$\cos \varphi = \sqrt{2 \frac{I_2}{I_0}} = \sqrt{\frac{1}{4}} = \frac{1}{2}.$$

$$\varphi = \arccos \frac{1}{2} = 60^\circ.$$

Ответ:  $\varphi = 60^\circ$ .

*Задача 6.* Пучок естественного света падает на систему из  $N = 6$  николей, плоскость пропускания каждого из которых повернута на угол  $\varphi =$



$30^\circ$  относительно плоскости пропускания предыдущего николя. Какая часть светового потока проходит через эту систему?

Дано:

$$N = 6$$

$$\varphi = 30^\circ$$

---

$$\frac{I_N}{I_0} - ?$$

Решение:

Из первого николя выходит свет интенсивности

$$I_1 = \frac{I_0}{2}. \text{ Согласно закону Малюса из второго николя}$$

выходит

$$I_2 = I_1 \cos^2 \varphi = \frac{I_0}{2} (\cos^2 \varphi)^1.$$

На третий ( $N = 3$ ) николь падает поляризованный свет интенсивности  $I_2$  и выходит

$$I_3 = I_2 \cos^2 \varphi = \frac{I_0}{2} (\cos^2 \varphi)^2 = \frac{I_0}{2} (\cos^2 \varphi)^{3-1}.$$

Обобщая количество николей до  $N$ , получим:

$$I_N = \frac{I_0}{2} (\cos^2 \varphi)^{N-1}.$$

Искомая величина

$$\frac{I_N}{I_0} = \frac{1}{2} (\cos^2 \varphi)^{N-1} = \frac{1}{2} (\cos \varphi)^{2(N-1)}.$$

Подставляя значения  $N$  и  $\varphi$ , получим:

$$\frac{I_N}{I_0} = \frac{1}{2} \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^{10} = 0,12.$$

Ответ:  $\frac{I_N}{I_0} = 0,12$ .

***Законы теплового излучения***

*Задача 1.* Температура внутренней поверхности муфельной печи при открытом отверстии площадью  $S = 30\text{см}^2$  равна  $T = 1,3 \text{ кК}$ . Считая, что отверстие излучает как черное тело, определить, какая часть мощности рассеивается стенками, если потребляемая печью мощность составляет  $P = 1,5 \text{ кВт}$ .

Дано:

$$S = 30\text{см}^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$P = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

$$T = 1300 \text{ К}$$

---

$$\frac{P_{\text{рас}}}{P} - ?$$

Решение:

Энергетическая светимость черного тела согласно закону Стефана – Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

где постоянная  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

Поскольку  $R_e = \frac{P_{изл}}{S}$ , то  $P_{изл} = \sigma T^4 S$ . Рассеиваемая печью мощность

$P_{рас} = P - P_{изл}$ . Тогда искомая величина  $\frac{P_{рас}}{P} = 1 - \frac{P_{изл}}{P}$ , или

$$\frac{P_{рас}}{P} = 1 - \frac{\sigma T^4 S}{P}.$$

$$\frac{P_{рас}}{P} = 1 - \frac{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (1300)^4 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 10^3} = 0,676.$$

Ответ:  $\frac{P_{рас}}{P} = 0,676$ .

*Задача 2.* В каких областях спектра лежат длины волн, соответствующие максимуму спектральной плотности энергетической

светимости, если источником света служит: а) спираль электрической лампочки ( $T_a = 3000K$ ); б) поверхность Солнца ( $T_\odot = 6000K$ ); в) атомная бомба в момент взрыва ( $T_b \approx 10^7 K$ )? Излучение считать близким к излучению абсолютно твердого тела.

Дано:

$$T_a = 3000K$$

$$T_\odot = 6000K$$

$$T_b \approx 10^7 K$$

---

$$\lambda_a - ? \quad \lambda_\odot - ? \quad \lambda_b - ?$$

Решение:

Воспользуемся законом смещения Вина, согласно которому

$$\lambda T = b,$$

где  $\lambda$  - длина волны, на которую приходится максимум в спектре излучения,  $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  - постоянная Вина.

$$\text{Искомая длина волны } \lambda = \frac{b}{T}.$$

$$\lambda_a = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{3000} = 0,96 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,96(\text{мкм}).$$

$$\lambda_\sigma = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{6000} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,48(\text{мкм}).$$

$$\lambda_\epsilon = \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{10^7} = 2,90 \cdot 10^{-10} \text{ м} \cong 300(\text{нм}).$$

Ответ: т.о.  $\lambda_a = 0,96 \text{ мкм}$  лежит в инфракрасной области спектра;  $\lambda_\sigma = 0,48 \text{ мкм}$  - в области видимого света;  $\lambda_\epsilon = 300 \text{ нм}$  - в области рентгеновского излучения.

*Задача 3.* Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность надо подводить к медному шарикю диаметром  $d = 2 \text{ см}$ , чтобы при температуре окружающей среды

$t_0 = -13^\circ\text{C}$  поддерживать его температуру равной  $t_2 = 17^\circ\text{C}$ . Поглощательная способность меди  $\alpha_T = 0,6$ .

Дано:

$$\alpha_T = 0,6$$

$$d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$T_0 = 260\text{K}$$

$$T = 290\text{K}$$

---

$P - ?$

Решение:

Мощность, излучаемая шариком при температуре  $T$

$$P_{\text{изл}} = \alpha_T R_T S,$$

где  $R_T = \sigma T^4$ ,  $P_{\text{изл}} = \alpha \sigma T^4 S$ .

Мощность, поглощаемая шариком из окружающей среды при температуре  $T_0$

$$P_{\text{погл}} = \alpha_T R_{T_0} S = \alpha \sigma T_0^4 S.$$

Подводимая для поддержания нужной температуры мощность

$$P = P_{\text{изл}} - P_{\text{погл}} :$$

$$P = \alpha_T S \sigma (T^4 - T_0^4).$$

Учтем, что площадь шарика  $S = \pi d^2$ , получим:

$$P = \alpha_T \sigma \pi d^2 (T^4 - T_0^4).$$

Подставим значения входящих в  $P$  величин:

$$P = 0,6 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-4} (2,9^4 - 2,6^4) \cdot 10^8 = 0,107 (Вт).$$

Ответ:  $P = 0,107 \text{ Вт}$ .

*Задача 4.* Определить силу тока, протекающего по вольфрамовой проволоке диаметром  $d = 0,8 \text{ мм}$ , температура которой в вакууме поддерживается неизменной и равной  $t = 2800^\circ\text{C}$ . Поверхность проволоки имеет поглотительную способность  $\alpha_T = 0,343$ . Удельное сопротивление вольфрама  $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Температура окружающей среды  $t_0 = 17^\circ\text{C}$ .



Дано:

$$\alpha_T = 0,343$$

$$\rho = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

$$d = 8 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$T = 3073 \text{ К}$$

$$T_0 = 290 \text{ К}$$

---

$I$  - ?

Решение:

Для поддержания температуры шарика  $T$  в среде с температурой  $T_0$  к нему необходимо подвести мощность

$$P = \alpha_T S \sigma (T^4 - T_0^4),$$

где постоянная  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ , а площадь проволоки  $S = \pi d l$ .

Подводимая мощность  $P$  расходуется на нагревание за счет протекания тока и по закону Джоуля – Ленца

$$P = I^2 R,$$

где сопротивление  $R = \rho \frac{l}{S_1}$ ,  $S_1$  - площадь сечения проволоки  $S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$ .

$$R = \rho \frac{4l}{\pi d^2}.$$

Сила тока

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{\alpha_T \sigma (T^4 - T_0^4) \pi d l \cdot \pi d^2}{\rho 4l}},$$

$$I = \sqrt{\frac{\alpha_T \sigma \pi^2 d^3}{4\rho} (T^4 - T_0^4)},$$

$$I = \sqrt{\frac{0,343 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14^2 \cdot 8^3 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 9,2 \cdot 10^{-7}} (3,073^4 - 2,9^4) \cdot 10^{12}} = 48,8(A).$$

Ответ:  $I = 48,8 A$ .

*Задача 5.* Принимая Солнце за черное тело и считая, что длина волны, приходящаяся на максимум в спектре его излучения равна

$\lambda_m = 500\text{нм}$ , определить: 1) температуру поверхности Солнца; 2) энергию, излучаемую Солнцем за  $t = 10\text{ мин}$ ; 3) массу  $m$ , теряемую Солнцем за  $t = 10\text{ мин}$  за счет излучения.

Дано:

$$\lambda_m = 500\text{нм} = 5 \cdot 10^{-7}\text{ м}$$

$$t = 600\text{ с}$$

$$R_c = 6,95 \cdot 10^8\text{ м}$$

$$m_c = 1,98 \cdot 10^{30}\text{ кг}$$

1)  $T$  - ?

2)  $W$  - ?

3)  $m$  - ?

Решение:

Из закона смещения Вина найдем

$$T = \frac{b}{\lambda_m},$$

где  $b = 2,90 \cdot 10^{-3}\text{ м} \cdot \text{К}$ .

$$T = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-7}} = 5,8 \cdot 10^3\text{ (К)}.$$

Воспользуемся законом Стефана – Больцмана:

$$R_T = \sigma T^4,$$

где энергетическая светимость  $R_T$  по определению равна энергии, излучаемой черным телом с единицы поверхности в единицу времени.

Энергия  $W$  равна:  $W = R_T St$  или

$$W = \sigma T^4 St,$$

где площадь поверхности Солнца  $S = 4\pi R_c^2$ .

$$W = \sigma \cdot 4\pi R_c^2 T^4 t$$

$$W = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 12,56 \cdot 6,95^2 \cdot 10^{16} \cdot 5,8^4 \cdot 10^{12} \cdot 600 =$$

$$= 2,34 \cdot 10^{29} \text{ (Дж)}.$$

Чтобы найти массу  $m$ , теряемую Солнцем при излучении, воспользуемся формулой Эйнштейна для полной энергии

$$W = mc^2,$$

откуда

$$m = \frac{W}{c^2}.$$

$W$  вычислили в пункте 2) данной задачи.

$$m = \frac{2,34 \cdot 10^{29}}{9 \cdot 10^{16}} = 2,6 \cdot 10^{12} (\text{кг}).$$

Ответ: 1)  $T = 5800 \text{ K}$ ; 2)  $W = 2,34 \cdot 10^{29} \text{ Дж}$ ; 3)  $m = 2,6 \cdot 10^{12} \text{ кг}$ .

*Задача 6.* Определить импульс и энергию электрона, если его длина волны де Бройля равна  $10^{-10} \text{ м}$ . Какова минимальная неопределенность координаты этого электрона?

Дано:

Решение:

$$\lambda = 10^{-10} \text{ м};$$

$$p - ? E - ?$$

$$\Delta x_{\min} - ?$$

равна

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

где  $p$  - импульс частицы,  $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$  - постоянная

Планка.

Импульс

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34}}{10^{-10}} = 6,62 \cdot 10^{-24} (\text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}).$$

Энергия  $E$  связана с импульсом:

$$E = \frac{p^2}{2m},$$

где масса  $m = m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ .

Произведем вычисления:

$$E = \frac{6,62 \cdot 10^{-48}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} = 2,41 \cdot 10^{-17} (\text{Дж}) = 150 (\text{эВ}).$$

Согласно соотношению неопределенностей для координаты и импульса

$$\Delta x \Delta p \geq h$$

или

$$\Delta x \geq \frac{h}{\Delta p}.$$

Неопределенность импульса не больше самого импульса, т.е.

$$\Delta p = p,$$

тогда наименьшая величина неопределенности координаты

$$\Delta x_{\min} = \frac{h}{p} = \lambda = 10^{-10} \text{ м.}$$

Ответ:  $6,62 \cdot 10^{-24} \frac{\text{КЗМ}}{\text{с}}$ ;  $150 \text{ эВ}$ ;  $10^{-10} \text{ м}$ .

*Задача 7.* Найти максимальную скорость электронов, освобождаемых при фотоэффекте светом с длиной волны  $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  с поверхности катода электронно-оптического преобразователя прибора ночного видения ПНВ-57. Принять работу выхода материала катода равной  $1,9 \text{ эВ}$ .

Дано:

$$\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$A = 1,9 \text{ эВ} = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

---

$$v_{\max} - ?$$

Решение:

Запишем уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта:



$$h\nu = A + \frac{m\nu_{\max}^2}{2},$$

здесь  $h\nu = h\frac{c}{\lambda}$  - энергия падающего фотона,  $A$  - работа выхода электронов из металла. Скорость света  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , постоянная Планка  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ; масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ .

$$\nu_{\max} = \sqrt{\frac{2}{m} \left( h\frac{c}{\lambda} - A \right)}$$

$$\nu_{\max} = \sqrt{\frac{2}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left( \frac{6,63 \cdot 3}{4} \cdot 10^{-19} - 3,04 \cdot 10^{-19} \right)} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}.$$

Ответ:  $\nu_{\max} = 6,5 \cdot 10^5 \text{ м/с}$ .

Задача 8. Используя соотношение неопределенностей, определить ширину  $\Delta\lambda$  спектральной линии излучения атома при переходе его из возбужденного состояния в основное. Среднее время жизни атома в возбужденном состоянии  $\tau = 10^{-8} \text{ с}$ , а длина волны излучения  $600 \text{ нм}$ .

Дано:

$$\tau = 10^{-8} \text{ с}$$

$$\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

---

$$\Delta\lambda - ?$$

Решение:

При переходе электронов атома из возбужденного состояния в основное существует неопределенность энергии  $\Delta\varepsilon$  испускаемых фотонов, т.к. энергия возбужденного состояния строго не определена.

Согласно соотношению неопределенностей для энергии и времени

$$\Delta\varepsilon\Delta t \geq \hbar,$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}; \Delta t = \tau.$$

Энергия фотона  $\varepsilon$  связана с его длиной волны:

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda},$$

а неопределенность энергии

$$|\Delta\varepsilon| = \left| \frac{2\pi\hbar c}{\lambda^2} \Delta\lambda \right|,$$

$\Delta\lambda$  - ширина спектральной линии.

Учтем, что  $\Delta\varepsilon \geq \frac{\hbar}{\tau}$ , получим наименьший разброс энергии  
испускаемых фотонов

$$\Delta\varepsilon = \frac{\hbar}{\tau}.$$

Тогда ширина спектральной линии

$$\Delta\lambda = \Delta\varepsilon \frac{\lambda^2}{2\pi\hbar c} = \frac{\lambda^2}{2\pi c \tau}.$$

Подставляя данные задачи и  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ , получим:

$$\Delta\lambda = \frac{36 \cdot 10^{-14}}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 10^{-8}} = 1,91 \cdot 10^{-14} (\text{м}).$$

Ответ:  $\Delta\lambda = 1,91 \cdot 10^{-14} \text{ м}$ .

### ***Свойства атомных ядер. Радиоактивность***

*Задача 1.* Укажите, сколько нуклонов, протонов, нейтронов содержат следующие ядра: 1)  ${}^3_2\text{He}$ ; 2)  ${}^{10}_5\text{B}$ ; 3)  ${}^{23}_{11}\text{Na}$ ; 4)  ${}^{54}_{26}\text{Fe}$ ; 5)  ${}^{104}_{47}\text{Ag}$ ; 6)  ${}^{238}_{92}\text{U}$ .

Решение:

Обозначим  $X$  химический символ элемента, тогда в обозначении  ${}^A_Z X$   $A$  – массовое число – равно количеству нуклонов в ядре,  $Z$  – число протонов (или заряд ядра); число нейтронов в ядре  $N = A - Z$ .

	${}^3_2 He$	${}^{10}_5 B$	${}^{23}_{11} Na$	${}^{54}_{26} Fe$	${}^{104}_{47} Ag$	${}^{238}_{92} U$
Число нуклонов	3	10	23	54	104	238
Число протонов	2	5	11	26	47	92
Число нейтронов	1	5	12	28	57	146

Задача 2. Вычислить энергию в эВ, соответствующую 1 а.е.м.

Дано:

Решение:

$$1a.e.m. = 1,6605402 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

---

$E - ?$

$1 \text{ эВ}$  – энергия, приобретаемая электроном в ускоряющем поле с разностью потенциалов  $U = 1 \text{ В}$ .

$$E = e \cdot U = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ (Дж)}.$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

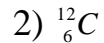
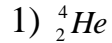
Энергию частицы массой  $m = 1 \text{ а.е.м.}$  найдем из формулы Эйнштейна  $E = mc^2$ ,

$$\begin{aligned} E &= 1,6605402 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 14,9448618 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = \\ &= 9,3405 \cdot 10^8 \text{ эВ} = 934,05 \text{ (МэВ)}. \end{aligned}$$

Ответ:  $E = 934 \text{ МэВ}$ .

*Задача 3.* Определить удельную энергию связи для ядер: 1)  ${}^4_2\text{He}$ ; 2)  ${}^{12}_6\text{C}$ . Массы нейтральных атомов гелия и углерода равны соответственно  $6,6467 \cdot 10^{-27}$  кг и  $19,9272 \cdot 10^{-27}$  кг.

Дано:



---


$$\frac{E_{св}}{A} - ?$$

Решение:

Энергия связи ядер определяется формулой:

$$E_{св} = \Delta m c^2,$$

где  $c$  – скорость света,  $\Delta m$  – дефект масс,

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{я}$$

$m_p$  и  $m_n$  – массы протона и нейтрона,  $m_{я}$  – масса ядра.

Если заменить  $m_p$  на массу нейтральных атомов, то массу протона  $m_p$  заменим на массу водорода  $m_H$ .  $m_H = 1,6736 \cdot 10^{-27}$  кг ;  $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$  кг ;  $m_{He} = 6,6467 \cdot 10^{-27}$  кг ;  $m_c = 19,9272 \cdot 10^{-27}$  кг .

$$\frac{E_{св}}{A} = \frac{Zm_H + (A - Z)m_n - m}{A} \cdot c^2.$$

Учтем, что  $1\text{эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж , подставим данные задачи и вычислим:

$$1) \left( \frac{E_{св}}{A} \right)_{He} = \frac{(2 \cdot 1,6736 + 2 \cdot 1,675) \cdot 10^{-27} - 6,64 \cdot 10^{-27}}{4} \cdot \frac{9 \cdot 10^{16}}{1,6 \cdot 10^{-13}} = 7,1 \text{ МэВ}.$$

$$2) \left( \frac{E_{св}}{A} \right)_C = \frac{(6 \cdot 1,6736 + 6 \cdot 1,675) \cdot 10^{-27} - 19,9272 \cdot 10^{-27}}{12} \cdot \frac{9 \cdot 10^{16}}{1,6 \cdot 10^{-13}} = 7,7 \text{ МэВ}.$$

Ответ: 1)  $\frac{E_{св}}{A} = 7,1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  ; 2)  $\frac{E_{св}}{A} = 7,7 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$  .



*Задача 4.* Определить период полураспада радиоактивного изотопа, если  $5/8$  начального количества ядер этого изотопа распалось за время  $t = 849$  с.

Дано:

$$t = 849 \text{ с}$$

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{5}{8}$$

---

$$T_{1/2} - ?$$

Решение:

Запишем закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Здесь  $N$  – число нераспавшихся к моменту  $t$  ядер;  $N_0$  – исходное число ядер;  $\lambda$  – постоянная распада.

$\Delta N$  – количество распавшихся ядер,  $\Delta N = N_0 - N$ .

$$\frac{\Delta N}{N_0} = \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - e^{-\lambda t}.$$

По условию  $1 - e^{-\lambda t} = \frac{5}{8}$ , откуда  $e^{-\lambda t} = \frac{3}{8}$  или  $-\lambda t = \ln \frac{3}{8}$

$$\lambda = \frac{\ln(3/8)}{t}.$$

Период полураспада  $T_{1/2}$  связан с  $\lambda$ :  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ , тогда

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\ln(3/8)} \cdot t$$

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{0,980} \cdot 849 \cong 600c = 10 \text{ мин.}$$

Ответ:  $T_{1/2} = 10 \text{ мин.}$

*Задача 5.* Сколько атомов полония  ${}_{84}^{210}\text{Po}$  (с периодом полураспада 138 суток) распадется за сутки из  $N_0 = 10^6$  атомов? Найти активность  $A$  препарата по прошествии суток.

Дано:

$$N_0 = 10^6$$

$$T_{1/2} = 138 \text{сут}$$

$$t = 1 \text{сут}$$

---

$$\Delta N - ?$$

$$A - ?$$

Решение:

Значение периода полураспада  $T_{1/2}$  полония находим в таблице.

$T_{1/2}$  связан с постоянной распада соотношением

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Запишем закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Число ядер, распавшихся к моменту времени  $t$

$$\Delta N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}).$$

Вычислим  $\lambda t$ :

$$\lambda t = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t = \frac{\ln 2}{138} \cdot 1 = 0,005.$$

Учтем, что при малых  $x$

$$e^x \cong 1 + x,$$

тогда

$$\Delta N = \lambda t N_0,$$

$$\Delta N = 0,005 \cdot 10^6 = 5000 \text{штук}.$$

Активность препарата  $A$  есть число распадов, происходящих в препарате за единицу времени:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N;$$

$$A = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} N_0 \cdot e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t};$$

$$A = \frac{\ln 2}{138} \cdot 10^6 e^{-0,005} = 5000(1 - 0,005) = 4975(\text{Бк}).$$

Ответ: 5000;4975Бк.

Задача 6. Начальная активность  $m = 1$  г изотопа радия  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$   $A_0 = 1\text{Ки}$ .

Определить период полураспада этого изотопа.

Дано:	Решение:
$A_0 = 1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк}$ $m = 1\text{г} = 10^{-3} \text{кг}$ $M = 226 \cdot 10^{-3} \text{кг} / \text{моль}$	Активность препарата в момент $t = 0$ $A_0 = \lambda N_0,$
$T_{1/2} - ?$	где исходное число ядер $N_0 = \frac{m}{M} N_A,$
	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1}$ , $m$ – масса, $M$ – молярная масса вещества.

Поскольку постоянная распада  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ , начальная активность

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} N_A,$$

откуда

$$T_{1/2} = \frac{m}{M} N_A \cdot \frac{\ln 2}{A_0}.$$

Учтя, что  $1\text{Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{Бк}$ , подставим значения всех величин:

$$\begin{aligned} T_{1/2} &= \frac{10^{-3}}{226 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{0,693}{3,7 \cdot 10^{10}} = \frac{6,02 \cdot 0,69}{8,36} \cdot 10^{11} \text{с} = \\ &= \frac{0,497}{3600 \cdot 24 \cdot 365} \cdot 10^{11} \text{лет} = 1582 \text{года}. \end{aligned}$$

Ответ:  $T_{1/2} = 1582 \text{ года}$ .

*Задача 7.* Радиоактивный йод  $^{131}\text{I}$ , вводимый при биологическом эксперименте в организм ягненка, концентрируется почти полностью в его щитовидной железе. Допустимое количество  $^{131}\text{I}$  имеет активность  $10^{-3} \text{ мкКи}$  на  $1 \text{ г}$  массы железа. Какую массу  $^{131}\text{I}$  можно ввести ягненку, масса щитовидной железы которого равна  $5 \text{ г}$ ?

Дано:

$$A_{1\text{г}} = 10^{-3} \text{ мкКи} = 37 \text{ Бк}$$

$$m_0 = 5 \text{ г}$$

$m - ?$

Решение:

Активность препарата в момент  $t = 0$

$$A_0 = \lambda N_0,$$

где исходное число ядер  $N_0 = \frac{m}{M} N_A,$

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ,  $m$  – масса радиоактивного

вещества,  $M$  – его молярная масса,  $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$  –

постоянная распада. Т.о.

$$A_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} N_A.$$

По условию  $A = 5A_{12} = 5 \cdot 37 \text{ Бк}$ ,  $M = 131 \cdot 10^{-3} \text{ кг / моль}$ ,

$T_{1/2} = 8 \text{ суток} = 8 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с}$  (из таблиц). Масса препарата

$$m = \frac{T_{1/2} \cdot M \cdot A}{\ln 2 \cdot N_A}$$

$$m = \frac{8 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0,131 \cdot 5 \cdot 37}{0,7 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 4,06 \cdot 10^{-17} \text{ кг}$$

Ответ:  $m = 4,06 \cdot 10^{-17} \text{ кг}$ .



## *Электрический ток*

*Задача 1.* Сила тока в проводнике  $I$  изменяется со временем по закону:  $I = 4 + 2t$ . Какое количество электричества  $Q$  проходит через сечение проводника за время от  $t_1 = 2\text{с}$  до  $t_2 = 6\text{с}$ ? При какой силе постоянного тока  $I_C$  за это же время проходит такое же количество электричества?

Дано:

Решение:

$$I = 4 + 2t(A),$$
$$t_1 = 2c; t_2 = 6c.$$

-----  
 $Q - ?$

$I_C - ?$

По определению

$$I = \frac{dQ}{dt},$$

следовательно

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} Idt.$$

Подставим

$$I = 4 + 2t$$

и проинтегрируем:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} (4 + 2t)dt = \left(4t + t^2\right) \Big|_2^6 = 48(Кл).$$

Найдем  $I_C$  :

$$I_C = \frac{Q}{t_2 - t_1} = \frac{48}{4} = 12(\text{A})$$

Ответ: 48Кл; 12А.

*Задача 2.* Длинный проводник круглого сечения площади  $S$  сделан из материала, удельное сопротивление которого зависит только от расстояния  $r$  до оси проводника по закону  $\rho = \alpha/r^2$ , где  $\alpha$  – постоянная. Найти: а) сопротивление единицы длины проводника; б) напряженность электрического поля в проводнике при протекании тока  $I$ .

Дано:

$S$

Решение:

$$\rho = \alpha / r^2$$

$I$

$R/L - ?$

$E - ?$

а) Сопротивление проводника  $R = \rho \frac{L}{S}$ , его обратная

величина  $G = \frac{S}{\rho L}$  - проводимость.

Для элемента  $dS = 2\pi r dr$  элементарная проводимость

$$dG = \frac{1}{\rho L} dS = \frac{1}{\rho L} 2\pi r dr .$$

Учитывая, что  $\rho = \alpha / r^2$ , получим

$$dG = \frac{2\pi}{L\alpha} r^3 dr .$$

После интегрирования

$$G = \frac{2\pi}{L\alpha} \int r^3 dr = \frac{2\pi}{L\alpha} \frac{r^4}{4}$$

$$G = \frac{\pi r^4}{2L\alpha} = \frac{S^2}{2\pi L\alpha}.$$

$$R = \frac{2\pi L\alpha}{S^2}$$

откуда

$$\frac{R}{L} = \frac{2\pi\alpha}{S^2}.$$

б) Плотность тока  $j = \frac{dI}{dS}$  по определению. С другой стороны из

закона Ома  $\vec{j} = \sigma \vec{E}$  или  $\vec{j} = \frac{\vec{E}}{\rho}$ . Тогда

$$\frac{dI}{dS} = \frac{E}{\rho}$$
$$\frac{dI}{2\pi r dr} = \frac{r^2}{\alpha} E$$

откуда

$$\frac{\alpha}{2\pi} dI = Er^3 dr .$$

После интегрирования получим

$$\frac{\alpha}{2\pi} I = E \frac{r^2}{4} ,$$

находим напряженность

$$E = \frac{2\pi\alpha}{S^2} I .$$

Ответ:  $\frac{R}{L} = \frac{2\pi\alpha}{S^2}$ ;  $E = \frac{2\pi\alpha}{S^2} I$ .

*Задача 3.* Вольфрамовая нить электрической лампочки при  $t_1 = 20^\circ\text{C}$  имеет сопротивление  $R_1 = 35,8\text{Ом}$ . Какова будет температура  $t_2$  нити лампочки при включении в сеть напряжением  $U = 120\text{ В}$  при токе  $I = 0,33\text{ А}$ ? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама  $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ К}^{-1}$ .

Дано:	Решение:
$t_1 = 20^\circ\text{C}$	Сопротивление проводника зависит от температуры:
$R_1 = 35,8\text{Ом}$	
$U = 120\text{ В}$	$R = R_0(1 + \alpha t),$
$I = 0,33\text{ А}$	где $R_0$ - сопротивление при $t = 0^\circ\text{C}$ . Тогда
$\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3}\text{ К}^{-1}$	$R_0 = \frac{R}{1 + \alpha t_1} = \frac{35,8}{1 + 4,6 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 32,8\text{Ом}.$
<hr/> $t_2 - ?$	

Найдем  $R_2$  из закона Ома:

$$R_2 = \frac{U}{I} = 364 \text{ Ом}$$

Тогда

$$t_2 = \frac{R_2 - R_0}{R_0 \alpha} = \frac{364 - 32,8}{32,8 \cdot 4,6 \cdot 10^{-3}} = 2200^\circ \text{C}.$$

Ответ:  $t_2 = 2200^\circ \text{C}$ .

*Задача 5.* Батареи имеют ЭДС  $\varepsilon_1 = 2\text{В}$  и  $\varepsilon_2 = 1\text{В}$ , сопротивления  $R_1 = 1\text{кОм}$ ,  $R_2 = 0,5\text{кОм}$ ,  $R_3 = 0,2\text{кОм}$ , сопротивление амперметра  $R_A = 0,2\text{кОм}$ .

Найти показание амперметра.

Дано:

$$\varepsilon_1 = 2\text{В}$$

Решение:



$$\varepsilon_2 = 1\text{В}$$

$$R_1 = 1\text{кОм} = 10^3 \text{ Ом}$$

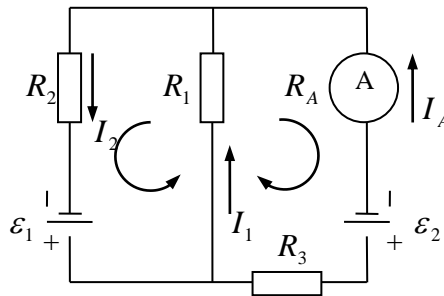
$$R_2 = 0,5\text{кОм} = 0,5 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 0,2\text{кОм} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_A = 0,2\text{кОм} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

---

$$I_A - ?$$



Выберем произвольно направление токов  $I_1, I_2, I_A$  в ветвях цепи и направления обхода контуров: по часовой стрелке правый контур и против часовой стрелки – левый. Согласно правилам Кирхгофа составим уравнения:

для узла  $\sum I_k = 0$ ,

$$I_1 + I_A = I_2$$

(1)

для правого контура

$$I_1 R_1 - I_A R_A - I_A R_3 = \varepsilon_2$$

(2)

для левого контура

$$I_2 R_2 + I_1 R_1 = \varepsilon_1$$

(3)

Получили систему трех уравнений с тремя неизвестными  $I_1, I_2, I_A$ , которую надо решить относительно  $I_A$ . Подставим  $I_2$  в (3):

$$I_1 R_1 - (R_A + R_3) I_A = \varepsilon_2$$

(2')

$$I_1 (R_2 + R_1) + I_A R_2 = \varepsilon_1$$

(3')

Из (2')  $I_1 = \frac{1}{R_1}(\varepsilon_2 + (R_A + R_3)I_A)$ , тогда

$$\frac{R_2 + R_1}{R_1}(\varepsilon_2 + (R_A + R_3)I_A) + I_A R_2 = \varepsilon_1.$$

Теперь удобно подставить значения всех известных величин:

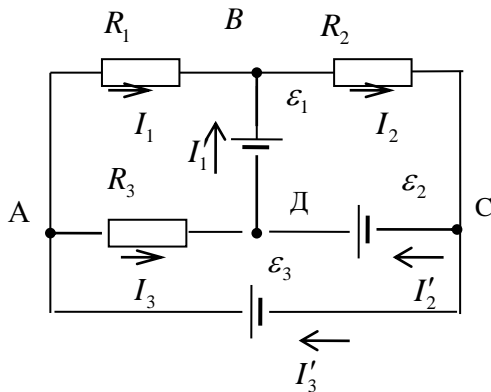
$$\frac{1,5 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} (1 + 0,4 \cdot 10^3 I_A) + 0,5 \cdot 10^3 I_A = 2$$

$$1,5 + 0,6 \cdot 10^3 I_A + 0,5 \cdot 10^3 I_A = 2$$

$$I_A = \frac{0,5}{1,1 \cdot 10^3} = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0,45 (\text{mA}).$$

Ответ:  $I_A = 0,45 \text{ mA}$ .

Задача 6. На изображенной на рис. 4 схеме  $\varepsilon_1 = 10\text{B}$ ,  $\varepsilon_2 = 20\text{B}$ ,



$\varepsilon_3 = 40B$ , а сопротивления  $R_1 = R_2 = R_3 = R = 10 \text{ Ом}$ . Определить силы токов  $I_i$  в сопротивлениях и  $I'_i$  в источниках тока. Внутреннее сопротивление источников не учитывать.

Дано:

$$\varepsilon_1 = 10B;$$

$$\varepsilon_2 = 20B;$$

$$\varepsilon_3 = 40B;$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = R = 10 \text{ Ом}$$

---

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

$$I'_1; I'_2; I'_3 - ?$$

Решение:

Выберем направление токов и запишем первое правило Кирхгофа для узлов  $A, B$  и  $D$ :

$$\begin{cases} I'_3 = I_1 + I_3 \\ I_1 + I'_1 = I_2 \\ I_3 + I'_2 = I'_1 \end{cases}$$

Выберем три независимых контура и направление их обхода и запишем второе правило Кирхгофа для контуров:

для контура  $A - B - C - A$

$$I_1 R + I_2 R_2 = \varepsilon_2; \quad (1)$$

для контура  $A - D - C - A$

$$I_3 R_3 = \varepsilon_3 - \varepsilon_2; \quad (2)$$

для контура  $B - C - D - B$

$$I_2 R_2 = \varepsilon_2 + \varepsilon_1. \quad (3)$$

Из (3)

$$10I_2 = 30; I_2 = 3A;$$

из (2)

$$I_3 = 2A;$$

из (1)

$$I_1 = 1A,$$

тогда

$$I'_3 = 3A;$$

$$I'_1 = 2A;$$

$$I'_2 = 0.$$

Ответ:  $I_1 = 2A; I_2 = 3A; I_3 = 2A; I'_1 = 2A; I'_2 = 0; I'_3 = 3A.$

№№ 3.83, 3.85, 3.87, 3.88, 3.90, 3.93, 3.94, 3.95, 3.97, 3.100, 3.101, 3.102, 3.103 (номера задач даны по задачнику Трофимовой Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. – М.: Мир и образование. – 2003.

### *Электромагнитные колебания*

*Задача 1.* Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 888 \text{ нФ}$  и катушки с индуктивностью  $L = 2 \text{ мГн}$ . На какую длину волны настроен контур?

Дано:

Решение:

$$C = 888 \text{ нФ} = 888 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$L = 2 \text{ мГн} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$\lambda$  - ?

Период собственных незатухающих колебаний в контуре

$$T = 2\pi\sqrt{LC} .$$

Соответствующая длина электромагнитной волны

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = cT = 2\pi c\sqrt{LC} ,$$

где  $\nu$  - частота колебаний,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  - скорость распространения волны.

$$\lambda = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-3} \cdot 888 \cdot 10^{-12}} = 2500(\text{м}) .$$

Ответ:  $\lambda = 2,5 \text{ км}$ .

*Задача 2.* Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 7 \text{ мкФ}$  и катушки индуктивности  $L = 0,23 \text{ Гн}$  с сопротивлением



$R = 400 \text{ Ом}$ . В начальный момент заряд на обкладках конденсатора  $q_0 = 0,56 \text{ мКл}$ . Найти период  $T$  электромагнитных колебаний в контуре и логарифмический декремент затухания  $d$ . Написать уравнение изменения со временем разности потенциалов  $U$  на обкладках конденсатора.

Дано:

$$C = 7 \text{ мкФ}$$

$$L = 0,23 \text{ Гн}$$

$$R = 400 \text{ Ом}$$

$$q_0 = 0,56 \text{ мКл}$$

---

$T$  -?  $d$  -?  $U(t)$  -?

Решение:

1) Период затухающих колебаний в контуре зависит от параметров контура  $C$ ,  $L$  и  $R$ :

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}},$$

где  $\omega_0$  - собственная частота, а  $\delta = \frac{R}{2L}$  - коэффициент затухания.

После подстановки данных получаем

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ c}.$$

2) Логарифмический декремент затухания

$$d = \delta T = \frac{RT}{2L} \cong 0,7.$$

3) Запишем в общем виде уравнение зависимости  $U$  от  $t$ :

$$U = U_0 e^{-\delta t} \cdot \cos \omega t,$$

$$U_0 = \frac{q_0}{C} = 80 \text{ В},$$

$$\delta = \frac{R}{2L} \cong 87,$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2} = 783,3 \cong 250\pi \text{ рад/с},$$

тогда

$$U = 80e^{-87t} \cos 250\pi t, \text{В.}$$

Ответ:  $T = 8 \text{мс}$ ;  $d = 0,7$ ;  $U = 80e^{-87t} \cos 250\pi t, \text{В.}$

*Задача 3.* Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C = 7 \text{ мкФ}$  и катушки индуктивности  $L = 0,23 \text{ Гн}$ . Сопротивление катушки и проводов составляет: а)  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ; б)  $R_2 = 40 \text{ Ом}$ ; в)  $R_3 = 400 \text{ Ом}$ . В каком случае колебания в контуре можно считать слабо затухающими? В каком случае колебания в контуре не возникнут?

Дано:

$$L = 0,23 \text{ Гн}$$

Решение:

1. Частота затухающих колебаний в контуре

$$C = 7 \text{ мкФ} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 400 \text{ Ом}$$

1) колебания слабо

затухают?

2) не будет?

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2},$$

$$\text{где } \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \delta = \frac{R}{2L}.$$

При малых  $R$ , когда  $\omega_0^2 \gg \left(\frac{R}{2L}\right)^2$  колебания считаются

слабо затухающими и  $\omega = \omega_0$ . Вычислим:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{0,23 \cdot 7 \cdot 10^{-6}} = 621 \cdot 10^3 \text{ (рад}^2 / \text{с}^2),$$

$$\delta^2 = \left(\frac{R}{2L}\right)^2 = \frac{16}{4 \cdot 0,23^2} = 75,6$$

$$\omega_0^2 \gg \delta^2 \text{ при } R_1 = 4 \text{ Ом},$$

$$\omega_0 = \omega = 31,6 \text{ (рад/с)}.$$

2. Случай  $R_2 = 400\text{Ом}$  рассмотрен в предыдущей задаче.

3. Вычислим  $\omega_0^2$  и  $\delta^2$  для  $R_3 = 400\text{Ом}$ :

$$\omega_0^2 = 621 \cdot 10^3 \text{ рад}^2 / \text{с}^2 = 62,1 \cdot 10^4$$

$$\delta^2 = \left( \frac{400}{2 \cdot 0,23} \right)^2 = 75,6 \cdot 10^4$$

Поскольку  $\delta^2 > \omega_0^2$ , в контуре произойдет аperiодический процесс разрядки конденсатора.

Ответ: 1) колебания слабо затухают при  $R_1$ ;

2) колебаний не будет при  $R_3$ .

*Задача 4.* Колебательный контур состоит из соленоида длиной  $l = 5$  см, площадью сечения  $S_1 = 1,5\text{см}^2$ , содержащего  $N = 500$  витков, и плоского

воздушного конденсатора с расстоянием между пластинами  $d = 1,5 \text{ мм}$ , площадью пластины  $S_2 = 100 \text{ см}^2$ . Определить частоту  $\omega_0$  собственных колебаний в контуре.

Дано:

$$l = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$d = 1,5 \text{ мм} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$N = 500$$

$$S_1 = 1,5 \text{ см}^2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$S_2 = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

---

$$\omega_0 - ?$$

Решение:

Индуктивность соленоида без сердечника

$$L = \mu_0 \frac{N^2 S_1}{l},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ .

Емкость конденсатора с воздухом в качестве диэлектрика ( $\varepsilon = 1$ ):

$$C = \frac{\varepsilon_0 S_2}{d},$$

где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

Вычислим собственную частоту:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \sqrt{\frac{ld}{\varepsilon_0 \mu_0 N^2 S_1 S_2}},$$

при этом скорость электромагнитной волны

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}},$$

тогда

$$\omega_0 = \frac{c}{N} \sqrt{\frac{ld}{S_1 S_2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{500} \sqrt{\frac{5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5}}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-2}}} = 4,27 \cdot 10^6 \text{ (рад/с)}.$$

Ответ:  $\omega_0 = 4,27 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$ .

*Задача 5.* Частота  $\nu$  затухающих колебаний в колебательном контуре с добротностью  $Q = 2500$  равна  $550 \text{ кГц}$ . Определить время, за которое амплитуда тока уменьшится в 4 раза.

Дано:

$$\nu = 550 \text{ кГц} = 5,5 \cdot 10^5 \text{ Гц}$$

$$Q = 2500$$

$$\frac{I_{m0}}{I_{mN}} = 4$$

---

$t - ?$

Решение:

Отношение амплитуд силы тока в начальный момент  $I_{m0}$  и через  $N$  колебаний  $I_{mN}$

$$\frac{I_{m0}}{I_{mN}} = e^{\delta t}$$

где  $\delta$  – коэффициент затухания.

По условию

$$\ln \frac{I_{m0}}{I_{mN}} = \delta t = \ln 4,$$



откуда

$$t = \frac{\ln 4}{\delta}.$$

Добротность контура  $Q = \frac{\pi}{d}$ , где логарифмический декремент затухания  $d = \delta T$ . Тогда

$$Q = \frac{\pi \nu}{\delta}.$$

Подставим  $\delta = \frac{\pi \nu}{Q}$  в  $t$ :

$$t = \frac{Q \ln 4}{\pi \nu}$$
$$t = \frac{2500 \cdot \ln 4}{\pi \cdot 5,5 \cdot 10^5} = 2 \cdot 10^{-3} (\text{с}).$$

Ответ:  $t = 2 \text{ мс}$ .

*Задача 6.* В цепь переменного тока напряжением  $U = 220 \text{ В}$  и частотой  $\nu = 50 \text{ Гц}$  включены последовательно емкость  $C = 35,4 \text{ мкФ}$ , сопротивление  $R = 100 \text{ Ом}$  и индуктивность  $L = 0,7 \text{ Гн}$ . Найти силу тока в цепи и падения напряжения  $U_C$ ,  $U_R$  и  $U_L$  на емкости, сопротивлении и индуктивности соответственно.

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\nu = 50 \text{ Гц}$$

$$L = 0,7 \text{ Гн}$$

$$C = 35,4 \text{ мкФ} = 35,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$$

---

$I - ?$

Решение:

Запишем закон Ома для переменного тока:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

где действующие значения тока и напряжения

$$U_C - ? \quad U_R - ? \quad U_L - ?$$

связаны с их амплитудными значениями

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

Сопротивление (импеданс) цепи из соединенных последовательно  $C$ ,  $R$ ,

$L$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Вычислим последовательно емкостное, индуктивное сопротивления и импеданс цепи:

$$\omega L = 314 \cdot 0,7 = 220 \text{ Ом}; \quad \frac{1}{\omega C} = \frac{10^6}{314 \cdot 35,4} = 90 \text{ Ом};$$

$$Z = \sqrt{(220 - 90)^2 + 10^4} = 164 \text{ Ом}.$$

Сила тока в цепи  $I = \frac{U}{Z} = \frac{220}{164} = 1,34A$ .

Напряжение на конденсаторе  $U_C = I \cdot \frac{1}{\omega C} \cong 121B$ ,

на сопротивлении  $U_R = IR = 134B$ ,

на индуктивности  $U_L = I\omega L = 195B$ .

Ответ:  $I = 1,34A$ ;  $U_C = 121B$ ;  $U_R = 134B$ ;  $U_L = 195B$ .

### *Дифракция света*

*Задача 1.* Точечный источник света  $S$  ( $\lambda = 0,5$  мкм) расположен на расстоянии  $a = 1$  м перед диафрагмой с круглым отверстием. Диаметр

отверстия  $d = 2 \text{ мм}$ . Определить расстояние  $v$  от диафрагмы до точки наблюдения  $M$ , если отверстие открывает три зоны Френеля.

Дано:

$$\lambda = 0,5 \text{ мкм} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$a = 1 \text{ м}$$

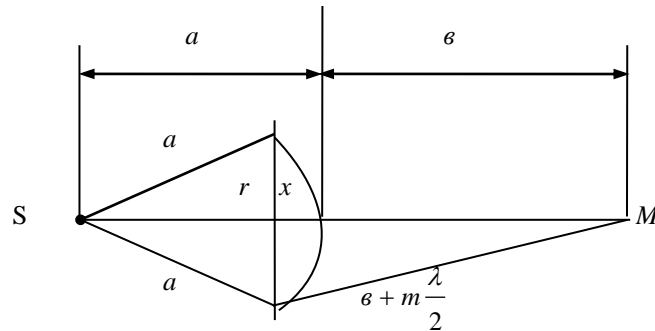
$$d = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$m = 3$$

---


$$v - ?$$

Решение:



На рисунке показана сферическая поверхность волнового фронта от точечного источника  $S$ , ограниченная отверстием радиуса  $r$ . Зоны Френеля находятся на поверхности фронта волны, их расстояния до точки  $M$

различаются на  $\frac{\lambda}{2}$ . Расстояние от края отверстия до точки М равно  $\varrho + m\frac{\lambda}{2}$ ,

где  $m$  – число открытых зон Френеля. Из рисунка видно:

$$r^2 = a^2 - (a - x)^2$$

(1)

$$r^2 = \left( \varrho + m\frac{\lambda}{2} \right)^2 - (\varrho + x)^2$$

(2)

Учтем, что  $\lambda \ll a; \lambda \ll \varrho$ :

$$r^2 = 2ax - x^2$$

(1')

$$r^2 = \varrho m\lambda - 2\varrho x - x^2$$

(2')

Из (1') и (2') получим:

$$x = \frac{v m \lambda}{2(a + v)}.$$

Подставим  $x$  в (2'):

$$r^2 = \frac{m \lambda a v}{a + v} - \frac{v^2}{4(a + v)^2} m^2 \lambda^2,$$

пренебрегая вторым слагаемым из-за малости  $\lambda^2$ , получим

$$r^2 = \frac{a v}{a + v} m \lambda,$$

(3)

где  $r$  – радиус  $m$  – ой зоны Френеля.

Преобразуем выражение (3) для  $r^2$ , получим расстояние до точки наблюдения М

$$v = \frac{ar^2}{am\lambda - r^2},$$

(4)

где  $r = d/2$ .

Подставим численные значения в формулу (4):

$$v = \frac{1 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} - 10^{-6}} = \frac{1}{0,5} = 2(\text{м}).$$

Ответ:  $v = 2 \text{ м}$ .

*Задача 2.* Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого  $r$  можно изменять в процессе опыта. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана равны



$a = 1 \text{ м}$ ,  $b = 1,25 \text{ м}$ . Определить длину волны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при  $r_1 = 1 \text{ мм}$  и следующий максимум виден при  $r_2 = 1,29 \text{ мм}$ .

Дано:

$$a = 1 \text{ м}$$

$$b = 1,25 \text{ м}$$

$$r_1 = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$$

$$r_2 = 1,29 \text{ мм} = 1,29 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

---

$\lambda$  - ?

Решение:

Воспользуемся формулой (3) решения задачи 1.

$$r^2 = \frac{ab}{a+b} m \lambda .$$

Здесь  $m$  – количество открытых зон Френеля.

Максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается, если  $m$  – нечетное число. При увеличении диаметра отверстия в

диафрагме два последующих максимума наблюдаются, если  $m_2 = m_1 + 2$ .

Тогда

$$r_1^2 = \frac{a\vartheta}{a + \vartheta} m_1 \lambda$$

$$r_2^2 = \frac{a\vartheta}{a + \vartheta} m_2 \lambda$$

$$r_2^2 - r_1^2 = \frac{a\vartheta}{a + \vartheta} 2\lambda, \text{ откуда}$$

$$\lambda = \frac{r_2^2 - r_1^2}{2a\vartheta} (a + \vartheta);$$

$$\lambda = \frac{2,29 \cdot 0,29 \cdot 10^{-6} \cdot 2,25}{2 \cdot 1 \cdot 1,25} = 0,6 \cdot 10^{-6} (\text{м}).$$

Ответ:  $\lambda = 0,6 \text{ мкм}$ .

Задача 3. Определить радиус третьей зоны Френеля для плоской волны. Расстояние от волновой поверхности до точки наблюдения М равно  $1,5$  м. Длина волны  $\lambda = 0,6$  мкм.

Дано:

$$\lambda = 0,6 \text{ мкм} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

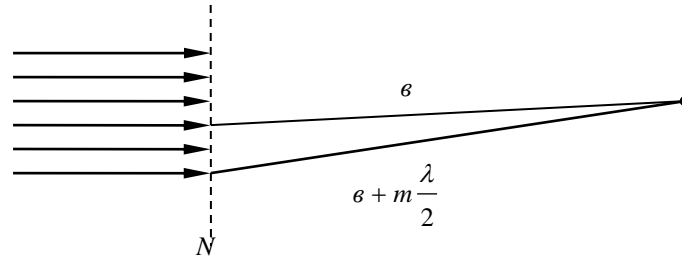
$$v = 1,5 \text{ м}$$

$$m = 3$$

---


$$r - ?$$

Решение:



$N'N$  – плоская поверхность волнового фронта параллельного пучка световых лучей. Радиус  $m$  – ой зоны Френеля  $r_m$  :

$$r_m^2 = \left( v + m \frac{\lambda}{2} \right)^2 - v^2;$$

$$r_m^2 = 2mv\lambda - \frac{m^2 \lambda^2}{4}.$$

Поскольку  $\lambda \ll v$ ,

$$r_m = \sqrt{2mv\lambda}.$$

$$r_m = \sqrt{1,5 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-6}} = 1,64 \cdot 10^{-3} (\text{м}).$$

Ответ:  $r_m = 1,64 \text{ мм}$ .

*Задача 4.* На щель шириной  $a = 0,1 \text{ мм}$  падает нормально монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$ . Дифракционная картина наблюдается на экране, параллельном щели. Определить

расстояние  $L$  от щели до экрана, если ширина центрального дифракционного максимума  $b = 1$  см.

Дано:

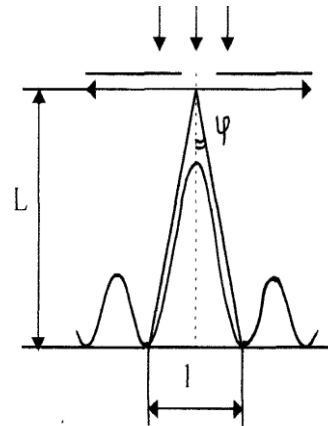
$$\lambda = 0,5 \text{ мкм} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$a = 0,1 \text{ мм} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$b = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$$

$L - ?$

Решение:



Ширина центрального максимума определяется расстоянием между двумя первыми минимумами

$$m_1 = 1 \quad m_{-1} = -1$$

$$e = 2L \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $\varphi$  – угол, под которым виден первый минимум при дифракции на щели.

Условие минимумов:  $a \sin \varphi = \pm m \lambda$ , откуда

$$\sin \varphi = \frac{m \lambda}{a}, \text{ при } m = 1$$

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{a},$$

$$\varphi = \arcsin \frac{\lambda}{a}.$$

Поскольку  $\frac{\lambda}{a} \ll 1, \operatorname{tg} \varphi \cong \sin \varphi$ . Тогда  $e = 2L \sin \varphi$  или

$$L = \frac{a}{2 \sin \varphi} = \frac{a}{2\lambda}$$
$$L = \frac{10^{-2} \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-7}} = 1(\text{м}).$$

Ответ:  $L = 1 \text{ м}$ .

*Задача 5.* На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает монохроматический свет с  $\lambda = 550 \text{ нм}$ . На экран, находящийся от решетки на расстоянии  $L = 1 \text{ м}$ , с помощью линзы, расположенной вблизи решетки, проецируется дифракционная картина. Первый главный максимум наблюдается на расстоянии  $h = 12 \text{ см}$  от центрального. Определить 1) период дифракционной решетки; 2) число штрихов,

приходящееся на 1см ее длины; 3) общее число максимумов, даваемых решеткой; 4) угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.

Дано:

$$\lambda = 550 \text{ нм}$$

$$L = 1 \text{ м}$$

$$h = 12 \text{ см}$$

$$h' = 1 \text{ см}$$

---

$$1) d\text{-?} \quad 2) n\text{-?}$$

$$3) N\text{-?} \quad 4) \varphi_{\text{max}}\text{-?}$$

Решение:

1) Период дифракционной решетки найдем из условия главного максимума дифракционной решетки

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda, \quad (1)$$

где порядок максимума  $m = 1$  согласно условию



задачи.

Очевидно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = h / L .$$

Так как  $h < L$ ,

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi$$

и (1) можно записать:

$$\frac{dh}{L} = \lambda ,$$

откуда

$$d = \frac{\lambda L}{h} = \frac{550 \cdot 10^{-9} \cdot 1}{0,12} \cong 4,58 \text{ мкм} .$$

2) Число штрихов на длине  $h' = 1 \text{ см}$  определяем по формуле

$$n = \frac{h'}{d} = 2183 \text{ см}^{-1}.$$

3) Поскольку угол отклонения лучей решеткой не может быть больше  $\pi/2$ , из (1) можно найти максимально возможный номер максимума:

$$m_{\max} \leq \frac{d \sin \varphi_{\max}}{\lambda} = \frac{4,58 \cdot 10^{-6} \sin(\pi/2)}{550 \cdot 10^{-9}} \approx 8,33$$

Принимаем  $m_{\max} = 8$ .

Так как максимумы наблюдаются справа и слева от центрального плюс центральный максимум, то общее число максимумов:

$$N = 2m_{\max} + 1 = 17.$$

4) Угол дифракции, соответствующий последнему максимуму с номером  $m_{\max}$ , найдем, записав (1) в виде

$$d \sin \varphi = m_{\max} \lambda,$$

тогда

$$\varphi_{\max} = \arcsin \frac{m_{\max} \lambda}{d} = \arcsin \frac{8 \cdot 550 \cdot 10^{-9}}{4,58 \cdot 10^{-6}} \approx 82^{\circ}.$$

Ответ: 1)  $d = 4,58 \text{ мкм}$ , 2)  $n = 2183 \text{ см}^{-1}$ , 3)  $N = 17$ ,  $\varphi_{\max} \approx 82^{\circ}$ .

*Задача 6.* При нормальном падении света на дифракционную решетку угол дифракции для линии  $\lambda_1 = 0,65 \text{ мкм}$  во втором порядке равен  $45^{\circ}$ . Найти угол дифракции для линии  $\lambda_2 = 0,50 \text{ мкм}$  в третьем порядке.

Дано:

$$\lambda_1 = 0,65 \text{ мкм}$$

$$\lambda_2 = 0,50 \text{ мкм}$$

Решение:

Воспользуемся условием главных максимумов при дифракции на решетке:

$$m_1 = 2$$

$$\varphi_1 = 45^\circ$$

$$m_2 = 3$$

---

$$\varphi_2 = ?$$

откуда

Согласно условию

$$d \sin \varphi = \pm m \lambda .$$

$$d \sin \varphi_1 = \pm m_1 \lambda_1$$

$$d \sin \varphi_2 = \pm m_2 \lambda_2$$

$$\sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \cdot \frac{m_2 \lambda_2}{m_1 \lambda_1}$$

$$\sin \varphi_2 = \sin 45^\circ \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{0,5}{0,65} \approx 0,816$$

$$\varphi_2 = \arcsin 0,816 = 55^\circ .$$

Ответ:  $\varphi_2 = 55^\circ$ .