

ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**В.А. Погонышев, П.И. Кравцов,  
Л.П. Кравцова, В.В. Логунов**

## **Физика с основами биофизики**

для бакалавров по направлениям подготовки  
36.03.02 «Зоотехния», 19.03.03 «Продукты питания животного  
происхождения и студентов специальности  
36.05.01 «Ветеринария»

«Допущено Научно-методическим Советом по физике  
Министерства образования и науки Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учеб-  
ных заведений, обучающихся по техническим направлени-  
ям подготовки и специальностям»

Брянская область  
2015

УДК 53 (075.32)  
ББК 22.3:28.071  
П 43

Погонышев, В.А. **Физика с основами биофизики:** учебное пособие. / В.А. Погонышев, П.И. Кравцов, Л.П. Кравцова, В.В. Логунов. – Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2015. – 150 с.

Учебное пособие содержат необходимые материалы по подготовке студентов заочной форм обучения зоотехнических, ветеринарных и гидромелиоративных специальностей в соответствии с программой для данных специальностей высших учебных заведений.

Рецензенты:

д. т. н. профессор, Гурьянов Г.Г. ,  
к. ф-м. н., доцент Малинников С.Г.

© Брянский ГАУ, 2015.  
© Погонышев В.А., 2015,  
© Кравцов П.И., 2015,  
© Кравцова Л.П., 2015,  
© Логунов В.В., 2015.

## Оглавление

- Введение. Рабочая программа курса физики
- Общие методические указания
- Основные единицы СИ
- 1. Математический аппарат физики
  - 1.1. Основные правила перевода единиц
  - 1.2. Таблица производных некоторых функций
  - 1.3. Таблица первообразных некоторых функций
  - 1.4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц
  - 1.5. Дифференциальное и интегральное исчисления в физике
  - 1.6. Порядок решения физических задач
- 2. Основные расчётные формулы и определения
  - 2.1. Кинематика
  - 2.2. Динамика
  - 2.3. Статистическая физика и термодинамика
  - 2.4. Электричество и магнетизм
  - 2.5. Колебательные и волновые процессы
  - 2.6. Оптика
  - 2.7. Элементы атомной физики и квантовой механики
- 3. Примеры решения задач
  - 3.1. Кинематика
  - 3.2. Динамика
  - 3.3. Статистическая физика и термодинамика
  - 3.4. Электричество и магнетизм
  - 3.5. Оптические процессы и физика атома
- 4. Контрольные задания**
  - 4.1. Задачи контрольных работ
  - 4.2. Варианты контрольных заданий
- 5. Приложения
  - 5.1. Табличные данные
  - 5.2. Образец выполнения контрольной работы
- Литература

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ФИЗИКИ

**ВВЕДЕНИЕ.** Физика как наука. Методы физического исследования. Связь физики с другими науками. Физика и техника. Физические модели. Единицы измерения и системы единиц.

### I ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

1. Предмет механики. Кинематика и динамика. Основные физические модели: материальная точка, система частиц, абсолютно твердое тело.

Кинематика поступательного и вращательного движения.

Система отсчета. Скорость и ускорение. Угловая скорость и угловое ускорение.

1. Элементы динамики

Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета. Принцип относительности Галилея. Преобразования Галилея. Масса. Сила. Уравнение движения. Третий закон Ньютона. Элементы релятивистской динамики.

2. Законы сохранения в механике.

Импульс. Закон сохранения импульса. Центр инерции. Реактивное движение. Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике.

3. Элементы механики твердого тела.

Момент инерции. Момент силы. Момент импульса. Закон сохранения момента импульса. Уравнения движения и равновесия твердого тела. Кинетическая энергия твердого тела, совершающего поступательное и вращательное движение.

4. Элементы механики сплошных сред.

Общие свойства газов и жидкостей. Кинематическое описание движения жидкости. Уравнения движения и равновесия жидкости. Идеальная жидкость. Уравнение Бернулли. Вязкая жидкость. Силы внутреннего трения. Стационарное течение вязкой жидкости. Упругие деформации и напряжения. Закон Гука. Пластические деформации.

### II СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамический и статистический методы.

1. Элементы молекулярной кинетической теории. Макроскопическое состояние. Параметры состояния. Тепловое равновесие. Понятие о температуре. Модель идеального газа. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы и законы, которым они подчиняются. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории. Средняя кинети-

ческая энергия частицы. Распределения Максвелла и Больцмана. Явления переноса. Диффузия. Теплопроводность. Вязкость. Элементы термодинамики. Работа, совершаемая системой при изменении объема. Внутренняя энергия. Внутренняя энергия и теплоемкость идеального газа. Адиабатический процесс. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Второе начало термодинамики. Теорема Нернста. Цикл Карно.

К.П.Д. тепловой машины.

2. Реальные газы. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

3. Жидкости. Поверхностные энергия и натяжение. Капиллярные явления.

4. Кристаллы.

Строение кристаллов. Дефекты в кристаллах. Теплоемкость кристаллов.

Фазы и условия равновесия фаз. Фазовые превращения.

### III ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

1. Электростатика. Закон Кулона. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции. Работа электрического поля. Потенциал и его связь с напряжённостью.

Проводники в электростатическом поле. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Конденсаторы. Ёмкость конденсатора. Энергия и плотность энергии электростатического поля.

2. Постоянный электрический ток.

Условия существования электрического тока. Законы Ома и Джоуля-Ленца. Сторонние силы. Э.Д.С. Закон Ома для замкнутой цепи и участка цепи, содержащего э.д.с. Правила Кирхгофа. Ток в полупроводниках.

3. Магнитное поле.

Магнитная индукция. Закон Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции для магнитного поля. Магнитное поле прямолинейного проводника с током. Сила Ампера. Сила Лоренца. Электромагнитная индукция. Правило Ленца. Явление самоиндукции. Энергия магнитного поля. Плотность энергии. Намагничивание вещества. Электромагнитное поле уравнения Максвелла.

### IV КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Общие представления о колебательных и волновых процессах. Единый подход к описанию колебаний и волн различной физической природы.

1. Колебательные процессы. Гармонические колебания. Амплитуда, частота, фаза колебаний. Маятники. Энергия гармонических ко-

лебаний. Сложение колебаний. Свободные затухающие колебания. Логарифмический декремент. Вынужденные колебания. Резонанс. Электромагнитные колебания. Колебательный контур. Вынужденные колебания в электрических цепях.

2. Волновые процессы. Волновое движение. Длина волны, фазовая скорость. Плоская волна. Уравнение волны. Электромагнитные волны. Свет.

3. Интерференция волн. Когерентность.

Получение когерентных световых волн и их интерференция. Интерферометры.

4. Дифракция волн. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракция Френеля. Дифракция Фраунгофера. Дифракционная решетка. Дифракция рентгеновских лучей.

5. Поляризация.

## V ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ И АТОМНОЙ ФИЗИКИ

Противоречия классической физики.

Фотоэлектрический эффект. Фотоны. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм. Гипотеза де Бройля.

Строение атома. Постулаты Бора. Линейчатые спектры атомов. Атомное ядро. Строение ядра. Ядерные реакции. Радиоактивные превращения ядер.

## ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Основной формой обучения студентов-заочников является самостоятельная работа над учебным материалом. Процесс изучения физики должен включать следующие этапы: проработка установочных и обзорных лекций, самостоятельное изучение материала по учебникам и учебным пособиям, выполнение лабораторного практикума, решение задач контрольной работы, сдача зачётов и экзаменов.

При самостоятельном изучении материала следует делать конспект, включающий определения основных физических понятий, сущность физических явлений, физические законы и формулы, выражающие эти законы.

При изучении физики студент выполняет одну контрольную работу. Номера задач, которые студент должен включить в контрольную работу определяются по таблице, приведенной в конце пособия. Вариант контрольных работ выбирается по двум последним цифрам зачётной книжки студента.

Контрольные работы выполняются в школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения по следующему образцу:

Министерство сельского хозяйства РФ  
Брянский государственный аграрный университет  
Кафедра математики, физики и информатики

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА  
по физике с основами биофизики

Выполнил: студент группы ЗВ -811

Иванов И.И. Шифр: 06114

Проверил: Кравцов П.И.

Брянская область 2015 г.

Условия задач в контрольной работе переписывают полностью без сокращений. Затем даётся краткая запись условия задачи «углом», в которых записываются также недостающие данные (берутся из таблиц), все величины записываются в единицах одной системы, преимущественно, системы СИ. Решение задачи даётся вначале в общем виде, при этом решение сопровождается краткими, но исчерпывающими пояснениями, при необходимости делается чертёж. После получения расчётной формулы надо произвести проверку размерности, подставив в правую часть формулы единицы измерения соответствующих

величин, провести над ними необходимые действия и убедиться, что полученная при этом единица измерения соответствует искомой величине. Далее проводят вычисления, при этом числовые значения удобнее записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 5840 надо записать  $5,84 \cdot 10^3$ , вместо 0,00124 записать  $1,24 \cdot 10^{-3}$  и т. п. Вычисления по расчётной формуле надо проводить с соблюдением правил приближённых вычислений. В конце решения записывается ответ. Для замечания преподавателя на страницах тетради следует оставлять поля. В конце контрольной работы указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.

Контрольная работа, признанная рецензентом удовлетворительной, хорошей или отличной оценивается словом «зачтено». Работа, признанная рецензентом неудовлетворительной оценивается словом «не зачтено». Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решения которых оказались неверными. Повторную работу необходимо представить вместе с незачтённой. Если выполнен не свой вариант или не по действующим методическим указаниям, то она возвращается студенту без рецензирования. Студент должен быть готов дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы. Если при собеседовании по контрольной работе установлено, что работа выполнена не самостоятельно, то работа не зачитывается.

## ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ (системы интернациональной)

Величина		Единица	Связь с внесистемными единицами СИ
Наименование	обозначение		
Длина	l	Метр (м)	$1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$ $1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$
Масса	m	Килограмм (кг)	$1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$ $1 \text{ ц} = 10^2 \text{ кг}$ $1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$
Время	t	Секунда (с)	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$ $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$
Термодинамическая температура	T	Кельвин (К)	$\Delta t^{\circ} \text{C} = \Delta T \text{ К}$ $T \text{ К} = t^{\circ} \text{C} + 273^{\circ}$
Сила тока	I	Ампер (А)	
Сила света	I	Кандела (кд).	
Количество вещества	v	моль	$1 \text{ кмоль} = 10^3 \text{ моль}$



# 1. Математический аппарат физики

## 1.1. Основные правила перевода единиц

1. Перевести  $1 \text{ мм}^2$ ,  $1 \text{ см}^2$  и  $1 \text{ дм}^2$  в  $\text{м}^2$ .

Зная, что  $1 \text{ м} = 10^3 \text{ мм}$  и  $1 \text{ мм} = \frac{1}{10^3} \text{ м} = 10^{-3} \text{ м}$ , тогда  $1 \text{ мм}^2 = (10^{-3})^2 \text{ м}^2 = 10^{-6} \text{ м}^2$ .

$1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$ , тогда  $1 \text{ см}^2 = (10^{-2})^2 \text{ м}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$ .

$1 \text{ дм} = 10^{-1} \text{ м}$ , тогда  $1 \text{ дм}^2 = (10^{-1})^2 \text{ м}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$

2. Перевести скорость  $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$  и  $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , в  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Зная, что  $1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$ , тогда  $\frac{\text{м}}{\text{мин}} = \frac{1}{60} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Зная, что  $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$  и  $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ ,  $1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1000}{3600} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$

## 1.2. Таблица производных некоторых функций

Функция	Производная	Функция	Производная
$C = \text{const}$	0	$\sin x$	$\cos x$
$x^n$	$n x^{n-1}$	$\cos x$	$-\sin x$
$a^x$	$a^x \ln a$	$\text{tg } x$	$\frac{1}{\cos^2 x}$
$e^x$	$e^x$	$\text{ctg } x$	$-\frac{1}{\sin^2 x}$
$\ln x$	$\frac{1}{x}$		

## 1.3. Таблица первообразных некоторых функций

Функция	Первообразная	Функция	Первообразная
$C = \text{const}$	$x C + C_1$		
$x^n$	$\frac{x^{n+1}}{n+1} + C$	$\sin x$	$-\cos x + C$
$a^x$	$\frac{a^x}{\ln a} + C$	$\cos x$	$\sin x + C$
$e^x$	$e^x + C$	$\text{tg } x$	$-\ln  \cos x  + C$
		$\text{ctg } x$	$\ln  \sin x  + C$

#### 1.4. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц:

множитель	Приставка		
	Наименование	Обозначение	
		Русское	Международное
$10^{18}$	экса	Э	E
$10^{15}$	пета	П	P
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гига	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кило	к	k
$10^2$	гекто	г	h
$10^1$	дека	да	da
$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	милли	м	m
$10^{-6}$	микро	мк	$\mu$
$10^{-9}$	нано	н	n
$10^{-12}$	пико	п	p
$10^{-15}$	фемто	ф	f
$10^{-18}$	атто	а	a

#### 1.5. Дифференциальное и интегральное исчисления в физике

В физике различают дифференциал аргумента  $dt$  и произвольное конечное приращение аргумента  $\Delta t$ . Под дифференциалом аргумента понимают столь малое его приращение, чтобы можно было пренебречь разностью между соответствующими значениями приращения функции.

Движение любого тела всегда неравномерно. Например, автомобиль проехал  $s = 10$  км и необходимо вычислить его скорость на каком – либо участке. Для этого выбирают бесконечно малый участок  $ds$  (допустим 1 см), на котором изменением скорости можно пренебречь и тогда движение на этом участке можно считать равномерным. Получили определение скорости  $\frac{ds}{dt}$

как производную пути по времени.

Если дифференциальное исчисление связано с разбиением на отдельные элементы, то интегрирование связано с суммированием элементов. Например, известно, что работа постоянной силы - это скалярное произведение вектора силы на вектор перемещения. Но это всего лишь идеализация процесса.

А как быть с работой переменной силы?

Необходимо разбить перемещения на элементарные участки  $ds$ , на которых сила постоянна, тогда работа на элементарном участке  $dA = F ds$ . Полная работа равна сумме элементарных работ на всем участке

$$A = \int_{s_1}^{s_2} dA = \int_{s_1}^{s_2} F \cdot ds .$$

### 1.6. Порядок решения физических задач

I. Установить, какие физические законы отвечают содержанию данной задачи;

II. записать кратко данные задачи слева «уголком»

III. выразить все данные задачи в СИ;

IV. сделать чертеж, схему или рисунок с обозначением данных задачи (в зависимости от условий задачи);

V. решить задачу в общем виде (получить «рабочую формулу»), т.е. выразить искомую величину через заданные параметры в задаче;

VI. произвести вычисления;

VII. провести анализ размерностей, подставив в «рабочую формулу» размерности исходных величин и получить размерность искомой величины.

## 2. Основные расчётные формулы и определения

### 2.1. Кинематика

#### 2.1.1. Определения

**Механическое движение** – процесс изменение взаимного расположения тел в пространстве.

**Траектория** – линия, по которой движется точка.

**Путь** – длина траектории.

**Перемещение** – вектор, соединяющий начальное и конечное положение тела.

**Поступательное движение** – движение, при котором все точки тела описывают конгруэнтные (равные с точностью до наложения) траектории.

**Вращательное движение** – движение, при котором все точки данного тела движутся по окружности за исключением точек, лежащих на прямой, называемой осью вращения.

**Колебательное движение** – движение, характеризующееся той или иной степенью повторяемости.

**Механическая система** – совокупность тел участвующих в механическом воздействии.

**Материальная точка** – тело размерами, которого можно пренебречь в данной задаче.

**Абсолютно твёрдое тело** – модель реального тела, у которого расстояние между любыми двумя точками неизменно.

**Тело отсчёта** – тело, относительно которого рассматривается движение других тел.

**Система отсчёта** – совокупность системы координат, системы отсчета времени и тела отсчёта.

### 2.1.2. Прямолинейное движение

Характер движения	Основные расчётные формулы
<p><b>Равномерное движение</b> За любые равные промежутки времени тело проходит одинаковые отрезки пути. Скорость неизменна</p>	<p>Векторное задание движения: скорость <math>\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}</math> - отношение перемещения к промежутку времени за, который это перемещение совершалось</p> <p>Координатное задание движение: скорость <math>v_x = \frac{x_2 - x_1}{t}</math> - отношение изменения координаты тела за промежуток времени к его продолжительности. Изменение координаты при равномерном движении: <math>x = \pm x_0 \pm v \cdot t</math>. Знак <math>\pm</math> зависит от начальной координаты тела и проекции скорости на ось.</p>
<p><b>Равнопеременное движение</b> За любые равные промежутки времени скорость тела изменяется на одну и ту же величину.</p> <p><b>Равноускоренное</b> – скорость возрастает и равнозамедленное – скорость убывает.</p>	<p>Векторное задание движения: ускорение <math>\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}</math> - отношение изменения скорости к промежутку времени за которое это изменение происходит.</p> <p><math>\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t</math> - изменение скорости тела.</p> <p><math>\vec{s} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2}</math> - перемещение при равнопеременном движении.</p> <p><math>v_{cp} = \frac{\vec{s}}{t}</math> - средняя скорость</p> <p>Координатное задание движения: <math>a_x = \frac{v_{2x} - v_{1x}}{\Delta t}</math> - ускорение.</p>

	<p><math>x = \pm x_0 \pm v_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2}</math> - изменение координаты с течением времени, знак <math>\pm</math> зависит от выбора начальной координаты тела и проекций скорости и ускорения.</p> <p><math>s_x = \frac{v^2_x - v^2_{0x}}{2 \cdot a_x}</math> - проекция перемещения.</p> <p><math>v_{cp} = \frac{v_x + v_{0x}}{2}</math> - средняя скорость при равнопеременном движении.</p> <p><math>v_x = v_{0x} + a_x \cdot t</math> - изменение скорости при равнопеременном движении.</p>
<p><i>Неравномерное движение</i> За любые равные промежутки времени тело проходит разные отрезки пути.</p>	<p>Координатное задание движения.</p> <p>Мгновенная скорость: <math>v_x = \frac{ds_x}{dt}</math></p> <p>Мгновенное ускорение: <math>a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2s_x}{dt^2}</math> - первая производная от скорости или вторая производная от пути по времени.</p> <p>Модуль мгновенной скорости находится следующим образом: <math>v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}</math>, где</p> <p><math>v_x = \frac{dx}{dt}</math> и <math>v_y = \frac{dy}{dt}</math> и <math>x, y</math> – соответствующие координаты, зависящие от времени.</p> <p>Средняя скорость: <math>v_{cp} = \frac{s}{t}</math>, где <math>s</math> – путь.</p> <p>Зная ускорение, можно найти скорость <math>v = \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt</math>.</p> <p>Зная скорость, можно найти путь <math>s(t) = \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dt</math>, где <math>s(t)</math> – уравнение движения.</p>

### 2.1.3. Кинематика вращательного движения

Характер движения	Основные расчетные формулы
<p><b>Вращательное</b> Угловая скорость неизменна.</p>	<p>Угловая скорость <math>\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}</math> по модулю равна отношению угла поворота к промежутку времени, за который этот поворот совершается.</p> <p><math>a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R</math> - нормальное или центростремительное ускорение.</p> <p><math>v = \omega \cdot R</math> - связь линейной и угловой скорости.</p> <p><math>\omega = 2\pi \cdot n</math> - связь угловой скорости и частоты вращения.</p>
<p><b>Равнопеременное</b> За равные промежутки времени угловая скорость изменяется на одну и ту же величину.</p>	<p>Угловое ускорение <math>\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}</math> по модулю равно отношению изменения угловой скорости к промежутку времени, за который это изменение происходит.</p> <p><math>\omega = \pm\omega_0 \pm \varepsilon \cdot t</math> - изменение угловой скорости. Знаки зависят от типа равнопеременного движения (равноускоренное или равнозамедленное).</p> <p><math>\varphi = \pm\omega_0 \cdot t \pm \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}</math> - изменение угла поворота с течением времени.</p> <p><math>\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{\pm 2 \cdot \varepsilon}</math> - зависимость угла поворота от угловых скоростей и ускорения.</p> <p><math>v = \omega \cdot R</math> - связь линейной и угловой скорости.</p>
<p><b>Переменное</b></p>	<p><math>\omega = \frac{d\varphi}{dt}</math> - угловая скорость есть первая производная от угла поворота по времени.</p> <p><math>\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}</math> - угловое ускорение есть первая производная от угловой скорости или вторая производная от угла поворота.</p> <p><math>a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 \cdot R</math> - нормальное ускорение.</p>

	$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \varepsilon \cdot R$ - тангенциальное ускорение. $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$ - полное ускорение.
--	---

## 2.2. Динамика

### 2.2.1. Движение под действием силы тяжести. Сложное движение

Характер движения	Основные расчетные формулы				
Движение тела брошенного вертикально с начальной скоростью $v_0$	$h = h_0 \pm v_0 \cdot t \pm \frac{g \cdot t^2}{2}$ - изменение координаты тела с течением времени. Знак зависит от проекции скорости и ускорения свободного падения $g$ на ось $OY$ . $v = \pm v_0 \pm g \cdot t$ - изменение скорости с течением времени. Знак зависит от проекции скорости и ускорения свободного падения $g$ на ось $OY$ .				
Движение тела брошенного горизонтально с начальной скоростью $v_0$	Данное движение сложное. Раскладываем на два движения:				
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="width: 50%;">Движения по оси <math>OX</math> (горизонтали)</th> <th style="width: 50%;">Движение по оси <math>OY</math> (вертикали)</th> </tr> <tr> <td> <math>v_0 = const</math> - движение равномерное  <math>s = v_0 \cdot t</math> - путь, пройденный по горизонтали </td> <td>           Движение равноускоренное без начальной скорости, т.е. начальной скорости на данную ось равна нулю.  <math>g = 9,8 \frac{м}{с^2}</math>  <math>h = \frac{g \cdot t^2}{2}</math> - высота падения.  <math>v = g \cdot t</math> - изменение скорости по вертикали. </td> </tr> </table>	Движения по оси $OX$ (горизонтали)	Движение по оси $OY$ (вертикали)	$v_0 = const$ - движение равномерное $s = v_0 \cdot t$ - путь, пройденный по горизонтали	Движение равноускоренное без начальной скорости, т.е. начальной скорости на данную ось равна нулю. $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$ $h = \frac{g \cdot t^2}{2}$ - высота падения. $v = g \cdot t$ - изменение скорости по вертикали.
	Движения по оси $OX$ (горизонтали)	Движение по оси $OY$ (вертикали)			
$v_0 = const$ - движение равномерное $s = v_0 \cdot t$ - путь, пройденный по горизонтали	Движение равноускоренное без начальной скорости, т.е. начальной скорости на данную ось равна нулю. $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$ $h = \frac{g \cdot t^2}{2}$ - высота падения. $v = g \cdot t$ - изменение скорости по вертикали.				
Результирующая скорость: $v = \sqrt{v_0^2 + g^2 \cdot t^2}$					

<p>Движение тела брошенного под углом к горизонту с начальной скоростью <math>v_0</math></p>	<p>Данное движение сложное. Раскладываем на два движения:</p>	
	<p>Движение по оси ОХ (горизонтально)</p>	<p>Движение по оси ОУ (вертикали). Ось направлена вертикально вверх.</p>
	<p>Проекция начальной скорости  <math>v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha = \text{const}</math>          скорость неизменна  <math>s = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot T</math>          - путь, пройденный телом по горизонтали</p>	<p>Проекция начальной скорости  <math>v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha</math>          Максимальная высота подъёма:  <math display="block">h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} =</math> <math display="block">= \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 \cdot g}</math> <math display="block">v_y = v_0 \cdot \sin \alpha - g \cdot t</math>         - изменение скорости по оси  <math display="block">t = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}</math>         - время подъёма на максимальную высоту.</p>
<p>Связь времени движения по горизонтали и вертикали:  <math>T = 2 \cdot t</math>, время полета = 2t подъема</p>		

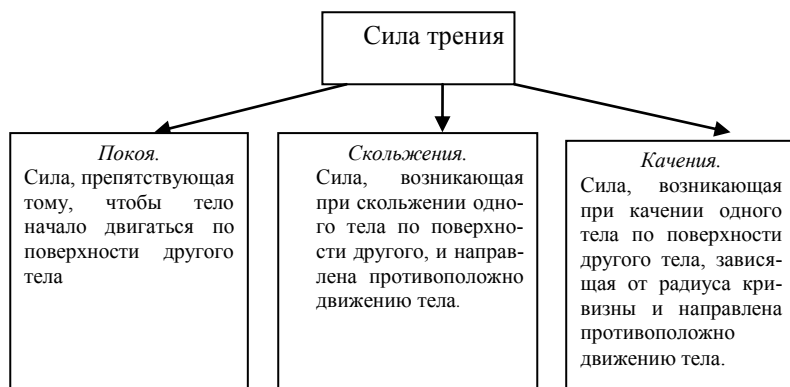


## 2.2.2. Динамика поступательного движения

**Сила** – физическая величина, характеризующая воздействие одного тела на другое тело (единица измерения - Ньютон -1Н).

Законы	Формулировка	Математическая запись
Первый закон Ньютона	Существуют такие системы отсчета, относительно которых, всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано.	$\sum \vec{F}_i = 0 \Rightarrow v = const$
Второй закон Ньютона	1.Равнодействующая(геометрическая сумма всех сил) сила равна произведению массы тела на ускорение. 2. Скорость изменения импульса (произведение массы тела на его скорость) тела равна равнодействующей всех сил действующих на данное тело.	1. $\sum \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}$ 2. $\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}_i$
Третий закон Ньютона	Два тела взаимодействуют друг с другом силами равными по модулю, но противоположными по направлению и направлены по линии, соединяющие их центры масс. Примечание: равнодействующую сил приложенную к разным телам находить нельзя.	$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$
Закон всемирного тяготения	Сила гравитационного взаимодействия(притяжения) действующая между двумя телами по модулю прямо пропорционально массам тел и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними.	$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ $\frac{H \cdot M^2}{K^2^2}$ - гравитационная постоянная.
Закон Гука	1.Сила упругой деформации прямо пропорциональна вектору деформации (вектору смещения частиц) и направлена в противоположную сторону. 2. Механическое напряжение, возникающее в образце (теле) прямо пропорциональна относительной деформации.	1. $\vec{F}_{yup} = -k \cdot \Delta \vec{x}$ $F_{yup} = k \cdot \Delta l$ 2. $\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta l}{l}$ , где $\sigma = \frac{F_{yup}}{S}$ - механическое напряжение. E – модуль Юнга.

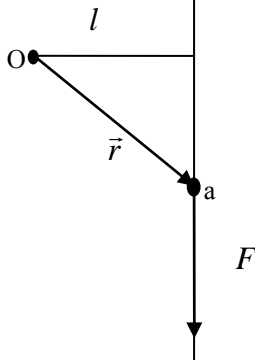
**Сила трения** – сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого тела, препятствующая этому движению.



Сила трения по модулю прямо пропорциональна силе нормального давления  $F_{тр} = \mu \cdot N$ ,  $\mu$  - коэффициент трения.  $N$  – Сила реакции опоры.

### 2.2.3. Динамика вращательного движения

Величина	Определения, законы и расчетные формулы
Момент силы. Единица измерения (Н·м).	<p><b>Момент силы</b> относительно точки – векторное произведение радиус вектора, проведенного в точку приложения силы, на вектор силы. <math>\vec{M} = [\vec{r} \times \vec{F}]</math></p> <p>Момент силы относительно точки по модулю равен произведению силы на плечо силы. Плечо силы - кратчайшее расстояние от точки, относительно которой находится момент до линии действия силы. <math>M = F \cdot l</math></p>



Основной закон динамики вращательного движения:

$\sum \vec{M} = I \cdot \vec{\varepsilon}$  - сумма моментов всех внешних сил действующих на систему равна произведению момента инерции системы на угловое ускорение.

Направление момента силы находят по правилу буравчика: Если вращательное движение совпадает с направлением силы, то поступательное движение укажет направление момента силы.

Момент инерции  
Единица измерения  
(кг·м<sup>2</sup>)

Момент инерции материальной точки относительно оси вращения называется произведение массы материальной точки на квадрат расстояния до оси вращения.  $I = m \cdot R^2$ .

Момент инерции тела – сумма моментов инерций всех материальных точек данного тела.  $I = \sum_{i=1}^n m_i \cdot R_i^2$

Момент инерции различных тел, относительно оси проходящей через центр масс тела.

Тело	Момент инерции
шар	$I = \frac{2}{5} \cdot m \cdot R^2$
диск(цилиндр)	$I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot R^2$
обруч	$I = m \cdot R^2$

	<p>стержень</p> $I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot R^2$ <p><i>Теорема Штейнера:</i> момент инерции тела относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси проходящей через центр масс и параллельной данной и произведения массы на квадрат расстояния между осями.</p> $I_o = I_C + m \cdot d^2$
Момент импульса Единица измерения (кг· м <sup>2</sup> /с)	Момент импульса равен произведению момента инерции на угловую скорость. $\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$

*Энергия* – количественная мера всех видов движения тела. Единица измерения - Джоуль (Дж).

Энергия	Определение, формулы и законы.
кинетическая	$W_{кп} = \frac{m \cdot v^2}{2}$ - кинетическая энергия поступательно движущегося тела. $W_{квп} = \frac{I \cdot \omega^2}{2}$ - кинетическая энергия при вращательном движении тела. Если тело участвует в поступательном и вращательном движении (например, катится колесо), то кинетическая энергия рассчитывается по следующей формуле: $W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2}$ - теорема Кёнига. <i>Теорема о кинетической энергии:</i> Работа силы равна изменению кинетической энергии тела: $A = \Delta W_k$

потенци- альная	<p>Энергия взаимодействия тела с другими телами и равна работе, которую нужно совершить, чтобы переместить тела в точку, где его потенциальная энергия равна нулю.</p> $W_n = m \cdot g \cdot h$ <p>Работа консервативных(работа, которых по замкнутому контуру равна нулю) сил есть убыль потенциальной энергии <math>A = -\Delta W_n</math></p>
Полная механиче- ская	<p>Сумма кинетической и потенциальной энергии</p> $W_m = W_k + W_n$
Внутрен- няя	<p>Энергия состояния тела и равна энергии, которым обладает тело за вычетом кинетической энергии движения тела как целого и потенциальной энергии взаимодействия как целого.</p>

#### 2.2.4. Законы сохранения в механике

Закон сохранения	Формулировка
импульса	<p>Геометрическая сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, есть величина постоянная. <math>\sum_{i=1}^n p_i = \sum_{i=1}^n m_i \cdot v_i = const</math></p> <p>Удар – кратковременное взаимодействие двух тел.</p> <p>Абсолютно упругий удар – удар, при котором не происходит перехода механической энергии в другие виды энергии. Выполняются два условия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Сохраняется импульс</li> <li>• Сохраняется энергия</li> </ul> <p>Абсолютно неупругий удар – удар, при котором тела после взаимодействия движутся в одном направлении с одинаковой скоростью, при этом происходит переход механической энергии в другие виды энергии.</p>

Момент импульса	Геометрическая сумма моментов импульсов тел, составляющих замкнутую систему, есть величина постоянная. $\sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n I_i \cdot \omega_i = const$
энергии	Полная механическая энергия замкнутой системы тел есть величина постоянная, если внутри системы действуют консервативные силы. $W_M = W_K + W_n = const$

*Работа* – процесс изменения энергии, измеряется в Джоулях (Дж).

*Мощность* – скорость совершения работы, т.е. работа в единицу времени. Единица измерения Ватт (Вт).

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v$$

- средняя мощность при поступательном движении.

$$N = \frac{dA}{dt}$$

- мгновенная мощность.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v = F \cdot \omega \cdot R = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi \cdot n$$

- мощность при вращательном движении.

Сила	Работа
Постоянная	$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$ - произведение модуля силы на модуль перемещения и на косинус угла между векторами силы и перемещения.
Переменная	$A = \int_{s_1}^{s_2} F \cdot \cos \alpha \cdot ds$ - работа переменной силы на участке перемещения равна сумме элементарных работ (произведение проекции силы на направления перемещения на элементарное перемещение, вдоль которого сила постоянна) Работа при вращательном движении $A = \int M \cdot d\varphi$ , где М – момент силы, φ- угол поворота тела.
Неконсервативная	$A = \Delta W_M$ - работа неконсервативной силы равна изменению полной механической энергии.

### 2.2.5. Коэффициент полезного действия (к.п.д.)

$\eta = \frac{A_n}{A_c} \cdot 100\%$  - отношение полезной работы к совершённой

работе (полной работе). К.п.д. механизма удобно выразить через мощность, как отношение мощности снимаемого с механизма  $N_2$  к мощности потребляемой механизмом  $N_1$ .  $\eta = \frac{N_2}{N_1} \cdot 100\%$

Например, в двигателе внутреннего сгорания мощность газов, развиваемая в цилиндре, называется индикаторной мощностью, а мощность, снимаемая с коленчатого вала – эффективная мощность.

Любая установка состоит из механизмов, имеющих различные к.п.д., тогда к.п.д. всей установки равен произведению к.п.д. каждого механизма  $\eta_{уст} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$ .

*Пример:* Определить к.п.д. установки состоящей из электродвигателя, приводящего в действие насос, если к.п.д. двигателя и насоса соответственно 90% и 70%.

*Решение:* Пусть  $N_1$  – мощность, потребляемая электродвигателем, тогда  $\eta_1 \cdot N_1$  – мощность, снимаемая с электродвигателя и передаваемая насосу. Следовательно, мощность, снимаемая с насоса  $\eta_2 \cdot \eta_1 \cdot N_1$ . Тогда к.п.д. всей установки выразится как отношение мощности снимаемой с установки (в данном случае с насоса) к мощности потребляемой установкой (в данном случае электродвигателем)  $\eta_{уст} = \frac{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot N_1}{N_1} = \eta_1 \cdot \eta_2 = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63$  или 63%.

### 2.2.6. Механика жидкостей и газов

Величина	Определения, законы и уравнения
Давление. Единица измерения - Паскаль (Па).	<p>Давление <math>p = \frac{F}{S}</math> - отношение силы, действующей перпендикулярно поверхности, площадью <math>S</math>, к площади этой поверхности. Давление характеризует распределение силы вдоль поверхности.</p> <p>Давление столба жидкости или газа: <math>p = \frac{F}{S} = \frac{m \cdot g}{S}</math> и</p>

используя понятие плотности, как  $\rho = \frac{m}{V}$  - отношение массы тела к его объёму, получаем  $p = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{S} = \frac{\rho \cdot S \cdot h \cdot g}{S} = \rho \cdot g \cdot h$  - давление столба жидкости или газа зависит от плотности вещества и высоты столба.

**Закон Паскаля:** Давление покоящейся жидкости или газа одинаково по всем направлениям и передается без изменений в каждую точку объема жидкости или газа.

Закон Паскаля в частности, объясняет принцип действия гидравлического пресса. Гидравлический пресс состоит из двух цилиндров разного диаметра, снабженных поршнями и соединительной трубкой. Пространство пол поршнями и трубка заполняется жидкостью. Если пренебречь весом жидкости, то давление в каждой точке одинаково и тогда выполняется следующее условие:

$$p = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

тем самым можно преобразовывать силу, которая будет зависеть от площади поршня. Чем больше сечение, тем большая сила.

**Закон Бернулли:** Скорость жидкости или газа, текущей по трубе, больше там, где давление меньше и наоборот: давление больше там, где скорость жидкости меньше.

**Уравнение Бернулли:** 
$$p_{cm} + \frac{\rho \cdot v^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h = const$$
 -

сумма статического, динамического и гидростатического давления жидкости или газа одинаково. Выражает закон сохранения энергии.

**Уравнение неразрывности струи:**  $S \cdot v = const$  - произведение площади поперечного сечения на скорость жидкости или газа при этом сечении есть величина постоянная. Выражает закон сохранения массы вещества и показывает удельный расход жидкости.

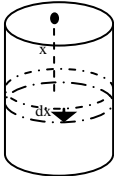
Сила сопротивления, которую испытывает падающий в вязкой жидкости (или в газе) шарик, определяется формулой Стокса

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где  $\eta$  — коэффициент внутреннего трения жидкости или газа (динамическая вязкость),  $r$  — радиус шарика,  $v$  — его скорость. Закон Стокса имеет место только для ламинарного движения. При ламинарном движении объем



	<p>жидкости (газа), протекающей за время <math>t</math> через капиллярную трубку радиусом <math>r</math> и длиной <math>l</math>, определяется формулой Пуазейля</p> $V = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8l\eta}, \text{ где } \eta \text{ — динамическая вязкость жидкости}$ <p>(газа), <math>\Delta p</math> — разность давлений на концах трубки. Характер движения жидкости (газа) определяется безразмерным числом Рейнольдса</p> $Re = \frac{Dv\rho}{\eta} = \frac{Dv}{\nu}$ <p>где <math>D</math> — величина, характеризующая линейные размеры тела, обтекаемого жидкостью (газом), <math>v</math> — скорость течения, <math>\rho</math> — плотность, <math>\eta</math> — динамическая вязкость. Отношение <math>\nu = \eta/\rho</math> называется кинематической вязкостью. Критическое значение числа Рейнольдса, определяющее переход от ламинарного движения к турбулентному, различно для тел разной формы.</p>
Сила Архимеда	<p><b>Закон Архимеда:</b> На погруженное в жидкость или газ тело, действует выталкивающая сила направленная вертикально вверх и равная по модулю весу вытесненной жидкости или газа, т.е. весу жидкости в объеме погруженной в жидкость(газ) части тела.</p> $F_A = \rho_{жс} \cdot g \cdot V, \text{ где } \rho \text{ — плотность жидкости(газа) в которую погружено тело, } V \text{ — объем части тела или всего тела погруженного в жидкость(газ).}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Тело тонет в жидкости, если вес тела больше веса вытесненной жидкости.</li> <li>• Тело находится в равновесии внутри жидкости, если вес тела равен весу вытесненной жидкости.</li> <li>• Тело плавает на поверхности, если вес тела меньше веса вытесненной жидкости при полном погружении тела и равен весу жидкости вытесняемой частью тела погруженной в жидкость.</li> </ul> <p>Пример: Бревно плавает на поверхности воды при этом объем погруженной части, составляет половину объем бревна. Определить плотность бревна. Решение: Используя условие, того, вес жидкости, вытесняемый погруженной частью объема бревна, равен весу тела.</p> $m \cdot g = \rho_e \cdot g \cdot \frac{V}{2}$ <p><math>\rho \cdot V \cdot g = \rho_e \cdot g \cdot \frac{V}{2}</math> производя сокращения, получаем:</p>

	$\rho = \rho_0 \cdot \frac{1}{2} = 1000 \cdot \frac{1}{2} = 500 \left( \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$
<p>Работа по подъёму жидкости</p>	<p>Необходимо выкачать воду из цилиндрической ямы с радиусом основания R и высотой h.</p> <p>Решение: В данном случае жидкость выкачивается не вся сразу, а по частям, причём высота подъёма слоев жидкости разная.</p> <p>Для решения данной задачи разобьём цилиндр плоскостями, параллельными его основанию, на тонкие слои и выделив на высоте x слой толщиной dx и объёмом dV.</p>  <p>Объём цилиндрического слоя жидкости</p> $dV = S \cdot dx = \pi \cdot R^2 \cdot dx$ <p>Работа по подъёму данного слоя жидкости</p> $dA = dm \cdot g \cdot x, \text{ где}$ $dm = \rho \cdot dV = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot dx, \text{ тогда}$ $dA = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot x \cdot dx \quad (*)$ <p>При последовательном поднятии каждого слоя, начиная с первого и кончая последним, совершается работа определяемая равенством (*). При этом величина x лежит в пределах от 0 до h. Работа необходимая для поднятия всей жидкости выразится формулой</p> $A = \int_0^h \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot x \cdot dx = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \int_0^h x \cdot dx =$ $= \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot \frac{x^2}{2} \Big _0^h = \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot g \cdot \frac{h^2}{2}$

## 2.3. Статистическая физика и термодинамика

### 2.3.1. Молекулярная физика

Законы и величины	Формулировки и расчётные формулы
Основные положения МКТ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все вещества состоят из частиц (молекул, атомов, и других частиц).</li> <li>• Молекулы хаотически движутся.</li> <li>• Между частицами действуют силы межмолекулярного взаимодействия и природа этих сил электромагнитная.</li> <li>• Между температурой и скоростью движения частиц существует однозначная связь. При взаимодействии частиц выполняется закон сохранения импульса и энергии.</li> </ul>
Основное уравнение МКТ	<p>Давление газа обусловлено импульсами молекул</p> $p = \frac{2}{3} \cdot n_0 \cdot \bar{E}_k$ <p>- давление газа прямо пропорционально концентрации молекул (число молекул в единице объема) и средней кинетической энергии поступательного движения молекул.</p>
Энергия движения молекул	$\bar{E}_k = \frac{m \cdot \bar{v}_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T$ <p>- средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа связана с температурой термодинамической температурой, где <math>k=1,38 \cdot 10^{-23}</math> Дж/К – постоянная Больцмана.</p> <p>Давление газа можно выразить из следующего соотношения:</p> $p = n_0 \cdot k \cdot T$
Количество теплоты, внутренняя энергия	<p>Внутренняя энергия – сумма кинетической и потенциальной энергии всех частиц вещества: <math>U = c \cdot m \cdot T</math>, где <math>c</math> – удельная теплоемкость вещества, т.е. энергия которую необходимо сообщить единице массы вещества, чтобы изменить его температуру на один градус.</p> <p>Мера(в одном из случаев) изменения внутренней энергии называется количеством теплоты. Иначе можно сказать, что количество теплоты – энергия переданная в результате теплообмена</p> $Q = \Delta U = c \cdot m \cdot \Delta T$ <p>Удельная теплота парообразования или конденсации- <math>r = \frac{Q}{m}</math> - количество теплоты, которое сообщается(выделяется) единице массы жидкости(газа), чтобы перевести ее в газообразное состояние(жидкое состояние).</p> <p>Удельная теплота плавления или кристаллизации <math>\lambda = \frac{Q}{m}</math> - количество теплоты, которое сообщается (выделяется) единице массы твёрдого тела(жидкости), чтобы её перевести в жидкое состояние (твёрдое состояние).</p> <p>Удельная теплота сгорания вещества: <math>q = \frac{Q}{m}</math> - численно равно</p>

количеству теплоты, которое выделяется при сгорании единицы массы вещества.

Масса  $m$ , перенесенная за время  $\Delta t$  при диффузии, определяется уравнением  $m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t$ , где  $\Delta \rho / \Delta x$  — градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке  $\Delta S$ ,  $D$  — коэффициент диффузии, равный  $D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$ .

Здесь  $\bar{v}$  — средняя арифметическая скорость,  $\bar{\lambda}$ , — средняя длина свободного пробега молекул. Количество движения, перенесенное газом за время  $\Delta t$ , определяет силу внутреннего трения  $F$  в газе:

$$F = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S$$

где  $\Delta v / \Delta x$  — градиент скорости течения газа в направлении, перпендикулярном площадке  $\Delta S$ ,  $\eta$  — коэффициент внутреннего трения (динамическая вязкость), равный

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho$$

Количество теплоты  $Q$ , перенесенное за время  $\Delta t$  в результате теплопроводности, равно  $Q = -K \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t$  где  $K$  — коэффициент теплопроводности, равный:  $K = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} c_v \rho$ .

$\Delta T / \Delta x$  — градиент температуры,

Первое начало термодинамики может быть записано в виде  $dQ = dW + dA$ ,

где  $dQ$  — количество теплоты, полученное газом,  $dW$  — изменение внутренней энергии газа и  $dA = p dV$  — работа, совершаемая газом при изменении его объема. Изменение внутренней энергии газа

$$dW = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT,$$

где  $dT$  — изменение температуры. Полная работа при изменении объема газа

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV.$$

Работа, совершаемая при изотермическом изменении объема газа,

$$A_{из} = RT \frac{m}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Давление газа и его объём связаны при адиабатическом процессе уравнением Пуассона:

$$pV^\chi = const, \text{ т. е. } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^\chi,$$

где показатель адиабаты  $\chi = C_p / C_v$ .

Уравнение Пуассона может быть записано ещё в таком виде:

$$TV^{\chi-1} = const, \text{ т. е. } \frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\chi-1} \text{ или } Tp^{(1-\chi)/\chi} = const, \text{ т. е.}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{(\chi-1)/\chi} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{(1-\chi)/\chi}.$$

Работа, совершаемая при адиабатическом изменении объёма газа, может быть найдена по формуле

$$A_{ад} = \frac{RT_1}{\chi-1} \frac{m}{\mu} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\chi-1} \right] = \frac{RT_1}{\chi-1} \frac{m}{\mu} \left( 1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{p_1 V_1 (T_1 - T_2)}{(\chi-1)T_1},$$

где  $p_1$  и  $V_1$  — давление и объём газа при температуре  $T_1$ . Уравнение политропического процесса имеет вид

$$pV^n = const, \text{ или } p_1 V_1^n = p_2 V_2^n,$$

где  $n$  — показатель политропы ( $1 < n < \chi$ ).

Коэффициент полезного действия тепловой машины

где  $Q_1$  — количество теплоты, переданное рабочему телу, и  $Q_2$  — количество теплоты, отданное холодильнику. Для идеального цикла Карно где  $T_1$  — температура нагревателя,  $T_2$  — температура холодильника.

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

Разность энтропии  $S_B - S_A$  двух состояний  $B$  и  $A$  определяется формулой

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

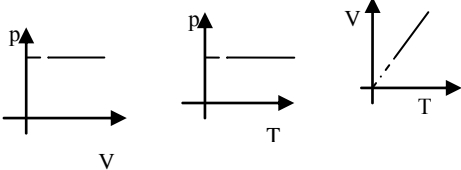
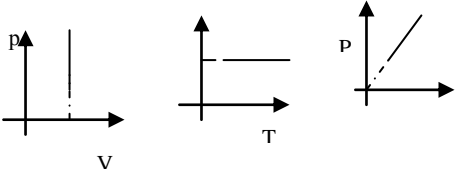
	<p>Уравнение теплового баланса выражает закон сохранения энергии: <math>\sum Q_{отд} = \sum Q_{пол}</math> - сумма количеств теплоты, в результате теплообмена, отданных телами, внутренняя энергия которых уменьшается, равно сумме количеств полученных телами, внутренняя энергия которых возрастает.</p> <p>При наличии теплотерь вводят понятие к.п.д., как отношение полезного количества теплоты к затраченному количеству теплоты <math>\eta = \frac{Q_n}{Q_{зат}} \cdot 100\%</math></p>
<p>Молярная масса (единица измерения <math>-\frac{кг}{моль}</math>) и постоянная Авогадро</p>	<p>Молярная масса – масса одного моля вещества. Моль – единица количества вещества содержащая столько же структурных элементов(атомов, ионов, молекул и др.), сколько атомов содержится в 12 граммах изотопа углерода - 12. Число молекул в одном моле вещества называется постоянной Авогадро и равно <math>N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}</math>.</p> <p><b>Закон Авогадро:</b> В равных объёмах различных газов при одинаковых температуре и давлении, содержится одинаковое число молекул.</p>

### 2.3.2.Термодинамика.

В основе термодинамики лежат три основных параметра: давление, температура и объём.

**Газовые законы (масса газа неизменна)**

Закон	Процесс	Формулировка и диаграммы
Бойля – Мариотта	Изотермический (постоянная температура)	<p>Для данной массы газа и неизменной температуре произведение давления на объем газа есть величина постоянная. <math>p \cdot V = const</math> Иначе можно сказать, что давление газа обратно пропорционален объёму, при неизменной температуре.</p>

Гей - Люссака	Изобарический (постоянное давление)	<p>Для данной массы газа и неизменном давлении, объём газа прямо пропорционален абсолютной температуре.</p> $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$ 
Шарля	Изохорический (постоянный объём)	<p>Для данной массы газа и неизменном объёме давление газа прямо пропорционально температуре газа <math>\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}</math>.</p> 
<p>Основной газовый закон, Уравнение Клапейрона</p>		<p>Для данной массы газ произведение давление на объём и деленное на абсолютную температуру газа, есть величина постоянная <math>\frac{P \cdot V}{T} = const</math></p> <p>Применительно к одному молю газа, из соотношения <math>p = n_0 \cdot k \cdot T</math>, где <math>n_0 = \frac{N_A}{V_{\text{моль}}}</math>, тогда получаем выражение, называемое уравнением Клапейрона:</p> $\frac{p \cdot V}{T} = N_A \cdot k = R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ <p>где R – универсальная газовая постоянная.</p>

*Идеальный газ* – модель реального газа и представляет собой газ, обладающий следующими свойствами:

1. отсутствуют силы межмолекулярного взаимодействия
2. молекулы представляют собой материальные точки
3. соударение молекул происходит, как соударение упругих шаров

Уравнение Менделеева – Клапейрона.

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T, \text{ где } \nu = \frac{m}{\mu} - \text{число молей газа.}$$

### 2.3.3. Первое начало термодинамики

*Количество теплоты, сообщённое термодинамической системе(газа), идёт на изменение внутренней энергии системы и на совершение работы против внешних сил.*

$$Q = \Delta U + A - \text{интегральная форма записи}$$

$$\delta Q = dU + \delta A - \text{дифференциальная форма записи.}$$

Внутренняя энергия идеального газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T,$$

где  $i$  - число степеней свободы: для одноатомной молекулы равно 3, для двухатомной - 5, для трехатомной и более – 6.

$$\text{Работа газа: } A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

Применение первого начала термодинамики для изопроцессов.

Процесс	Первое начало термодинамики
Изотермический	$\Delta U = 0$ , так как $\Delta T = 0$ и, следовательно $Q = A$ $A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$ из уравнения Менделеева – Клапейрона выражаем давление газа



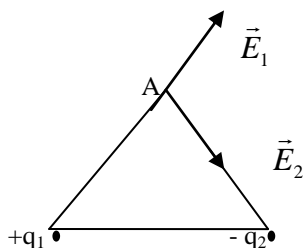
	$p = \frac{m}{\mu \cdot V} \cdot R \cdot T$ <p>и подставляем в интеграл, тогда</p> $A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \frac{m \cdot R \cdot T}{\mu} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m \cdot R \cdot T}{\mu} \cdot \ln V \Big _{V_1}^{V_2} =$ $= \frac{m \cdot R \cdot T}{\mu} \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ <p>- работа при изотермическом процессе.</p>
Изобарический	$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T$ <p>- изменение внутренней энергии.</p> $A = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = p \cdot \Delta V$ <p>- работа газа.</p> <p>Следовательно, количество теплоты</p> $Q = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T + p \cdot \Delta V$
Изохорический	<p>Работа газа <math>A = 0</math>, так как <math>\Delta V = 0</math>, следовательно, количество теплоты идёт на нагревания газа</p> $Q = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T$
Адиабатический	<p>Процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой. Постоянной в этом процессе является энтропия газа (мера беспорядка).</p> <p>Следовательно <math>Q = 0</math>, тогда <math>A = -\Delta U</math> - работа совершается за счёт внутренней энергии газа. В случае расширения происходит охлаждения газа, а в случае сжатия -нагревание газа.</p> <p>Адиабатический процесс подчиняется уравнению Пуассона.</p> $p \cdot V^\gamma = const,$ <p>где <math>\gamma</math> – показатель адиабаты.</p>

## 2.4. Электричество и магнетизм

### 2.4.1. Электростатика

Основные величины, законы	Формулировки, расчётные формулы
Закон кулона	<p>Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются.</p> <p>Закон кулона: Сила взаимодействия между двумя точечными зарядами по модулю прямо пропорциональна величинам этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. <math>F = k \cdot \frac{ q_1  \cdot  q_2 }{r^2}</math>,</p> <p>где <math>k = 9 \cdot 10^9 \left( \frac{H \cdot M^2}{Kл^2} \right)</math></p> <p>- коэффициент пропорциональности, зависящий от единиц измерений величин и среды, и для вакуума имеет данное значение. Для среды коэффициент пропорциональности имеет следующий вид: <math>k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon}</math>,</p> <p>где <math>\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left( \frac{Ф}{M} \right)</math> - электрическая постоянная, <math>\epsilon = \frac{F_{\epsilon}}{F_c}</math> - диэлектрическая проницаемость среды, показывающая во сколько раз сила кулоновского взаимодействия в вакууме больше чем в среде.</p>
Напряженность поля Единица измерения (Н/Кл =В/м)	<p><i>Силовая характеристика поля и численно равна силе действующей на пробный электрический заряд, помещенный в данную точку поля. <math>E = \frac{F}{q_{пр}} = k \frac{ q }{r^2}</math>, где</i></p> <p><i>заряд <math>q_{пр}</math> – пробный электрический заряд (положительный и очень малый по сравнению с зарядом <math>q</math> – создающим поле).</i></p> <p>Если электростатическое поле создает положительный заряд, то вектор напряженности поля направлен от заряда, если отрицательный, то вектор напряженности направлен к нему.</p> <p>Линии вектора напряжённости – линии, в каждой точке</p>

которой вектор напряжённости направлен по касательной. Начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном.



*Принцип суперпозиции полей*

Напряжённость поля созданного системой точечных зарядов  $q_1, q_2, \dots, q_n$  равна сумме напряжённости полей созданных каждым из

зарядов в отдельности  $\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i$

*Теорема Остроградского – Гаусса*

Поток вектора напряженности через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме зарядов, охватываемых этой поверхностью

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S}_\perp = \frac{Q_{\text{овс}}}{\epsilon_0 \cdot \epsilon}, \text{ где } d\vec{S}_\perp - \text{ проекция площадки на}$$

плоскость, перпендикулярной вектору напряженности.

Потенциал поля  
Единица измерения  
вольт (В)

Энергетическая характеристика поля и равна отношению потенциальной энергии, которой обладает пробный электрический заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда.

$$\varphi = \frac{W_n}{q_{\text{пр}}} = k \cdot \frac{q}{r},$$

где  $q_{\text{пр}}$ - пробный заряд,  $q$  – заряд, который создает поле и входящий в формулу без модуля.

*Принцип суперпозиции полей*

Потенциал поля созданного системой точечных зарядов  $q_1, q_2, \dots, q_n$  равен сумме потенциалов полей созданных каждым из зарядов в отдельности

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot$$

Потенциал поля можно охарактеризовать как работу

	<p>сил поля по перемещению пробного электрического заряда из данной точки в точку, где потенциал равен нулю. При решении задач потенциал земли принимают за нуль.</p> <p><i>Связь напряженности и потенциала</i></p> $\vec{E} = -\text{grad}\varphi, \text{ в частности } E = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}$ <p>Для однородного стационарного электрического поля (напряженность поля в каждой точке одинакова и постоянна)</p> $E = \frac{\Delta\varphi}{l}, \text{ где } U = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 - \text{разность потенциалов ( работа сил поля по перемещению единичного положительного заряда из точки с потенциалом } \varphi_1 \text{ в точку с потенциалом } \varphi_2, A = q \cdot U = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)), l - \text{расстояние между точками с данными потенциалами.}$
<p>Ёмкость Единица измерения Фарад (Ф)</p>	<p>Ёмкость уединенного(изолированного) проводника – отношение величины заряда к потенциалу проводника <math>C = \frac{q}{\varphi}</math></p> <p>Конденсатор – система двух разноименно (заряды по модулю одинаковы) заряженных проводников, разделенных слоем диэлектрика. Ёмкость конденсатора – отношение величины заряда на одной из обкладок конденсатора к разности потенциалов между обкладками. <math>C = \frac{q}{U}</math></p> <p>Ёмкость конденсатора зависит от геометрических размеров проводников, от их расположения и от среды, в которой находятся проводники. Ёмкость плоского конденсатора: <math>C = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d}</math>, где S и d – площадь пластин и расстояние между пластинами.</p> <p>Энергия конденсаторов:</p> $W = \frac{C \cdot U^2}{2} = \frac{q \cdot U}{2} = \frac{q^2}{2 \cdot C}$ <p>Энергия электрического поля: <math>W = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot E^2}{2}</math></p>

## 2.4.2. Постоянный электрический ток

Величины, законы	Формулировки и расчётные формулы										
<p>Сила тока Единица измерения - Ампер (А)</p>	<p>Отношение величины заряда прошедшего через поперечное сечение проводника в единицу времени <math>I = \frac{q}{t}</math> - для постоянного тока.</p> <p><math>I = \frac{dq}{dt}</math> - для переменного тока</p> <p>Сила тока зависит от концентрации заряженных частиц <math>n_0</math>, площади поперечного сечения проводника <math>S</math> и скорости движения заряженных частиц <math>v</math>.</p> $I = \frac{q}{t} = \frac{e \cdot N}{t} = \frac{e \cdot n_0 \cdot V}{t} = \frac{e \cdot n_0 \cdot S \cdot l}{t} = e \cdot n_0 \cdot S \cdot v, \quad \text{где}$ <p><math>e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}</math> - заряд электрона (элементарный заряд).</p> <p><b>Заряженные частицы</b></p> <table border="1" data-bbox="303 694 947 895"> <thead> <tr> <th>Вещество</th> <th>Заряженные частицы</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Металл</td> <td>Электроны</td> </tr> <tr> <td>Жидкости (электролиты)</td> <td>Положительные и отрицательные ионы</td> </tr> <tr> <td>Газы</td> <td>Положительные и отрицательные ионы электроны</td> </tr> <tr> <td>Полупроводники</td> <td>Дырки и электроны</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>За направление электрического тока принято направление движения положительно заряженных частиц.</b></p> <p>Плотность электрического тока – векторная физическая величина равная по модулю отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника и совпадает с направлением вектора напряженности поля.</p> $j = \frac{I}{S} = \frac{e \cdot n_0 \cdot S \cdot v}{S} = e \cdot n_0 \cdot v$	Вещество	Заряженные частицы	Металл	Электроны	Жидкости (электролиты)	Положительные и отрицательные ионы	Газы	Положительные и отрицательные ионы электроны	Полупроводники	Дырки и электроны
Вещество	Заряженные частицы										
Металл	Электроны										
Жидкости (электролиты)	Положительные и отрицательные ионы										
Газы	Положительные и отрицательные ионы электроны										
Полупроводники	Дырки и электроны										
<p>Напряжение, электродвижущая сила (Э.Д.С) Ед. изм. Вольт (В)</p>	<p>Работа сил поля по перемещению положительного единичного заряда называется <i>напряжением (разностью потенциалов)</i>: <math>U = \frac{A}{q}</math>.</p> <p>Работа сторонних сил (неэлектрических) по перемещению единичного положительного заряда называется <i>Э.Д.С.</i>: <math>\mathcal{E} = \frac{A_{cm}}{q}</math></p>										

<p>Сопротивление проводника Единица измерения Ом (Ом)</p>	<p>Сопротивление проводника характеризует противодействие электрическому току, зависит от материала, длины и площади поперечного сечения проводника <math>R = \rho \cdot \frac{l}{S}</math>, где <math>\rho</math> - удельное сопротивление проводника, единица измерения - Ом·м. Для металла сопротивление возрастает с повышением температуры по линейному закону <math>\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)</math>, где <math>\alpha</math> - температурный коэффициент сопротивления и <math>\rho_0</math> - удельное сопротивление при температуре 0 °С. Удельная проводимость <math>\gamma = \frac{1}{\rho}</math>, единица измерения - Сименс (См)</p>
<p>Закон Ома</p>	<p><i>Закон Ома для однородного участка цепи:</i></p> $I = \frac{U}{R}$ <p>Сила тока на участке цепи прямо пропорционально напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению данного участка.</p> <p><i>Закон Ома для полной цепи:</i></p> $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ <p>Сила тока в цепи прямо пропорциональна Э.Д.С. и обратно пропорциональна сумме внешнего и внутреннего сопротивления (сопротивление источника)</p> <p><i>Закон Ома для неоднородного участка цепи (с Э.Д.С.):</i></p> $I = \frac{\varepsilon \pm \varphi_1 - \varphi_2}{R}$ <p>- сила тока на участке цепи прямо пропорциональна сумме э.д.с. и разности потенциалов и обратно пропорциональна сопротивлению всего участка</p> <p>В частности, при зарядке аккумулятора от источника напряжения <math>I = \frac{U - \varepsilon}{r}</math></p> <p><i>Закон Ома в дифференциальной форме:</i></p> <p>Плотность электрического тока в проводнике прямо пропорциональна напряженности электрического поля в проводнике <math>\vec{j} = \frac{1}{\rho} \cdot \vec{E}</math></p>

Соединение элементов цепи	Соединение резисторов			
	Соединение элементов	Напряжение	сопротивление	Сила тока
	последовательное	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$R = \sum_{i=1}^n R_i$	$I = I_1 = \dots = I_n$
	параллельное	$U_1 = U_2 = \dots = U_n$	$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$	$I = I_1 + \dots + I_n$
	Соединение конденсаторов			
	Соединение	Заряд	Разность потенциалов	Емкость
	последовательное	$q_1 = q_2 = q_n$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}$
	параллельное	$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$	$U = U_1 = \dots = U_n$	$C = \sum_{i=1}^n C_i$
	Соединение источников тока			
	Соединение элементов	Внутреннее сопротивление	Э.Д.С.	Сила тока
последовательное	$r = r_1 + r_2 + \dots + r_n$	$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i$	$I = I_i = \frac{\mathcal{E} \cdot n}{R + r \cdot n}$	
параллельное	$\frac{1}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}$	$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{max}$	$I = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{n}}$ $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$	
<i>Правила Кирхгофа</i>				
1. Алгебраическая сумма сил токов в узле равна нулю или сумма токов входящих в узел равна сумме токов выходящих из него				

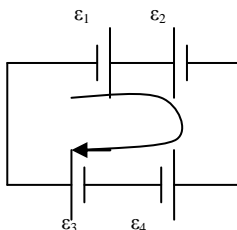
$$\sum_{i=1}^n I_i = 0$$

узел – точка электрической цепи, где сходятся не менее трех проводников. Ток идущий к узлу – положительный, отходящий от узла – отрицательный.

2. Алгебраическая сумма падений напряжения в контуре равна алгебраической сумме Э.Д.С..

$$\sum_{i=1}^n I_i \cdot R_i = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i$$

Пример:



Выбираем направление тока по часовой стрелке, тогда суммарная э. д. с.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4$$

Правило знаков для различных элементов Э.Д.С. при последовательном соединении

- Выбрать произвольное направление электрического тока в цепи
- При суммировании э. д. с. входят со знаком «+», если элемент создает ток совпадающий с выбранным направлением и со знаком «-», если элемент создает ток противоположного направления
- Если окончательное значение Э.Д.С. отрицательное, значит в действительности направление тока в цепи противоположно выбранному

Закон Джоуля – Ленца, мощность электрического тока

*Закон Джоуля – Ленца:*

Количество теплоты выделяемой в проводнике с током прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению и времени прохождения электрического тока

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

также, можно переписать в следующем виде:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t = I \cdot U \cdot t$$



При последовательном соединении проводников количество теплоты прямо пропорционально сопротивлению проводников  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$ , а при параллельном соединении

обратно пропорционально сопротивлению  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$ .

Мощность электрического тока – произведение силы тока на напряжение:

$$P = I \cdot U$$

Мощность, также можно вычислить по следующей формуле:

$$P = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Мощность источника тока:

$$P = I \cdot \varepsilon - \text{полная мощность источника.}$$

При подключении во внешнюю цепь

$$P_1 = I^2 \cdot R = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} \cdot R - \text{мощность, выделяемая во}$$

внешней цепи.

К.п.д. источника тока:

$$\eta = \frac{P_1}{P} \cdot 100\% = \frac{I^2 \cdot R}{I \cdot \varepsilon} \cdot 100\% = \frac{R}{R + r} \cdot 100\% - \text{отно-}$$

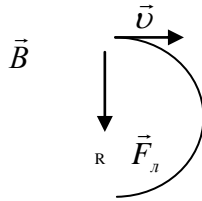
шение полезной мощности к полной мощности или отношение сопротивления внешней цепи к сумме внешнего и внутреннего сопротивления.

### 2.4.3. Магнетизм

Формулировки законов, расчётные формулы									
Магнитная индукция. Единица измерения Тесла (Тл).	<p>Силовой характеристикой магнитного поля является индукция магнитного поля и численно равна</p> $\vec{B} = \frac{\vec{M}_{\max}}{I \cdot S}$ <p>Магнитное поле возникает вокруг проводника с током и вокруг движущейся заряженной частицы. Силловые линии магнитного поля – линии, в каждой точке которой вектор индукции направлен по касательной. Силловые линии магнитного поля замкнутые. Направление индукции магнитного поля находят по правилу буравчика (если поступательное движение буравчика совпадает с направлением тока, то вращательное движение укажет направление вектора магнитной индукции в данной точке). Магнитное поле однородное, если индукция в каждой точке поля одинакова. <i>Закон Био – Савара – Лапласа.</i></p> $d\vec{B} = \frac{\mu \cdot \mu_0}{4\pi} \frac{I [dl \times r]}{r^3}$ <p>- индукция элемента проводника с током <math>I \cdot dl</math>, зависящая от силы тока расстояние от проводника до исследуемой точки поля <math>r</math>.</p> $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Гн}{м}$ <p>- магнитная постоянная</p> <p><math>\mu</math> - магнитная проницаемость, показывающая во сколько раз магнитное поле в среде больше, чем в вакууме.</p> <p><i>Связь индукции и напряжённости (<math>[H] = \frac{A}{м}</math>) магнитного поля</i></p> $\vec{B} = \mu \cdot \mu_0 \cdot \vec{H}$								
	<p>Применение закона Био – Савара- Лапласа</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Тип проводника</th> <th>Индукция</th> <th>Напряженность</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Бесконечный прямой провод</td> <td><math>B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2\pi \cdot r}</math></td> <td><math>H = \frac{I}{2\pi \cdot r}</math></td> </tr> <tr> <td>Отрезок проводника</td> <td><math>B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi \cdot r} \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)</math></td> <td><math>H = \frac{I}{4\pi \cdot r} \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)</math></td> </tr> </tbody> </table>	Тип проводника	Индукция	Напряженность	Бесконечный прямой провод	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$	$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$	Отрезок проводника	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi \cdot r} \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$
Тип проводника	Индукция	Напряженность							
Бесконечный прямой провод	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2\pi \cdot r}$	$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}$							
Отрезок проводника	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{4\pi \cdot r} \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$	$H = \frac{I}{4\pi \cdot r} \cdot (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$							

	Круговой ток	$B = \frac{\mu_0 \mu \cdot I}{2R}$	$H = \frac{I}{2R}$
	Соленоид	$B = \mu \mu_0 \cdot I \cdot n$	$H = I \cdot n$
	<p><i>Принцип суперпозиции полей</i>  Индукция (напряжённость) магнитного поля в точке созданного системой проводников с токами равен сумме напряжённостей магнитных полей, созданных каждым из токов в отдельности.</p> $\vec{B} = \sum_{i=1}^n B_i \quad \text{или} \quad \vec{H} = \sum_{i=1}^n H_i$		
Сила Ампера, сила Лоренца	<p><math>F_A = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha</math> - сила Ампера действует на проводник с током в магнитном поле и определяется по правилу левой руки: Если левую руку расположить, так, чтобы силовые линии входили в ладонь, четыре пальца указывали направление силы тока, тогда отогнутый большой палец укажет направление силы Ампера.</p> <p><math>F_L = q \cdot v \cdot B \sin \alpha</math> - сила Лоренца действует на заряженную частицу и определяется по правилу левой руки для положительно заряженной частицы и по правилу правой руки для отрицательно заряженной частицы. Если частица влетает под прямым углом к вектору магнитной индукции, то частица движется по окружности с центростремительным ускорением, а если угол отличен от <math>90^\circ</math>, то частица движется по спирали. При совпадающем направлении движения с вектором индукции, частица движется без изменений своей траектории и скорости.</p> <p>Пример: Электрон влетает под прямым углом к вектору индукции, в магнитное поле. От чего зависит радиус кривизны траектории движения, если электрон предвзрительно проходит ускоряющую разность потенциалов.</p>		

Решение:



Используя правило правой руки, так как частица отрицательно заряженная и индукция направлена в плоскость чертежа, определяем направление силы Лоренца.  $R$  – радиус окружности, которую описывает электрон. Частица обладает центростремительным ускорением и по второму закону Ньютона:

$$F_l = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$e \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Производя сокращения и выражая радиус кривизны  $R = \frac{m \cdot v}{e \cdot B}$

. Электрон предварительно проходит ускоряющую разность потенциалов, тогда работа сил поля равна изменению кинетической энергии электрона

$$A = \Delta W_k = \frac{m \cdot (v^2 - v_0^2)}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

, т.к. начальная скорость равна нулю. С другой стороны работа сил поля, связана с разностью потенциалов

$$A = e \cdot U$$

Приравнявая оба выражения

$$e \cdot U = \frac{m \cdot v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m}} . \text{ Подставляем в выражение}$$

для радиуса кривизны

$$R = \frac{1}{B} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot U}{e}} - \text{ радиус кривизны зависит от разности}$$

потенциалов, которую прошла частица предварительно, заряда, массы и индукции магнитного поля.

Электро-  
магнитная  
индукция  
Единица  
измерения

Электродвижущая сила электромагнитной индукции возникает в проводящем контуре, который находится в переменном магнитном поле. Э.д.с. возникает также при движении проводника в однородном магнитном поле.

<p>-Вольт(В)</p>	<p>Магнитный поток <math>\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha</math> - скалярное произведение индукции магнитного поля на площадь контура и косинуса угла между вектором индукции и перпендикуляром к плоскости контура. Единица измерения Вебер (Вб)</p> <p>При равномерном вращении контура в однородном магнитном поле магнитный поток изменяется по следующему закону:</p> $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \omega \cdot t = B \cdot S \cdot \cos(2\pi \cdot n \cdot t),$ <p>где <math>n</math> – частота вращения контура.</p> <p>Потокоцепление – произведение магнитного потока на число витков <math>\Psi = \Phi \cdot N</math>.</p> <p><i>Закон Фарадея:</i></p> <p>Э.д.с. электромагнитной индукции прямо пропорциональна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность этого контура</p> $\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$ <p>- мгновенное значение Э.д.с.</p> $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ <p>- среднее значение э.д.с.</p> $\varepsilon = -\frac{\Delta\Psi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ <p>- среднее значения э.д.с. возникающей в рамке с <math>N</math> витками.</p> <p>Частным случаем является самоиндукция, которая обусловлена изменением силы тока в контуре.</p> $\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$ <p>- мгновенное значение э.д.с. самоиндукции.</p> $\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ <p>- среднее значение э.д.с. самоиндукции.</p> $L = \mu \cdot \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot S$ <p>- индуктивность катушки, зависящая от геометрических размеров (площади витка, длины катушки, числа витков) и среды, в которой находится катушка. Единица измерения - Генри (Гн).</p> <p><i>Правило Ленца:</i> Магнитное поле индукционного тока имеет такое направление, что препятствует изменению магнитного поля, которое этот индукционный ток вызывает.</p> <p>Энергия магнитного поля: <math>W = \frac{L \cdot I^2}{2}</math></p>
------------------	--

	$A = \int I \cdot d\Phi$ - работа силы Ампера. При неизменной силе тока работа силы Ампера может быть выражена, как $A = I \cdot \Delta\Phi$
Трансформатор	<p>Прибор для преобразования напряжения и силы переменного тока при неизменной частоте называется <b>трансформатором</b>. Он состоит из сердечника с двумя катушками, называемыми обмотками трансформатора. Первичная обмотка соединяется с источником, а вторичная соединяется с потребителем электрической энергии.</p> $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{N_1}{N_2}$ <p>В первичной обмотке возникает э.д.с. самоиндукции, а во вторичной обмотке возникает э.д.с. электромагнитной индукции и пропорциональны числу витков в них. Если пренебречь сопротивлением обмоток,</p> $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$ <p>напряжения на обмотках трансформатора будут прямо пропорциональны числу витков.</p> $k = \frac{N_1}{N_2}$ <p>- коэффициент трансформации – отношение числа витков первичной обмотки к числу витков вторичной обмотки.</p> <p>Трансформатор понижающий, если коэффициент трансформации больше единицы и повышающий – коэффициент трансформации меньше единицы.</p> $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$ <p>- <b>сила тока в обмотках обратно пропорциональна числу витков.</b></p> <p>К. п. д.(коэффициент полезного действия) трансформатора определяется отношением полезной мощности ко всей подведенной мощности или отношение мощности выделенной во вторичной обмотке <math>P_2</math> к мощности подведенной к первичной обмотке <math>P_1</math>:</p> $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%$

## 2.5. Колебательные и волновые процессы

Основные величины	Формулировки, расчётные формулы
Гармонические колебания	<p>Колебания – это движение, характеризующее той или иной степенью повторяемости во времени.</p> <p><i>Условие колебаний:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Наличие у тела избыточной энергии, т.е. энергии большей по сравнению с энергией, которой обладает тело в положении равновесия;</i></li> <li>• <i>Наличие возвращающей силы, т.е. силы заставляющей тело совершать повторяющиеся процессы;</i></li> <li>• <i>Энергия тела должна быть больше энергии, которую тело тратит на работу против сил трения.</i></li> </ul> <p>Гармонические колебания – это колебания, происходящие по закону синуса или косинуса. <math>x = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)</math>, где <math>x</math> – изменяющаяся физическая величина, <math>A</math> – амплитуда колебания – модуль максимального отклонения физической величины от среднего значения и измеряется в тех же единицах, что и величина <math>x</math>, <math>\omega</math> – циклическая частота – число колебаний за <math>2\pi</math> секунд (измеряется в рад/с).</p> <p><math>\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu</math>, где <math>\nu</math> – частота колебаний – число колебаний в единицу времени (измеряется в Герцах (Гц = 1/с)).</p> <p>Период колебаний (<math>T</math>) – время одного полного колебания (единица измерения секунда (с)) и связан с частотой <math>T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{\omega}</math></p> <p><math>\varphi = \omega \cdot t + \varphi_0</math> – фаза колебаний – часть периода, выраженная в угловых величинах.</p> <p><math>\varphi_0</math> – начальная фаза колебаний – фаза колебаний в момент времени равный нулю.</p> <p>Скорость колебаний: <math>v = \frac{dx}{dt}</math></p> <p>Максимальная скорость по модулю: <math>v_{\max} = A \cdot \omega</math></p> <p>Ускорение: <math>a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}</math></p>

	<p>Максимальное ускорение по модулю: <math>a_{\max} = A \cdot \omega^2</math></p> <p>Виды колебаний:  Свободные колебания – это колебания без внешнего переменного воздействия, а в результате первоначального отклонения от положения равновесия.  Затухающие колебания – это колебания под действием внешнего переменного воздействия.</p>
<p>Маятники</p>	<p><i>Математический маятник</i> – это колебательная система, состоящая из материальной точки подвешенной на невесомой и нерастяжимой нити и совершающая колебания в вертикальной плоскости под действием силы тяжести. Период свободных колебаний математического маятника, зависит от длины и ускорения свободного падения: <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}</math></p> <p><i>Физический маятник</i> – это абсолютно твердое тело, совершающее колебание в вертикальной плоскости вокруг оси, не проходящей через центр масс тела. Период свободных колебаний физического маятника: <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{m \cdot g \cdot d}}</math>, где <math>I</math> - момент инерции физического маятника вокруг оси, проходящей через точку подвеса; <math>d</math> - расстояние от точки подвеса до центра масс маятника; <math>m</math> - масса маятника.</p> <p><i>Пружинный маятник</i> – материальная точка, подвешенное на пружине и совершающее колебание под действием упругой силы. Период свободных колебаний пружинного маятника: <math>T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}</math>, где <math>m</math> - масса тела; <math>k</math> - жесткость пружины.</p> <p>Колебательный контур – колебательная система, состоящая из катушки индуктивности, конденсатора и сопротивления . В данном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания. Период колебаний вычисляется по формуле <math>T = 2\pi \sqrt{LC}</math></p>



Виды реактивного сопротивления:

Активное или омическое сопротивление – сопротивление, обуславливающее переход энергии электрического тока в другие виды энергии (например, в тепловую).

Реактивное сопротивление

Индуктивное сопротивление – сопротивление, обусловленное наличием самоиндукции.

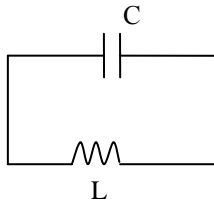
$$X_L = \omega \cdot L$$

Ёмкостное сопротивление – сопротивление, обусловленное наличием ёмкости в цепи контура.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

Полное сопротивление реального колебательного контура:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}$$



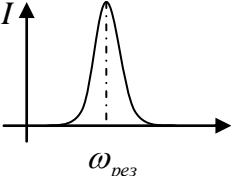
Идеальный колебательный контур – контур без активного сопротивления.

Период свободных колебаний колебательного контура:

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}$$

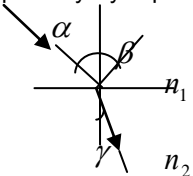
*Резонанс* - явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний при совпадении собственной частоты (частота свободных колебаний) с частотой вынужденных колебаний.

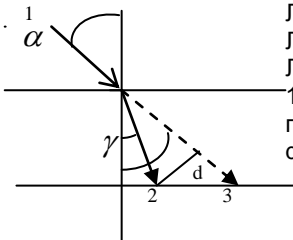
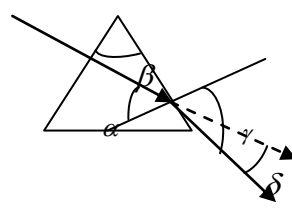
В качестве примера рассмотрим электрический резонанс: Резкое возрастание амплитуды колебания силы тока при совпадении собственной частоты колебаний в контуре с частотой вынужденных колебаний

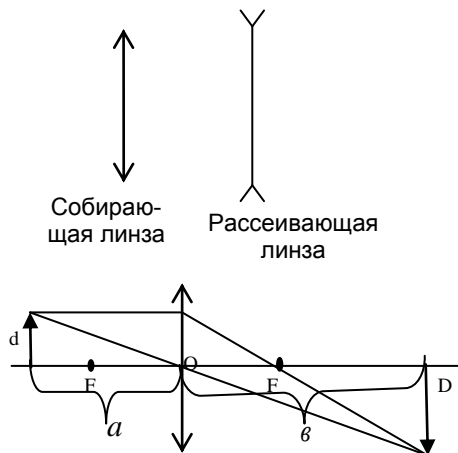
	
Энергия колебаний	<p>Полная энергия колебаний колеблющегося тела:</p> $W = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot A^2}{2}$ <p>Кинетическая энергия материальной точки:</p> $W_k = \frac{1}{2} m \cdot \omega^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0)$ <p>Потенциальная энергия колеблющейся материальной точки:</p> $W_n = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \omega^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0)$
Волна	<p>Волна - процесс распространения колебаний.</p> <p>Виды волн:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Поперечные волны – волны, колебания в которых происходят в направлении перпендикулярно направлению распространения волны;</li> <li>• Продольные волны – волны, колебания в которых происходят в направлении распространения волны.</li> </ul> <p>Уравнение волны: <math>x = A \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda}\right)</math>,</p> <p>где <math>\lambda</math> - длина волны – расстояние между двумя ближайшими точками, колеблющимися в одинаковой фазе;</p> <p><math>y</math> - расстояние на которое распространяется волна.</p> <p><math>v = \lambda \cdot \nu</math> - связь длины волны со скоростью <math>v</math> и частотой <math>\nu</math>.</p>

## 2.6. Оптика

### 2.6.1. Геометрическая оптика

Основные величины, законы	Формулировки, расчётные формулы
<p>Законы преломления и отражения</p>	<p><i>Закон отражения:</i> Луч, падающий и луч отраженный, лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения. Угол падения равен углу отражения.</p>  <p><i>Закон преломления:</i> Луч, падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения. Отношения синуса угла падения к синусу угла преломления, есть величина постоянная.</p> $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ <p>где <math>n_{21}</math> - относительный показатель преломления, показывающий во сколько раз скорость света в одной среде больше, чем в другой, <math>n_2, n_1</math> - абсолютные показатели сред, показывающие во сколько раз скорость света в данной среде меньше, чем в вакууме.</p> <p>В задачах по геометрической оптике, показатели преломления различных сред вычисляют относительно воздуха.</p> <p><i>Явление полного внутреннего отражения.</i>          Данное явление наблюдается при переходе света из среды более оптически плотной в менее оптически плотную, при этом преломленный луч света скользит по границе раздела двух сред. Угол падения, при котором наблюдается полное внутреннее отражение, называется предельным углом полного внутреннего отражения.</p> $\sin \alpha_{np} = \frac{1}{n}$ <p>- данная формула справедлива при переходе света из среды в вакуум (воздух).</p>

<p>Смещение луча</p>	<p>Луч падает перпендикулярно на одну из граней призмы и следовательно не преломляется, т.к. угол падения равен нулю.</p> <p><math>\beta</math> - преломляющий угол призмы;</p> <p><math>\alpha</math> - угол падения на вторую грань;</p> <p><math>\gamma</math> - угол преломления при выходе из призмы, считая, что свет идет из призмы в воздух.</p> <p><math>\delta</math> - угол отклонения света при выходе из призмы.</p> <p>Рассмотрим плоскопараллельную пластинку.</p>  <p>Луч 1 – падающий. Луч 2 – преломленный Луч 3 – продолжение луча 1, как если бы луч 1 не преломлялся. d – смещение луча.</p> <p>Рассмотрим треугольную стеклянную призму (<math>n=1,5</math>).</p> 
<p>Оптическая сила линзы. Единица измерения диоптрия (дптр)</p>	<p><i>Линзой</i> называется прозрачное тело, ограниченное двумя криволинейными или криволинейной и плоской поверхностями. Линза называется тонкой, если её толщина мала по сравнению с радиусами кривизны её поверхностей.</p> <p>Виды линз:</p>



Точка  $O$  – оптический центр линзы, т.е. точка через которую лучи идут не преломляясь.  $F$  – фокус линзы, т.е. точка в которой сходятся лучи идущие параллельно главной оптической оси до преломления в линзе.  $F$  – фокусное расстояние.  $a$  - расстояние от предмета до линзы.  $b$  - расстояние от линзы до изображения отношение  $D/d$  – называется увеличением линзы.

*Формула тонкой линзы:*

$$D = \frac{1}{F} = \pm \frac{1}{a} \pm \frac{1}{b}, \text{ где знак } \pm \text{ зависит от типа}$$

линзы (собирающая – «плюс», рассеивающая – «минус») и от изображения (мнимое – «минус», действительное – «плюс»).

Величина обратная фокусному расстоянию  $D$  – оптическая сила линзы.

Формула зависимости оптической силы от радиуса кривизны линзы:

$$D = \frac{1}{F} = (n_{21} - 1) \cdot \left( \pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right),$$

где знак зависит от типа поверхности (выпуклая – «плюс», вогнутая – «минус»). Относительный показатель преломления линзы берется относительно той среды, из которой идут лучи.

## 2.6.2. Элементы фотометрии

Величины	Формулировки, расчётные формулы
<p>Световой поток. Единица измерения люмен (лм)</p>	<p>Световой поток определяется световой энергией, излучаемой точечным источником света, отнесенной ко времени излучения: <math>\Phi = \frac{W}{t}</math></p> <p>Точечный источник света – модель реального источника и представляет собой источник, размеры которого пренебрежимо малы с расстоянием, на которое производится излучение.</p> <p>В применении к электрическим лампам количество люменов светового потока <math>\Phi</math>, которое приходится на один ватт мощности <math>P</math> электрического тока в лампе, называют световой отдачей <math>k</math> лампы: <math>k = \frac{\Phi}{P}</math></p>
<p>Сила света Единица измерения Канде-ла(кд)</p>	<p>Сила света определяется световым потоком <math>\Phi</math>, излучаемым точечным источником света, равномерно распределенным внутри телесного угла <math>\omega</math>: <math>I = \frac{\Phi}{\omega}</math></p> <p>Полный световой поток связан с силой света: <math>\Phi_n = 4\pi \cdot I</math></p>
<p>Освещенность Единица измерения Люкс (лк)</p>	<p>Величину <math>E</math>, характеризующую различную видимость отдельных тел и обусловлено величиной падающего на них светового поток, называют освещенностью. При равномерном распределении падающего на поверхность светового потока её освещенностью измеряется световым потоком, приходящимся на единицу площади этой поверхности: <math>E = \frac{\Phi}{S}</math></p> <p><i>Законы освещённости:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. При перпендикулярном падении лучей освещённость, создаваемая точечным источником света прямо пропорциональна его силе света и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до освещаемой поверхности. <math>E = \frac{I}{r^2}</math></li> <li>2. Освещенность поверхности, создаваемая</li> </ol>

	<p>параллельными лучами, прямо пропорционально косинусу угла падения на эту поверхность:</p> $E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha,$ <p>где угол падения отсчитывается от перпендикуляра к поверхности, на которую падают лучи.</p>
<p>Яркость. Единица измерения - кандела на квадратный метр <math>\frac{кд}{м^2}</math></p>	<p>Яркость источника определяется силой света источника в заданном направлении, отнесенной к единице поверхности источника:</p> $B = \frac{I}{S \cdot \cos \varphi},$ <p>где <math>\varphi</math> - угол между перпендикуляром к площадке и направлением наблюдения.</p>

### 2.6.3. Волновая оптика

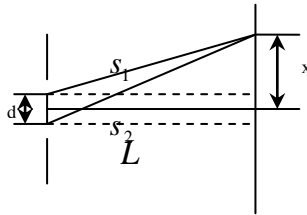
Явления	Формулировки законов, расчетные формулы
Интерференция	<p>Явление наложения когерентных волн, в результате чего, в одних точках возникает усиление света (максимумы), а в других точках ослабление света (минимумы).</p> <p>Когерентные волны – волны одинаковой частоты разность фаз, которых не зависят от времени.</p> <p>Оптическая разность хода – произведение геометрической разности хода на показатель преломления:</p> $\Delta = L_2 \cdot n_2 - L_1 \cdot n_1,$ <p>где <math>L_2, L_1</math> - оптические длины, т.е. расстояние от когерентных источников до точек в которых наблюдается интерференция света.</p> <p>В случае, если волны идут в одинаковых средах:</p> $\Delta = (L_2 - L_1) \cdot n$ <p>Условие интерференционного максимума:</p> <p>Разность хода равна четному числу длин полуволн:</p> $\Delta_{\max} = 2k \cdot \frac{\lambda}{2},$ <p>где <math>k = 0,1,2,3,\dots</math> - целые числа.</p> <p>Условие интерференционного минимума:</p>

Оптическая разность хода равна нечетному числу длин полуволн:

$$\Delta_{\min} = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2},$$

где  $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  - целые числа.

Известно, что от двух независимых источников получить интерференционную картину нельзя, поэтому используют один источник и его излучение разделяют на когерентную систему волн. Одним из таких примеров является опыт Юнга, интерференция от двух отверстий, которые являются когерентными источниками. Интерференционная картина наблюдается на расстоянии  $L$  от экрана.



Из прямоугольных треугольников находим расстояние волн от источника до точки, в которой наблюдается интерференционная полоса.

$$s_2^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2$$

$$s_1^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2$$

Вычитая из первого выражения второе, получаем

$$s_2^2 - s_1^2 = 2 \cdot d \cdot x$$

Используя формулу разности квадратов, получаем

$$(s_2 - s_1) \cdot (s_2 + s_1) = 2 \cdot d \cdot x,$$

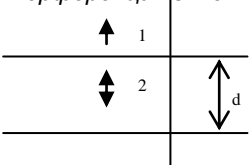
т.к.  $L \gg d$ , то  $(s_2 + s_1) \approx 2L$ , и учитывая, то, что волны распространяются в воздухе

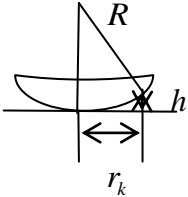
$$\Delta = s_2 - s_1 - \text{оптическая разность хода волн.}$$

$$\Delta = \frac{dx}{L}, \text{ и тогда расстояние до данной интерфе-}$$

ренционной полосы равно



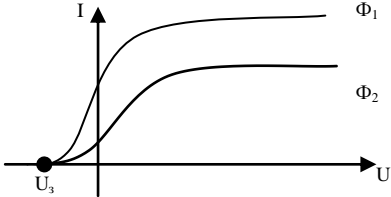
	$x = \frac{\Delta \cdot L}{d}$ <p>В данной точке условие максимума:</p> $x_{\max} = \frac{k\lambda \cdot L}{d}, \text{ где } k = 0,1,2,3,\dots - \text{целые числа.}$ <p>условие минимума:</p> $x_{\min} = \frac{(2k+1) \cdot \lambda \cdot L}{2d}, \text{ где } k = 0,1,2,3,\dots - \text{целые}$ <p>числа.</p>
	<p><i>Интерференция в тонких плёнках.</i></p>  <p>На плёнку толщиной <math>d</math>, падает перпендикулярно монохроматический свет с длиной волны <math>\lambda</math>. Луч 1 отражается от верхней поверхности плёнки, луч 2 - от нижней поверхности. Лучи 1 и 2 когерентные.</p> <p>Оптическая разность хода равна <math>\Delta = 2dn - \frac{\lambda}{2}</math>, где учитывается потеря полуволны на отражение.</p> <p>Светлые полосы будут удовлетворять условию:</p> $\Delta = 2dn - \frac{\lambda}{2} = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$ <p>Тёмные полосы: <math>\Delta = 2dn - \frac{\lambda}{2} = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2}</math></p> <p>Характер окраски плёнок зависит от оптической разности хода лучей, которая обусловлена её толщиной и длиной волны падающего света.</p> <p><i>Кольца Ньютона.</i></p> <p>Опыт Ньютона заключается в следующем: на стеклянную пластинку кладут линзу с большим радиусом кривизны. Интерференцию наблюдают от прослойки <math>h</math>, с показателем преломления <math>n</math>, между стеклом и линзой.</p>

	 <p>При наблюдении в отраженном свете радиусы светлых колец удовлетворяют условию:</p> $r_k^{ce} = \sqrt{(2k+1) \cdot \frac{R \cdot \lambda}{2n}}, \text{ где}$ <p><math>k = 0, 1, 2, 3, \dots</math> - целые числа.</p> <p>радиусы темных колец:</p> $r_k^{ce} = \sqrt{k \frac{R \cdot \lambda}{n}}, \text{ где } k = 1, 2, 3, \dots -$ <p>целые числа.</p> <p>При наблюдении в проходящем свете условия меняются местами.</p>
<p>Дифракция света</p>	<p>Распространение света с резкими неоднородностями называют дифракцией света. В частном случае дифракция – это явление огибания волнами препятствий.</p> <p><i>Принцип Гюйгенса – Френеля:</i>  Каждая точка, до которой дошла волна, является источником вторичных волн, которые в свою очередь интерферируют. Условие дифракционного минимума, при дифракции от щели: <math>e \cdot \sin \varphi = k\lambda</math>, где <math>\varphi</math> - угол, под которым наблюдают дифракционные минимумы, <math>e</math> – диаметр щели и <math>k = 1, 2, 3, \dots</math> - целые числа.</p> <p>Совокуплей большого числа щелей разделённых непрозрачными промежутками называется дифракционной решёткой. Условие максимума при дифракции от дифракционной решетки: <math>d \cdot \sin \varphi = k\lambda</math>,</p>
<p>Поляризация света</p>	<p>Явление, при котором колебание светового вектора происходят в одной плоскости, называемой плоскостью колебаний. А плоскость перпендикулярная плоскости колебаний называется плоскостью поляризации.</p> <p><i>Закон Малюса:</i>  Интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор пропорциональна интенсивности света прошедшего через поляризатор и квадрату косинуса угла между плоскостями поляризации поляризатора и анализатора <math>I = I_0 \cdot \cos^2 \alpha</math>, где</p>

	<p><math>I_0</math> - интенсивность света прошедшего через поляризатор, которая связана с интенсивностью естественного света, падающего на поляризатор соотношением <math>I_0 = I_{есн} \cdot \cos^2 \varphi</math>, <math>I</math> - интенсивность света прошедшего через анализатор.</p> <p><b>Закон Брюстера:</b> Тангенс угла падения при полной поляризации отраженного луча равен относительному показателю преломления среды, при этом преломлённый луч максимально поляризован. <math>tg \alpha_{Бр} = n</math>.</p>
--	--

## 2.6.4. Квантовая оптика

Основные величины, законы	Формулировки законов, расчетные формулы
Кванты	<p>Фотоэффект – явление освобождение электронов от связей с атомами под действием электромагнитного излучения. Различают внешний, внутренний и вентильный фотоэффект. Внешний фотоэффект – явление вырывания электронов с поверхности металлов под действием света.</p> <p>Квант или фотон – дискретная часть электромагнитного излучения или порция энергии излучения. Согласно квантовой теории света, свет испускается и поглощается фотонами или квантами. Энергия кванта или фотона связана с частотой излучения:</p> $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}, \text{ где } c = 3 \cdot 10^8 \left(\frac{M}{c}\right) - \text{ скорость света.}$ <p><math>h = 6,62 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с})</math> - постоянная Планка.</p> <p>Формула Эйнштейна: <math>E = m \cdot c^2</math>, где <math>m</math> - масса частицы.</p> <p>Импульс фотона: <math>p = m \cdot c = \frac{E}{c} = \frac{h \cdot \nu}{c} = \frac{h}{\lambda}</math></p>
Законы Столетова	<p><b>Первый закон Столетова:</b> Фототок насыщения прямо пропорционален световому потоку.</p> <p><b>Второй закон Столетова:</b> Максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, а определяется его частотой.</p> <p><b>Третий закон Столетова:</b> Для любого металла существует крас-</p>

	<p>ная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота или максимальная длина волны при которой фотоэффект еще возможен. <math>A = h \cdot \nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}</math> - работа выхода определяются красной границей фотоэффекта. <b>Четвертый закон Столетова:</b> Фотоэффект безынерционен, т.е. сразу исчезает после прекращения действия источника излучения.</p>
<p>Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта</p>	<p>Выражает закон сохранения энергии:</p> $h \cdot \nu = A_e + W_k = h \cdot \nu_0 + \frac{m \cdot u^2}{2}$ <p>при попадании фотона на поверхность металла, электрон поглощает данный фотон и совершает работу выхода, т.е. работу против действия сил поля со стороны ионов, находящихся в узлах кристаллической решетки, и после этого остаток энергии идет на кинетическую энергию электрона.</p> <p>Кинетическая энергия электрона связана с задерживающей разностью потенциалов, т.е. разностью потенциалов компенсирующую кинетическую энергию электрона.</p> $W_k = \frac{m \cdot u^2}{2} = e \cdot U_z$ <p>где m, e – масса и заряд электрона.</p> <p>Работа выхода оценивается, также потенциалом выхода: <math>A = e \cdot U_e</math></p> <p>1 эВ – энергия, которую приобретает электрон, проходя ускоряющую разность потенциалов в 1 В.  1 эВ = <math>1,6 \cdot 10^{-19}</math> Дж</p> <p>Вольт – амперная характеристика фотоэлемента работающего на внешнем фотоэффекте:</p> 

## 2.7. Элементы атомной физики и квантовой механики

Понятия, величины и законы	Формулировки законов, расчётные формулы																		
Состав ядер	<p>Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, которые называются нуклонами. <math>{}^A_Z X</math>, где <math>A</math> – массовое число показывающее число нуклонов (протонов и нейтронов), <math>Z</math> – зарядовое число показывающее число протонов, <math>N=A-Z</math> – число нейтронов.</p> <p>Ядра имеющие одинаковые зарядовые числа, но различные массовые называются изотопами.</p> <p>Пример: изотопы водорода <math>{}^2_1 H</math> - дейтерий, ядро которого состоит из одного протона и одного нейтрона. <math>{}^3_1 H</math> - тритий, ядро которого состоит из одного протона и двух нейтронов.</p> <p>Для удобства вычислений, массы частиц и атомов измеряются в атомных единицах массы (а.е.м.). <math>1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}</math></p> <p>Обозначения и массы частиц:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th>частица</th> <th>обозначение</th> <th>Масса в а.е.м.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha</math> - частица</td> <td><math>{}^4_2 He</math> - ядро гелия</td> <td>4,00149</td> </tr> <tr> <td>Позитрон</td> <td><math>{}^0_{+1} e</math></td> <td>0,00055</td> </tr> <tr> <td>электрон</td> <td><math>{}^0_{-1} e</math></td> <td>0,00055</td> </tr> <tr> <td>протон</td> <td><math>{}^1_1 p</math></td> <td>1,00728</td> </tr> <tr> <td>нейтрон</td> <td><math>{}^1_0 n</math></td> <td>1,00867</td> </tr> </tbody> </table> <p>Массы атомов изотопов водорода</p> <p><math>m_1^1 H = 1,00783 \text{ а. е. м.}</math></p> <p><math>m_1^2 H = 2,01410 \text{ а. е. м.}</math></p> <p><math>m_1^3 H = 3,01605 \text{ а. е. м.}</math></p>	частица	обозначение	Масса в а.е.м.	$\alpha$ - частица	${}^4_2 He$ - ядро гелия	4,00149	Позитрон	${}^0_{+1} e$	0,00055	электрон	${}^0_{-1} e$	0,00055	протон	${}^1_1 p$	1,00728	нейтрон	${}^1_0 n$	1,00867
частица	обозначение	Масса в а.е.м.																	
$\alpha$ - частица	${}^4_2 He$ - ядро гелия	4,00149																	
Позитрон	${}^0_{+1} e$	0,00055																	
электрон	${}^0_{-1} e$	0,00055																	
протон	${}^1_1 p$	1,00728																	
нейтрон	${}^1_0 n$	1,00867																	
	<p><i>Альфа, бета и гамма излучение.</i></p> <p>При альфа – распаде химический элемент смещается на два места влево, а при бета – распаде – на одно место вправо.</p>																		

<p>Закон радиоактивного распада</p>	<p>Число наличных ядер распадается по закону:</p> $N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ <p>Где <math>N_0</math> – число ядер в начальный момент времени  <math>N</math> – число оставшихся ядер после прохождения промежутка времени <math>t</math>  <math>\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}</math> - постоянная распада, показывающая вероятность  распада одного ядра в единицу времени, <math>T_{1/2}</math> - период полураспада, показывающий время за которое распадается половина наличных ядер  <math>\Delta N = N_0 - N</math> – число распавшихся ядер  Активность изотопа – это величина равная числу распадов ядер в единицу времени  <math>A = \lambda \cdot N</math>, где <math>N</math> – число ядер.  Единица измерения активности Беккерель (Бк), 1 Бк = <math>\frac{\text{распад}}{c}</math>  Часто используют внесистемную единицу Кюри (Ки), 1 Ки = <math>3,7 \cdot 10^{10}</math> Бк  Число атомов <math>N</math> в радиоактивном изотопе массой <math>m</math>:  <math display="block">N = \frac{m}{m_0} = \frac{m \cdot N_A}{\mu}</math>, где <math>\mu</math> - молярная масса, <math>N_A</math> - число Авогадро.</p>
<p>Дефект масс, ядерные реакции</p>	<p>Внутри ядра действуют силы между нуклонами называемые ядерными силами, поэтому чтобы разделить ядро на составляющие его отдельные протоны и нейтроны, необходимо затратить большую энергию. Эта энергия называется энергией связи ядра. Такая же по величине энергия выделится, если свободные протоны и нейтроны соединятся и образуют ядро. Используя формулу Эйнштейна, можно сказать что масса ядра должна быть меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов, из которых оно образовалось. Эта разность масс называется дефектом масс ядра.</p> $\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_y$ <p>В таблицах обычно даны массы атомов изотопов, поэтому:</p>

$m_{\text{я}} = m_{\text{а}} - Zm_{\text{е}}$ , так как число протонов равно числу электронов в атоме, из массы атома вычитают массу всех электронов.

Энергия связи выразиться формулой

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2.$$

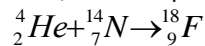
Энергию связи можно выразить также МэВ (мега электрон – вольт), при записи массы изотопов и частиц в атомных единицах мас-

$$\text{сы } E_{\text{св}} = 931 \cdot \Delta m \text{ МэВ}$$

Ядерные реакции.

В ядерных реакциях сохраняются число протонов и число нуклонов; происходит только их перераспределение.

Пример: Реакция образования ядер фтора при поглощении альфа – частиц ядрами азота



Сохраняется зарядовое число(число протонов):

$$2+7=9$$

сохраняется массовое число (число нуклонов):

$$4+14=18$$

Энергия, которая выделиться или поглотиться в ядерной реакции целесообразно рассчитывать по следующей формуле

$$E = 931 \cdot \Delta m \text{ МэВ}$$

$\Delta m$  - разность между суммарной массой частиц, вступивших в реакцию, и суммарной массой продуктов реакции и применительно к данной формуле энергии ядерной реакции, выражается в атомных единицах массы (а. е. м.)

### 3. Примеры решения задач

#### 3.1. Кинематика

##### Задача 3.1.1.

Первую треть пути автомобиль проехал со скоростью 60 км/ч, оставшуюся часть со скоростью 80 км/ч. Определить среднюю скорость автомобиля и путь, если он был в пути 5 ч. Определить стоимость израсходованного топлива, если расход топлива 8 литров на 100 км и стоимость одного литра – 20 руб.

Дано:

$$v_1 = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, v_2 = 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, t = 5 \text{ ч.}$$

---

$$v_{\text{cp}} - ?, S - ?, C - ?.$$

---

Решение:

1. Средняя скорость определяется как отношение пройденного расстояния к промежутку времени, за который это расстояние было пройдено.  $v_{\text{cp}} = \frac{S}{t}$ .

Анализируя условие задачи, выделим участки, в данном случае это участки пути. Первую треть всего пути  $\frac{S}{3}$  автомобиль двигался со скоростью  $v_1$ , следовательно, он прошёл этот участок за время  $t_1 = \frac{S}{3 \cdot v_1}$ .

Оставшуюся часть пути  $\frac{2S}{3}$  автомобиль двигался со скоростью  $v_2$ , следовательно, он прошёл этот участок за время  $t_2 = \frac{2S}{3 \cdot v_2}$ .

Зная, что полное время  $t = t_1 + t_2$ , подставляем в формулу средней скорости.



$$v_{cp} = \frac{S}{t} = \frac{S}{t_1 + t_2} = \frac{S}{\frac{S}{3 \cdot v_1} + \frac{2S}{3 \cdot v_2}} = \frac{S}{S \cdot \left( \frac{v_2 + 2v_1}{3 \cdot v_1 \cdot v_2} \right)} = \frac{3 \cdot v_1 \cdot v_2}{v_2 + 2v_1} = \frac{3 \cdot 60 \cdot 80}{80 + 2 \cdot 60} \left( \frac{\frac{км}{ч} \cdot \frac{км}{ч}}{\frac{км}{ч}} \right) = 72 \left( \frac{км}{ч} \right)$$

2. Путь, пройденный автомобилем

$$S = v_{cp} \cdot t = 72 \cdot 5 \left( \frac{км}{ч} \cdot ч \right) = 360 (км)$$

3. Зная расход топлива, определим величину израсходованного топлива:

$$\text{так, как } \frac{8л}{100км} = 0,08 \frac{л}{км},$$

$$\text{то } V = 0,08 \cdot 360 \left( \frac{л}{км} \cdot км \right) = 28,8 (л).$$

Стоимость израсходованного топлива:

$$C = 28,8 \cdot 20 \left( л \cdot \frac{руб}{л} \right) = 576 (руб)$$

Ответ: 72 км/ч; 360 км; 576 руб.

### Задача 3.1.2.

На промежутке времени  $[0,5)$  тело движется равноускоренно с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ , на промежутке  $[5,10)$  – по закону

$$S(t) = \frac{1}{3} \cdot t^3 + 2t - \text{зависимость пути от времени и на промежутке}$$

$[10,15]$  – равномерно. Определить скорости тела в моменты времени 3, 8 и 12 секунд.

Построить график ускорения. Начальная скорость равна нулю.

Решение:

Рассмотрим участки движения тела:

1. На промежутке  $[0,5)$  движется равноускоренно, следовательно, скорость выразится формулой:

$$v_1 = v_0 + a \cdot t = a \cdot t = 2 \cdot 3 \left( \frac{м}{с^2} \cdot с \right) = 6 \left( \frac{м}{с} \right),$$

так как начальная скорость равна нулю.

2. На промежутке  $[5,10]$  движется согласно закону

$$S(t) = \frac{1}{3} \cdot t^3 + 2t.$$

Тогда скорость тела в момент времени 8 с:

$$v = \frac{dS}{dt} = S'(t) = \left(\frac{1}{3} \cdot t^3 + 2t\right)' = t^2 + 2 \quad - \text{ закон изменения}$$

скорости.

$$v_1(8) = 64 + 2 = 66\left(\frac{M}{c}\right)$$

3. На промежутке времени  $[10,15]$  тело движется равномерно, тогда скорость неизменна и равна скорости, которой достигло тело в момент времени равный 10 с, двигаясь по закону

$$S(t) = \frac{1}{3} \cdot t^3 + 2t.$$

$$\text{Так как } v = t^2 + 2, \text{ то } v(10) = 100 + 2 = 102\left(\frac{M}{c}\right)$$

$$\text{Скорость тела в момент времени 12 с, } v_3 = 102\left(\frac{M}{c}\right).$$

4. Для построения графика ускорения от времени необходимо проанализировать характер движения на каждом промежутке времени.

1). На промежутке  $[0,5]$  ускорение постоянно, т.е. прямая параллельная оси времени.

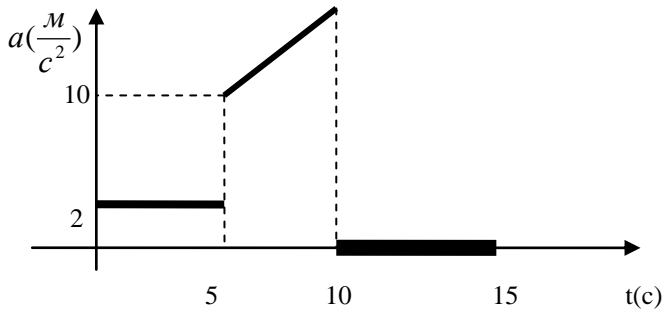
2). На промежутке  $[5,10]$ , ускорение изменяется согласно

закону  $a = \frac{dv}{dt} = (t^2 + 2)' = 2t$  - линейная зависимость и графиком является прямая, одна из точек, которой имеет координаты

$$a(5) = 2 \cdot 5 = 10\left(\frac{M}{c^2}\right).$$

3). На промежутке  $[10,15]$ , ускорение равно нулю, так как движение равномерное.

График зависимости ускорения от времени имеет вид:



### 3.2 Динамика

**Задача 3.2.1.** Автомобиль массой 10 тонн, движется равномерно со скоростью 36 км/ч по выпуклому мосту с радиусом кривизны 25 м. Определить вес автомобиля с грузом в средней точке моста.

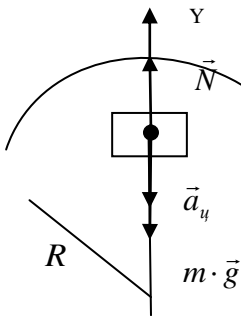
Дано:

$$v = 36\left(\frac{км}{ч}\right) = 36 \cdot \frac{1}{3,6} \left(\frac{M}{c}\right) = 10\left(\frac{M}{c}\right), R = 25(M), m = 10^4(кг)$$

Р-?

Решение:

1). Построение чертежа и обозначение сил действующих на тело.



2) Запись второго закона Ньютона в векторной форме. На тело действует две силы: сила реакции опоры и сила тяжести, под действием которых тело движется по окружности с центростремительным ускорением.

$$\vec{N} + m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}_y$$

3). Проводим вертикальную ось ОУ и находим проекцию на эту ось.

$$OY: N - m \cdot g = -m \cdot a_y$$

$$N = m \cdot (g - a_y)$$

Учитываем то, что сила реакции опоры равна весу тела, по третьему закону Ньютона:  $P=N$ .

Центростремительное ускорение связано со скоростью тела и радиусом кривизны:

$$a_y = \frac{v^2}{R}$$

$$P = N = m \cdot (g - \frac{v^2}{R}) = 10^4 \cdot (9,8 - \frac{100}{25})(\text{кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}^2}) = 5,8 \cdot 10^4 (\text{Н}) = 58 \text{кН}$$

Ответ: 58 кН.

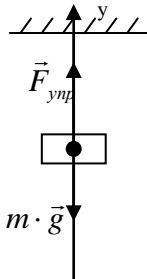
**Задача 3.2.2.** Лифт массой 150 кг поднимают из шахты с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ , на стальном тросе. Зная, что запас прочности равен 10, определить площадь поперечного сечения троса, если предел прочности стали равен 0,5 ГПа.

Дано:

$$m = 150(\text{кг}), a = 1(\frac{\text{М}}{\text{с}^2}), n = 10, \sigma_{np} = 0,5(\text{ГПа}).$$

S - ?

Решение:



Исходя из определения запаса прочно-

сти:  $n = \frac{\sigma_{np}}{\sigma}$  (1)- отношение предела

прочности к механическому напряжению в образце.

$$\sigma = \frac{F_{ynp}}{S} \quad (2)$$

Из второго закона Ньютона:

$$F_{ynp} - m \cdot g = m \cdot a$$

Тогда, выражая силу упругости, и подставляя в формулу (2):

$$\sigma = \frac{F_{\text{упр}}}{S} = \frac{m \cdot (g + a)}{S}$$

Подставляем полученное выражение в формулу запаса прочности (1).  $n = \frac{\sigma_{\text{нр}}}{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{упр}} \cdot S}{m \cdot (g + a)}$

Выражаем площадь поперечного сечения:

$$S = \frac{m \cdot (g + a) \cdot n}{\sigma_{\text{упр}}} = \frac{150 \cdot (9,8 + 1) \cdot 10}{0,5 \cdot 10^9} \left( \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{Па}} \right) \approx 0,32 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2)$$

Размерность:  $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м}^2$

Ответ:  $3,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ .

**Задача 3.2.3.** Шар скатывается с вершины горы высотой  $h$ . Определить скорость шара в основании горы. Трением пренебречь.

Решение:

Используем закон сохранения энергии:

На вершине горы шар обладает потенциальной энергией  $W_n = mgh$

У основания горы обладает кинетической энергией поступательного и вращательного движения  $W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2}$

Момент инерции шара:  $I = \frac{2}{5} m \cdot R^2$

Линейная скорость связана с угловой скоростью:  $\omega = \frac{v}{R}$

Подставляя данные значения в формулу кинетической

энергии:

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{\frac{2}{5} m R^2 \cdot \frac{v^2}{R^2}}{2} = \frac{7}{10} m \cdot v^2$$

На основании закона сохранения энергии ( т.к. не действуют силы трения): потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию:

$$W_n = W_k$$

$$mgh = \frac{7}{10} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{10 \cdot g \cdot h}{7}}$$

Скорость шара однозначно определяется высотой.

$$\text{Ответ: } v = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot g \cdot h}$$

**Задача 3.2.4.** У светофора трактор, движущийся равномерно со скоростью 18 км/ч, обогнал автомобиль, который из состояния покоя начал двигаться с ускорением  $a = 1,25 \text{ м/с}^2$ . Определить: 1) на каком расстоянии от светофора автомобиль обгонит трактор; 2) скорость автомобиля при обгоне.

**Решение.** 1. В начальный момент  $t = 0$  скорость автомобиля равна нулю, а скорость трактора  $u_T = 18 \text{ км/ч}$ . Так как автомобиль движется равноускоренно, пройденный им путь выражается формулой

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad (1)$$

где  $a$  — ускорение автомобиля;  $t$  — время.

Если  $t$  — время, за которое автомобиль догонит трактор, то  $s$  — расстояние от светофора до места, где произойдет обгон.

За время  $t$  такой же путь пройдет трактор, движущийся

равномерно, т. е.

$$S = v_T t, \quad (2)$$

где  $v_T$  — скорость трактора.

Приравнивая правые части (1), (2), получаем

$$at^2 / 2 = v_T t, \quad (3)$$

откуда

$$t = 2v_T / a \quad (3')$$

Путь  $s$ , пройденный автомобилем от светофора до места обгона, получим по формуле (1), подставив вместо  $t$  выражение (3'):

$$S = \frac{at^2}{2} = \frac{a}{2} \left( \frac{2v_T}{a} \right)^2 = \frac{a}{2} \frac{4v_T^2}{a^2} = \frac{2v_T^2}{a} \quad (4)$$

Проверим формулу (4):

$$m = \frac{(m/c)^2}{m/c^2} = \frac{m^2}{c^2} \frac{c^2}{m} = m$$

Выразим в СИ скорость трактора:

$$v_T = 18 \text{ км/ч} = 18 \frac{1000}{3600} \text{ м/с} = 5,0 \text{ м/с}$$

Вычислим искомое расстояние от светофора до места обгона:

$$S = \frac{2 \cdot 5,0}{1,25} = 40 \text{ м}$$

2. Скорость автомобиля, движущегося равноускоренно, выражается формулой  $u=at$ . При подстановке в неё выражения

(3') получим

$$v = a2v_T / a = 2v_T .$$

Вычислим искомую скорость автомобиля:

$$u = 2 \cdot 5,0 \text{ м/с} = 10 \text{ м/с}.$$

**Задача 3.2.5.** Тело массой  $m=1$  кг вращается на тонком стержне в вертикальной плоскости. Частота вращения равна  $n= 2 \text{ с}^{-1}$ , длина стержня  $R = 12,5$  см. Определить силу натяжения стержня: 1) в верхней и 2) в нижней точках.

**Решение.** 1. На тело в верхней точке действуют сила тяжести  $P = mg$  и сила натяжения  $T$  стержня (рис. 2). В результате действия двух сил тело движется по окружности т. е. с центростремительным ускорением

$$a_{\text{цс}} = \omega^2 R, \quad (1)$$

где  $\omega$  — угловая скорость;  $R$  — радиус траектории. Учитывая, что  $\omega = 2\pi n$ , можем записать

$$a_{\text{цс}} = 4\pi^2 n^2 R. \quad (2)$$

Направление сил  $T$  и  $P$  совпадает с вектором  $a_{\text{цс}}$ , поэтому второй закон Ньютона запишем в скалярном виде:

$$T_1 + mg = ma_{\text{цс}}, \quad (3)$$

или с учетом (2)

$$T_1 + mg = 4m\pi^2 n^2 R, \quad (4)$$

откуда

$$T_1 = m(4\pi^2 n^2 R - g). \quad (5)$$

Выразим в СИ числовые значения  $R$  и  $g$ :  $R = 0,125$  м,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Вычислим по формуле (5) искомую силу натяжения стержня в верхней точке траектории:

$$T_1 = 1(4\pi^2 \cdot 3,14^2 \cdot 2^2 \cdot 0,125 - 9,81) \text{ Н} = 9,93 \text{ Н}.$$

2. В нижней точке траектории на тело действуют (рис. 3) те же силы  $P=mg$  и  $T_2$ . Однако сила  $P$  в данном случае направлена противоположно вектору  $a_{\text{ц.с}}$ . В связи с этим второй закон Ньютона имеет вид

$$T_2 - mg = 4m\pi^2 n^2 R,$$

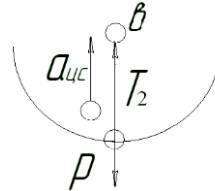
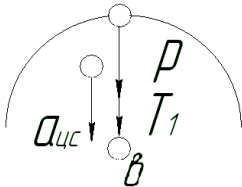


откуда

$$T_2 = m(g + 4\pi^2 n^2 R).$$

После подстановки имеем

$$T_2 = 1(9,81 + 4 \cdot 3,14^2 \cdot 2^2 \cdot 0,125) \text{Н} = 29,55 \text{ Н}.$$



**Задача 3.2.6.** Подъемный кран за время  $t=6$  ч поднимает строительные материалы массой  $m = 3000$  т на высоту  $h=15$  м. Определить мощность двигателя подъемного крана, если его коэффициент полезного действия  $\eta=0,8$ .

**Решение.** Подъемный кран, поднимая груз на высоту  $h$ , увеличивает его потенциальную энергию. Работа  $A$ , совершаемая двигателем подъемного крана, идет на подъем груза и на работу против сил трения в механизмах. Полезная работа  $A_n$  двигателя равна увеличению потенциальной энергии груза:

$$A_n = mgh,$$

где  $g$  — ускорение свободного падения.

Коэффициент полезного действия  $\eta$  равен отношению полезной мощности  $N_n$  ко всей потребляемой мощности  $N$ :

$$\eta = N_n/N.$$

Учитывая, что  $N_n = A_n/t = mgh/t$  запишем выражение (1) в виде

$$\eta = mgh/(Nt).$$

Мощность двигателя равна

$$N = mgh/(\eta t). \quad (2)$$

Проверим формулу (2):

$$W_T = \text{кг} \frac{m}{c^2} \cdot m \cdot \frac{1}{c} = \frac{\text{кг} \cdot m}{c} \cdot \frac{m}{c} = \frac{H \cdot m}{c} = \frac{\text{Дж}}{c} = W_T.$$

Выпишем в СИ числовые значения величин, входящих в (2):

$$m = 3 \cdot 10^6 \text{ кг}, g = 9,8 \text{ м/с}^2, t = 2,16 \cdot 10^4 \text{ с}.$$

Вычислим искомую мощность двигателя:

$$N = \frac{3 \cdot 10^6 \cdot 9,81 \cdot 15}{0,8 \cdot 2,16 \cdot 10^4} \text{ Вт} = 25,5 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 25,5 \text{ кВт}.$$

**Задача 3.2.7.** Тело массой  $m=200$  г .прикреплено к нити и вращается по окружности радиусом  $R_1 = 80$  см с постоянной линейной скоростью  $u_1 = 150$  см/с. При вращении нить укорачивается на длину  $l = 30$  см. Определить: 1) установившуюся скорость вращения; 2) частоту вращения.

Решение. 1. При равномерном вращении тела уменьшение длины нити создается силой  $F$ , направленной вдоль радиуса  $R_1$  Плечо  $R$  этой силы равно нулю; следовательно, момент силы  $M=FR$  также равен нулю. Вращение тела, свободного от действия моментов сил, подчиняется закону сохранения момента импульса:

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2, \quad (1)$$

где  $J_1$  и  $\omega_1$  — момент инерции и угловая скорость тела в начальный момент времени;  $J_2$  и  $\omega_2$ — то же, в конечный момент времени.

Следовательно, начальный момент импульса  $J_1 \omega_1$  равен моменту импульса  $J_2 \omega_2$  тела после укорачивания нити. Считая, что тело представляет собой материальную точку, определим его момент инерции:

$$J = mR^2, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус окружности, по которой вращается тело. Угловую скорость выразим через линейную:

$$\omega = u/R. \quad (3)$$

Для начального момента времени по формулам (2) и (3) получим

$$J_1 = mR_1^2, \quad \omega_1 = v_1 / R_1 \quad (4)$$

После укорачивания нити

$$J_2 = mR_2^2, \quad \omega_2 = v_2 / R_2 \quad (5)$$

Подставляя в (1) выражения (4) и (5), получаем

$$mR_1 u / R_1 = mR_2^2 v_2 / R_2.$$

После преобразований с учетом того, что  $R_2 = R_1 - l$ , окончательно имеем

$$u_1 R_1 = v_2 (R_1 - l), \text{ откуда} \\ v_2 = u_1 R_1 / (R_1 - l). \quad (6)$$

$$\text{Проверим расчетную формулу (6): } \frac{M}{c} = \frac{M/c \cdot M}{M} = \frac{M}{c}.$$

Выразим числовые значения величин в СИ:  $u_1 = 1,50$  м/с,  $R_1 = 0,80$  м,  $l = 0,30$  м.

Вычислим искомую конечную скорость:

$$v_2 = \frac{1,50 \cdot 0,80}{0,80 - 0,30} \frac{м}{с} = 2,4 \text{ м/с}$$

2. Для определения частоты вращения  $n_2$  после укорачивания нити воспользуемся формулами  $\omega_2 = v_2 / R_2 = v_2 / (R_1 - l)$  и  $\omega_2 = 2\pi n_2$ . Приравняв их правые части, получаем  $2\pi n_2 = v_2 / (R_1 - l)$ , откуда

$$n_2 = \frac{v_2}{2\pi(R_1 - l)} \quad (7)$$

$$\text{Проверим формулу (7): } c^{-1} = \frac{M/c}{M} = \frac{1}{c} = c^{-1}$$

Вычислим искомую конечную частоту вращения:

$$n_2 = \frac{2.4}{2 \cdot 3.14 \cdot (0.8 - 0.3)} c^{-1} = 0.76 c^{-1}$$

**Задача 3.2.8.** Диск, катившийся со скоростью  $u_1=3$  м/с, ударился о стену и покатился назад со скоростью  $u_2 = 2$  м/с. Масса диска равна  $m = 3$  кг. Определить уменьшение кинетической энергии диска.

Решение. Кинетическая энергия диска равна сумме кинетических энергий поступательного и вращательного движений:

$$E = E_{\text{пост}} + E_{\text{вр}} \quad (1)$$

$$\text{Здесь } E_{\text{пост}} = mv^2/2; E_{\text{вр}} = I\omega^2/2,$$

где  $m$  — масса диска;  $v$  — скорость поступательного движения;  $J = mR^2/2$  — момент инерции диска;  $\omega = v/R$  — угловая скорость диска;  $R$  — радиус окружности диска.

Подставив в (1) выражения для  $E_{\text{пост}}$ ,  $E_{\text{вр}}$ ,  $J$  и  $\omega$ , получим

$$E = \frac{mv^2}{2} + \frac{1}{2} \frac{mR^2}{2} \left( \frac{v}{R} \right)^2 = \frac{mv^2}{2} + \frac{mv^2}{4} = \frac{3mv^2}{4} \quad (2)$$

Выражение (2) можно использовать для записи полной кинетической энергии  $E_1$  до удара о стену и полной кинетической энергии  $E_2$  после взаимодействия со стеной:

$$E_1 = \frac{3}{4} m v_1^2, \quad E_2 = \frac{3}{4} m v_2^2$$

Разность кинетических энергий

$$E = E_2 - E_1 = \frac{3}{4} m v_2^2 - \frac{3}{4} m v_1^2 = \frac{3}{4} m (v_2^2 - v_1^2)$$

Подставив данные задачи, вычислим искомую разность энергий:

$$E = \frac{3}{4} 3 (2^2 - 3^2) \text{ Дж} = -11,25 \text{ Дж}$$

Знак минус показывает, что произошло уменьшение кинетической энергии диска.

**Задача 3.2.9.** Точка совершает гармонические колебания согласно уравнению  $x = 0,1 \sin \pi t$ . Определить скорость и ускорение точки через  $1/6$  с от начала колебаний.

**Решение.** Запишем уравнение гармонических колебаний в общем виде:

$$x = A \sin \omega t, \quad (1)$$

где  $x$  — смещение точки;  $A$  — амплитуда;  $\omega$  — круговая частота;  $t$  — время.

По определению, скорость равна производной от смещения по времени:

$$v = \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

Подставив (1) в(2), продифференцируем полученное выражение:

$$v = \frac{d(A \sin \omega t)}{dt} = \frac{A d \sin \omega t}{dt} = \frac{A \cos \omega t d(\omega t)}{dt} = A \omega \cos \omega t \quad (3)$$

По определению, ускорение равно производной от скорости по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (4)$$

Подставив (3) в(4), продифференцируем полученное выражение:

$$a = \frac{d(A \omega \cos \omega t)}{dt} = \frac{A \omega d \cos \omega t}{dt} = -\frac{A \omega \sin \omega t d(\omega t)}{dt} = -A \omega^2 \sin \omega t. \quad (5)$$

Из сравнения уравнения  $x=0,1 \sin \pi t$  и формулы (1) видно, что  $A = 0,1$  м,  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ . По формулам (3) и (5) вычислим скорость и ускорение:

$$v = 0,1 \pi \cos \pi t, \quad a = 0,1 \pi^2 \sin \pi t. \quad (6)$$

Проверим формулы (6):

$$\frac{M}{c} = M \cdot c^{-1} = \frac{M}{c}, \quad \frac{M}{c^2} = M \cdot (c^{-1})^2 = \frac{M}{c^2}$$

Вычислим искомые скорость и ускорение точки:

$$u = 0,1 \cdot 3,14 \cos(\pi/6) \text{ м/с} = 0,272 \text{ м/с}, \quad a = -0,1 \cdot 3,14^2 \sin(\pi/6) \text{ м/с}^2 = -0,492 \text{ м/с}^2.$$

### 3.3. Статистическая физика и термодинамика

**Задача 3.3.1.** Какое давление установиться в резервуаре емкостью 200 л, после нагнетания воздуха десятью насосами, поршни которых делают по 100 ходов каждый? Насосы нагнетают воздух при нормальном атмосферном давлении ( $10^5$  Па), объем цилиндра каждого из насосов 0,2 л. Считать, что перед началом нагнетания воздуха, резервуар был пуст и изменение температуры пренебречь.

$$\frac{V_1 = 0,2 \text{ л}, V = 100 \text{ л}, p_{\text{атм}} = 10^5 \text{ Па}, n = 10, N = 100}{p - ?}$$

Решение:

За один ход поршня одного насоса забирается объем  $V_1$ , а за один ход поршней  $n$  насосов -  $n \cdot V_1$ , тогда за  $N$  ходов поршней  $n$  насосов -  $N \cdot n \cdot V_1$ .

Давление в каждом из случаев атмосферное. Воздух, попадая в резервуар, расширяется и занимает весь предоставленный ему объем. Так как процесс изотермический, то используем закон Бойля – Мариотта:

$$n \cdot N \cdot p_{\text{атм}} \cdot V_1 = p \cdot V$$

$$p = \frac{n \cdot N \cdot p_{\text{атм}} \cdot V_1}{V} = \frac{10 \cdot 100 \cdot 10^5 \cdot 0,2}{200} \left( \text{Па} \cdot \frac{\text{л}}{\text{л}} \right) = 10^5 \text{ (Па)}$$

Ответ:  $10^5$  Па.

**Задача 3.3.2.** Определить, при каком градиенте плотности углекислого газа через каждый квадратный метр поверхности почвы продиффундирует в атмосферу в течение 1 ч масса газа  $m = 720$  мг, если коэффициент диффузии  $D = 0,04$   $\text{см}^2/\text{с}$ .

Решение. Масса газа, переносимая в результате диффузии, определяется законом Фика:

$$m = -D \frac{\Delta\rho}{\Delta\chi} St, \quad (1)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии;  $\Delta\rho/\Delta\chi$  — градиент плотности, т. е. изменение плотности, приходящееся на 1 м толщины слоя почвы;  $S$  — площадь поверхности слоя;  $t$  — длительность диффузии.

Из (1) выразим искомый градиент плотности:

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta\chi} = -\frac{m}{DSt} \quad (2)$$

Проверим формулу (2):

$$\text{кг/м}^3 \cdot \text{м} = \text{кг/ (м}^2/\text{с)} \text{ м}^2 \cdot \text{с} = \text{кг/м}^4.$$

Выпишем числовые значения всех величин, входящих в формулу (2), в единицах СИ:  $m = 7,2 \cdot 10^{-4}$  кг,  $D = 4 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $S = 1$  м<sup>2</sup>,  $t = 3,60 \cdot 10^3$  с.

Вычислим градиент плотности:

$$\frac{\Delta\rho}{\Delta\chi} = -\frac{7,2 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-6} \cdot 3,6 \cdot 10^3} \text{ кг/м}^4 = -0,05 \text{ кг/м}^4.$$

Отрицательное значение градиента плотности соответствует сущности процесса диффузии: зависимость плотности от расстояния в направлении движения диффундирующей массы выражается убывающей функцией, градиент которой — отрицательная величина.

**Задача 3.3.3** Определить количество теплоты, теряемое через бетонные стены родильного отделения фермы КРС площадью  $S = 50$  м<sup>2</sup> за время  $t = 1$  мин, если в помещении температура стены  $t_1 = 15^\circ\text{C}$ , а снаружи  $t_2 = -10^\circ\text{C}$ . Толщина стен  $\Delta x = 25$  см.

**Решение.** Количество теплоты, передаваемое за счет теплопроводности стен, выражается законом Фурье:

$$Q = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} S t, \quad (1)$$

где  $\lambda$ —теплопроводность материала стены;  $\Delta T/\Delta x$  — градиент температуры, т. е. изменение температуры, приходящееся на 1 м толщины стены;  $S$  — площадь поверхности стены;  $t$  — время передачи теплоты.

Проверим формулу (1):

$$\text{Дж} = [\text{Дж}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{К})] \cdot (\text{К}/\text{м}) \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с} = \text{Дж}.$$

Выразим числовые значения всех величин в СИ:  
 $\Delta T = t_2 - t_1 = T_2 - T_1 = -10^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C} = -25^\circ\text{C} = -25 \text{ К}$ ,  $\Delta x = 0,25 \text{ м}$ ,  $S = 50 \text{ м}^2$ ,  
 $t = 60 \text{ с}$ ,  $\lambda = 0,817 \text{ Дж}/(\text{м}\cdot\text{с}\cdot\text{К})$

Подставим числовые значения величин в формулу (1) и вычислим

$$Q = -0,817 \frac{-25}{0,25} 50 \cdot 60 \text{ Дж} = 245 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 245 \text{ кДж}.$$

**Задача 3.3.4** Воздух, взятый при температуре  $t = 0^\circ\text{C}$ , был адиабатно сжат так, что его объем уменьшился в три раза. Определить температуру воздуха после сжатия.

**Решение.** Зависимость между температурой и объемом при адиабатном сжатии выражается уравнением Пуассона:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \quad (1)$$

где  $T_1$ ,  $V_1$  — соответственно термодинамическая температура и объем до сжатия воздуха;  $T_2$ ,  $V_2$  — те же величины после сжатия воздуха;  $\gamma$  — отношение теплоемкости газа при постоянном давлении к теплоемкости газа при постоянном объеме.

Из теории теплоемкостей газов известно, что

$$\gamma = (i + 2)/i$$



где  $i$  — число степеней свободы молекулы газа. Так как воз-дух— газ двухатомный, то  $i=5$  и, следовательно,

$$\gamma=(5+2)/5= 1,4. \text{ Из формулы (1)}$$

получим

$$T_2 = T_1(V_1/V_2)^{\gamma-1} \quad (2)$$

Подставим числовые значения ( $T_1 = 273 \text{ К}$ ,  $\gamma=1,4$ ,  $V_1/V_2 = 3$ ) в (2):

$$T_2 = 273 \cdot 3^{1.4-1} \text{ К} = 273 \cdot 3^{0.4} \text{ К}.$$

Прологарифмируем обе части полученного равенства:  $\lg T_2 = \lg 273 + 0,41 \lg 3 = 2,436 + 0,4 \cdot 0,477 = 2,6268$ .

По значению  $\lg T_2$ , пользуясь таблицей антилогарифмов, найдем

$$T_2 = 424 \text{ К}, \text{ или } t_2 = (T_2 - 273)^\circ\text{C} = (424 - 273)^\circ\text{C} = 151^\circ\text{C}$$

**Задача 3.3.5** Нагреватель тепловой машины, работающей по циклу, Карно, имеет температуру  $t_1=197^\circ\text{C}$ . Определить температуру охладителя, если  $3/4$  теплоты, полученной от нагревателя, газ отдает охладителю.

**Решение.** Термический КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, выражается формулой

$$\eta = (T_1 - T_2) / T_1 \quad (1)$$

или, как и для любого цикла,

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_1 \quad (2)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  — соответственно термодинамические температуры нагревателя и охладителя;  $Q_1$  — теплота, полученная газом от нагревателя;  $Q_2$  — теплота, отданная газом охладителю.

Приравняв правые части формулы (1) и (2), получим

$$(T_1 - T_2) / T_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1. \quad (3)$$

После простых преобразований уравнение (3) примет вид  $T_2 / T_1 = Q_2 / Q_1$  откуда

$$T_2 = T_1 Q_2 / Q_1. \quad (4)$$

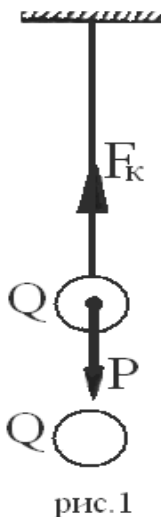
Подставим числовые значения [ $T_1 = (197 + 273)K = 470 K$ ,  $Q_2 = 3/4 Q_1$ ] в (4) и вычислим:

$$T_2 = 470 \frac{3Q_1}{4Q_1} K = 352 K, \text{ или } t_2 = 79^\circ C.$$

### 3.4. Электричество и магнетизм

**Задача 3.4.1.** На непроводящей нити в воздухе подвешен шарик массой  $m=100$  мг, несущий положительный заряд  $Q$ . Если снизу на расстоянии  $r = 4$  см поместить такой же шарик, натяжение нити исчезнет. Определить заряд шарика.

**Решение.** При поднесении снизу шарика такой же массы и с таким же зарядом, как у подвешенного (рис. 1), сила кулоновского отталкивания шариков уравнивает силу тяжести шарика. При этом шарик находится в равновесии; следовательно,



$$F_K = P. \quad (1)$$

Выразим в соответствии с законом Кулона силу  $F_K$ :

$$F_K = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \quad (2)$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная;  $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость воздуха.

Подставив (2) и (1) и выразив силу тяжести  $P$  через массу шарика  $m$  и ускорение свободного падения  $g$ , получим

$$\frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = mg, \text{ откуда}$$

$$Q = 2r\sqrt{\pi\epsilon_0\epsilon mg}. \quad (3)$$

Проверим формулу (3):

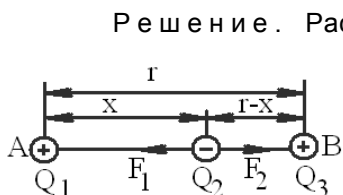
$$\begin{aligned}
 Кл &= m \sqrt{\frac{\phi}{m} \frac{кЭ}{c^2} \frac{м}{c^2}} = \sqrt{m^2 \frac{Кл}{В} \frac{кЭ}{c^2}} = \sqrt{\frac{Кл \cdot м}{В} \frac{кЭ \cdot м}{c^2}} = \\
 &= \sqrt{\frac{Кл \cdot Н \cdot м}{В}} = \sqrt{\frac{Кл \cdot Дж}{В}} = \sqrt{\frac{Кл}{В} \cdot Кл \cdot В} = Кл
 \end{aligned}$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $m=10^{-4}$  кг,  $\gamma = 4 \cdot 10^{-2}$

$m, g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ,  $\epsilon = 1$ . Вычислим искомый заряд:

$$\begin{aligned}
 Q &= 2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \sqrt{3 \cdot 14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81} \text{ Кл} = \\
 &= 13,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 13,2 \text{ нКл}.
 \end{aligned}$$

**Задача 3.4.2.** Два положительных заряда  $Q_1 = 7 \text{ нКл}$  и  $Q_2 = 4 \text{ нКл}$  находятся на расстоянии  $r=15 \text{ см}$  друг от друга. Определить положение точки, в которую нужно поместить заряд  $Q_3$ , чтобы он находился в равновесии. Каков должен быть знак заряда  $Q_3$ , чтобы равновесие было устойчивым?



**Решение.** Рассмотрим вопрос об устойчивости равновесия заряда  $Q_3$ . Если заряд  $Q_3$  будет находиться на линии, соединяющей заряды  $Q_1$  и  $Q_2$ , то, каков бы ни был знак заряда  $Q_3$ , силы его взаимодействия с зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$ , будут (направлены по одной прямой в противоположные стороны. Следовательно, отыщется точка на прямой  $AB$  (рис. 5), в которой силы, действующие противоположно на заряд  $Q_3$ , будут уравновешены.

Такая точка находится на расстоянии  $x$  от заряда  $Q_3$ , до заряда  $Q_1$ . При отклонении заряда  $Q_3$  от этой точки вправо или влево возникающее неравенство сил со стороны зарядов  $Q_1$  и  $Q_2$  будет неизменно возвращать заряд  $Q_3$  в положение равновесия. Рассмотрим теперь случай отклонения заряда  $Q_3$  перпендикулярно линии  $AB$ . В том случае, если заряд положительный, при отклонении его вверх или вниз от положения равновесия силы отталкивания его зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  создадут

равнодействующую, отбрасывающую заряд от линии  $AB$ , на которой находится точка равновесия. Следовательно, при  $Q_3 > 0$  положение равновесия не будет устойчивым. Если заряд  $Q_3$  отрицательный, то при его отклонении вверх и вниз от положения равновесия силы притяжения его зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  создают равнодействующие, возвращающие заряд  $Q_3$  на линию  $AB$ . В этом случае равновесие заряда устойчиво.

Так как заряд  $Q_3$  находится в равновесии, то  $F_1$  и  $F_2$  — силы притяжения его соответственно зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  — равны между собой:  $F_1 = F_2$ . Выразив  $F_1$  и  $F_2$  по закону Кулона,

получим  $\frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon \chi^2} = \frac{Q_2 Q_3}{4\pi\epsilon_0 \epsilon (r-x)^2}$ , или  $\frac{Q_1}{x^2} = \frac{Q_2}{(r-x)^2}$ . Извлекая

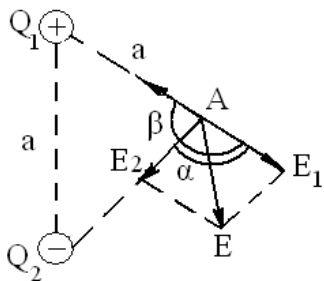
из обеих частей равенства квадратный корень, находим

$$\frac{\sqrt{Q_1}}{x} = \frac{\sqrt{Q_2}}{r-x}, \text{ откуда } x = \frac{r\sqrt{Q_1}}{\sqrt{Q_1} + \sqrt{Q_2}}$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $r=0,15$  м,  $Q = 7 \cdot 10^{-9}$  Кл,  $Q_2 = 4 \cdot 10^{-9}$  Кл.

Вычислим искомое расстояние:

$$x = \frac{0,15\sqrt{7 \cdot 10^{-9}}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-9}} + \sqrt{4 \cdot 10^{-9}}} \text{ м} = 0,0852 \text{ м} = 8,5 \text{ см.}$$



**Задача 3.4.3.** Два заряда  $Q_1 = 9$  нКл и  $Q_2 = -7$  нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a=20$  см. Определить напряженность и потенциал электрического поля в третьей вершине треугольника.

**Решение.** 1. Напряженность электрического поля в точке  $A$  (рис.6) является геометрической (т.

е. векторной) суммой напряженностей  $E_1$  и  $E_2$  полей, создаваемых зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  соответственно:  $E = E_1 + E_2$ .

Модуль результирующей напряженности может быть найден по теореме косинусов как диагональ параллелограмма, построенного на векторах  $E_1$  и  $E_2$ :

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha} \quad (1)$$

Напряженность электрического поля точечного заряда выражается формулой

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \quad (2)$$

где  $Q$ —заряд, создающий поле;  $\epsilon_0$ —электрическая постоянная;  $\epsilon$ —диэлектрическая проницаемость среды;  $r$  — расстояние от расчетной точки поля до заряда, его создающего.

Так как  $r=r_1=r_2=a$ , то имеем

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0\epsilon a^2}, E_2 = \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon a^2} \quad (3)$$

Поскольку  $\alpha=120^\circ$ , преобразуем:

$$\alpha = 180 - \beta, \cos(180 - \beta) = -\cos \beta \quad (4)$$

Подставив (3) и (4) в (1), получим

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon a^2} \sqrt{Q_1^2 + Q_2^2 - 2Q_1Q_2 \cos \beta} \quad (5)$$

Выразим числовые значения величин в СИ:  $Q_1= 9 \cdot 10^{-9}$  Кл,  $Q_2 = -7 \cdot 10^{-9}$  Кл,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м,  $\epsilon=1$ ,  $a=0,2$  м,  $\beta= 60^\circ$ .

Проверим формулу (5):

$$\frac{B}{m} = \frac{\sqrt{Kл^2}}{\phi / м \cdot м^2} = \frac{Kл}{\phi \cdot м} = \frac{Kл \cdot B}{м \cdot Kл} = \frac{B}{м}$$

Подставим в формулу (5) числовые данные и вычислим

$$E = \frac{1}{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 0.2^2} \times \\ \times \sqrt{(9 \cdot 10^{-19})^2 + (7 \cdot 10^{-19})^2 - 2 \cdot 9 \cdot 10^{-9} \cdot 7 \cdot 10^{-9} \cos 60^\circ} = \\ = 1,78 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 1,78 \text{ кВ/м.}$$

*Примечание.* В расчётную формулу (5) подставлены модули зарядов, поскольку их знаки учтены при выводе этой формулы.

2. Потенциал электрического поля в точке А равен алгебраической сумме потенциалов  $\phi_1$  и  $\phi_2$  полей, создаваемых

зарядами  $Q_1$  и  $Q_2$  соответственно:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2. \quad (6)$$

Потенциал поля точечного заряда выражается формулой

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad (7)$$

В формуле (7) обозначения те же, что и в формуле (2). Подставив (7) в (6) и учитывая, что  $r = r_1 = r_2 = a$ , получим

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon a} (Q_1 + Q_2) \quad (8)$$

Подставим числовые значения величин в (8) и вычислим:

$$\varphi = \frac{10^{-9}(9-7)}{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 0.2} B = 90 B$$

**Задача 3.4.4.** Электрон, начальная скорость которого  $v_0 = 2$  Мм/с, влетел в однородное электрическое поле перпендикулярно его линиям напряженности и пролетел его за время  $t=1$  нс. Определить работу сил поля, скорость покидающего поле электрона и отношение работы сил поля к приращению кинетической энергии электрона. Напряженность поля  $E= 10$  кВ/м.

**Решение.** На электрон, находящийся в электрическом поле, действует сила

$$F = eE, \quad (1)$$

где  $e$  — заряд электрона.

Направление этой силы противоположно направлению вектора напряженности поля, т. е. перпендикулярно вектору скорости электрона. Работа этой силы выражается формулой

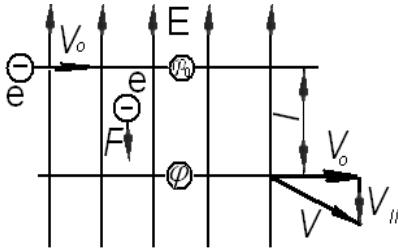
$$A = eU, \quad (2)$$

где  $U = \varphi_0 - \varphi$  — разность потенциалов между начальной и конечной точками траектории электрона в поле.

В однородном электрическом поле, где эквипотенциальные поверхности являются плоскостями, перпендикулярными линиям напряженности поля, разность потенциала выражается формулой

$$U = El, \quad (3)$$

где  $l$  — расстояние между эквипотенциальными поверхностями  $\varphi_0$  и  $\varphi$  (рис. 7).



Движение электрона в электрическом поле по условию задачи является сложным движением, состоящим из двух взаимно перпендикулярных простых движений: равномерного со скоростью  $v_0$  и равно-ускоренного в направлении действия силы

Рис. 7. Последнее началось в

момент влета электрона в электрическое поле. Скорость равноускоренного движения из состояния покоя (движение, параллельное линиям напряженности электрического поля) выражается формулой

$$v = v_0 + v_{II}, \quad (4)$$

где  $a$  — ускорение, определяемое, в свою очередь, по второму закону Ньютона:

$$a = F/m_e, \quad (5)$$

где  $m_e$  — масса электрона.

Величина  $l$  — расстояние, пройденное электроном при равноускоренном движении из состояния покоя за время  $t$  нахождения электрона в поле, может быть выражено так:

$$l = at^2/2.$$

Подставив последовательно (1) в (5) и в выражение для  $l$ , а затем в (3) и, наконец, в (2), получим

$$A = \frac{e^2 E^2 t^2}{2m_e} \quad (6)$$

Проверим формулу (6):

$$Дж = \frac{Кл^2 \cdot В^2 \cdot с^2}{м^2 \cdot кг} = \frac{(Кл \cdot В^2)с^2}{м \cdot кг \cdot м} = \frac{Дж^2}{м \cdot Н} = \frac{Дж^2}{Дж} = Дж^2$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $E = 10^4$  В/м,  $t = 10^{-9}$  с,  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг .

Подставим числовые значения величин в (6) и вычислим

$$A = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (10^4)^2 \cdot (10^{-9})^2}{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31}} Дж = 1,41 \cdot 10^{-18} Дж$$

В соответствии с правилами векторного сложения скоростей в конечной точке пути электрона в поле имеем

$$V = V_0 + V_{II},$$

или, учитывая, что  $v_0 \perp v_{II}$ ,

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_{II}^2} \quad (7)$$

Подставив (1) в (5), затем в (4) и, наконец, в (7), получим

$$v = \sqrt{v_0^2 + \frac{e^2 E^2 t^2}{m_e^2}}, \quad (8)$$

где  $v_0 = 2 \cdot 10^6$  м/с.

Подставим числовые значения величин в (8) и вычислим

$$v = \sqrt{(2 \cdot 10^6)^2 + \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 (10^4)^2 (10^{-9})^2}{(9,11 \cdot 10^{-31})^2}} = 2,66 \cdot 10^6 \text{ м/с } '$$

Отношение работы поля к приращению кинетической энергии электрона выразим формулой

$$\frac{A}{\Delta E_k} = \frac{A}{\frac{m_e v^2}{2} - \frac{m_e v_0^2}{2}} = \frac{2A}{m_e (v^2 - v_0^2)} = \frac{2A}{m_e v_{II}^2}, \quad (9)$$

Из формулы (8) имеем

$$v_{II} = \frac{eEt}{m_e}, \quad (10)$$

Подставив (6) и (10) в (9), получим

$$\frac{A}{\Delta E_k} = \frac{2e^2 E^2 t^2 m_e^2}{2m_e m_e e^2 E^2 t^2} = 1$$



**Задача 3.4.5.** Плоский конденсатор, расстояние между пластинами которого  $d_1 = 10$  см, заряжен до разности потенциалов  $U_1 = 250$  В и отключен от источника. Площадь пластин конденсатора  $S=100$  см<sup>2</sup>. Определить заряд конденсатора. Как изменяется емкость, разность потенциалов, энергия конденсатора и объемная плотность энергии его поля, если в пространство между ними поместить фарфоровую плитку толщиной  $d_2 = 2$  см и прижать к ней пластины?

Решение. Емкостью конденсатора называют величину, равную отношению заряда конденсатора к разности потенциалов между пластинами

$$C_1 = Q/U_1 \quad (1)$$

Зависимость емкости конденсатора от его размеров выражается формулой

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d_1} \quad (2)$$

Выразив из (1) искомый заряд и подставив (2) в полученную формулу, находим

$$Q = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S U_1}{d_1} \quad (3)$$

Проверим правильность формулы (3):

$$Kл = \frac{\Phi \cdot м^2 \cdot В}{м \cdot м} = \frac{Кл \cdot В}{В} = Кл$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$  Ф/м,  $\varepsilon_1=1$ ,  $S=10^{-2}$  м<sup>2</sup>,  $d_1 = 0,1$  м,  $U = 250$  В.

Подставим числовые значения величин в (3) и вычислим

$$Q = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 250}{0,1} = 222 \cdot 10^{-12} Кл = 222 \text{ пКл}$$

Из формулы (2) видно, что изменение вида диэлектрика и расстояния между пластинами конденсатора приводит к изменению его емкости:

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d_2} \quad (4)$$

Разделив почленно (2) на (4), получим

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{\varepsilon_1 d_1}{\varepsilon_2 d_2} \quad (5)$$

Вычислим это отношение, учитывая, что  $\varepsilon_2=5$ ,  $d_2=2 \cdot 10^{-2}$  м:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 0.1} = \frac{1}{25}$$

Следовательно, емкость конденсатора увеличилась в 25 раз. Из формулы (1) получим разности потенциалов для начального и конечного состояний конденсатора:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad \text{откуда} \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad \text{Используй}$$

зую (5), получаем

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{\varepsilon_2 d_1}{\varepsilon_1 d_2} \quad (6)$$

Подставив числовые значения в (6), получим

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{5 \cdot 0.1}{1 \cdot 2 \cdot 10^{-2}} = 25.$$

Следовательно, напряжение на конденсаторе уменьшается в 25 раз.

Энергия поля конденсатора в его начальном и конечном состоянии выражается формулами

$$W_1 = \frac{C_1 U_1^2}{2}, \quad W_2 = \frac{C_2 U_2^2}{2}.$$

Отсюда выражаем отношение энергий:

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{C_1 U_1^2}{C_2 U_2^2} \quad (7)$$

Подставив (5) и (6) в (7), получим

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{\varepsilon_2 d_1}{\varepsilon_1 d_2} = \frac{U_1}{U_2} = 25$$

Следовательно, энергия конденсатора уменьшается в 25 раз. Объемная плотность энергии поля — это энергия, заключенная в единице объема:

$$\omega_1 = \frac{W_1}{V_1} = \frac{W_1}{S d_1}, \quad \omega_2 = \frac{W_2}{V_2} = \frac{W_2}{S d_2},$$

где  $V_1 = Sd_1$  и  $V_2 = Sd_2$  — объемы пространства между пластинами конденсатора в его начальном и конечном состояниях соответственно. Отсюда отношение

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{W_1 d_2}{W_2 d_1} \quad (8)$$

Подставив числовые значения величин в (8), получим

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = 25 \frac{2 \cdot 10^{-2}}{0.1} = 5$$

Следовательно, объёмная плотность энергии уменьшилась в 5 раз.

**Задача 3.4.6.** Электродвигатель работает в сети с напряжением  $U = 120$  В. Мощность двигателя  $N = 1,2$  кВт, коэффициент полезного действия  $\eta = 75\%$ . Определить силу тока, потребляемую двигателем, и сопротивление его обмоток.

Решение. Мощность двигателя

$$N = IU,$$

где  $I$  — сила тока, потребляемая двигателем. Отсюда

$$I = \frac{N}{U}.$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $N = 1,2 \cdot 10^3$  Вт,  $U = 120$  В.

Подставим значения величин в расчетную формулу и вычислим

$$I = \frac{1,2 \cdot 10^3}{120} = 10 \text{ A}$$

Коэффициент полезного действия двигателя

$$\eta = \frac{N_1}{N}, \quad (1)$$

где  $N_1$  — полезная мощность:

$$N_1 = N - N_2, \quad (2)$$

$N_2$  — мощность, расходуемая на нагревание обмоток двигателя;

$$N_2 = I^2 r; \quad (3)$$

здесь  $r$  — сопротивление обмоток.

Подставив (3) в (2) и затем в (1), получим  $\eta = 1 - \frac{I^2 r}{N}$  откуда

$$r = \frac{N(1-\eta)}{I^2}. \quad (4)$$

Подставим числовые значения величин в (4) и вычислим

$$r = \frac{1.2 \cdot 10^3 (1 - 0.75)}{10^2} = 3 \text{ Ом}.$$

**Задача 3.4.7.** Три одинаковых источника тока с ЭДС  $E=1,5$  В каждый соединены параллельно и создают в цепи ток  $I=1$  А. Определить коэффициент полезного действия батареи, если внутреннее сопротивление каждого источника тока  $r=0,3$  Ом.

Решение. При параллельном подключении одинаковых источников тока их общая электродвижущая сила равна ЭДС одного источника. В то же время батарея источников создает разветвленный участок цепи, общее сопротивление которого может быть найдено из формулы проводимости группы параллельно соединенных элементов:

$$\frac{1}{r_{\text{общ}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \quad (1)$$

Поскольку в нашем случае группа параллельно соединенных элементов образована батареей из трех источников тока с общим сопротивлением  $r_6$ , а  $r_1=r_2=r_3=r$ , формулу (1) можем записать в виде

$$r_6=r/3. \quad (2)$$

Батарея источников тока замыкается потребителем электроэнергии, сопротивление которого  $R_n$ . Тогда на основании закона Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{E}{R_n + r_6}$$

Отсюда

$$E = IR_n + Ir_6 = U + Ir_6, \quad (3)$$

где  $U$  — разность потенциалов на зажимах батареи источников электроэнергии. Коэффициент полезного действия батареи

$$\eta = U/E. \quad (4)$$

Из (3) следует, что

$$U = E - Ir_6. \quad (5)$$

Подставив (2) в (5) и затем в (4), получим

$$\eta = 1 - I \frac{r}{3E} \quad (6)$$

Подставим числовые значения величин в (6) и вычислим

$$\eta = 1 - 1 \frac{0.3}{3 \cdot 1.5} = 0.93 = 93\%$$

**Задача 3.4.8.** Термопара с сопротивлением  $r_1 = 6$  Ом включена в цепь с гальванометром, сопротивление которого  $r_2 = 4$  Ом. Чувствительность гальванометра  $I_0 = 5 \cdot 10^{-2}$  мкА. Какое минимальное изменение температуры позволяет определить это измерительное устройство, если постоянная термопары  $k = 5 \cdot 10^{-2}$  мВ/°С?

**Решение.** Минимальное изменение температуры, фиксируемое данным измерительным устройством, соответствует смещению стрелки гальванометра на одно деление. Цена одного деления гальванометра называется его чувствительностью. Следовательно, искомая величина равна разности температур спаев термопары, при которой гальванометр покажет одно деление, т. е. ток  $I_0$ .

Электродвижущая сила термопары, согласно принципу ее действия, пропорциональна разности температур спаев  $\Delta t$ :

$$E = k\Delta t \quad (1)$$

Согласно закону Ома для замкнутой цепи,

$$E = I(r_1 + r_2). \quad (2)$$

Приравняв правые части формул (1) и (2), получим  $k\Delta t = I(r_1 + r_2)$ , откуда, учитывая сказанное выше,

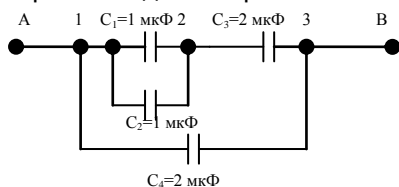
$$\Delta t_{\min} = \frac{I_0(r_1 + r_2)}{k} \quad (3)$$

Выпишем числовые значения величин в СИ:  $I_0 = 5 \cdot 10^{-8}$  А,  $r_1 = 6$  Ом,  $r_2 = 4$  Ом,  $k = 5 \cdot 10^{-5}$  В/°С.

Подставим числовые значения величин в (3) и вычислим

$$\Delta t_{\min} = \frac{5 \cdot 10^{-8} (6+4)}{5 \cdot 10^{-5}} = 10^{-2} \text{с} = 0.01 \text{с}$$

**Задача 3.4.9.** Определить ёмкость батареи конденсаторов и напряжения подведенные к батарее, если напряжение на первом конденсаторе 10 В.



Дано:

$$U_1 = 10 \text{ В}$$

Найти:  $C_{\text{бат}}$ ?,  $U_{AB}$ ?

Решение:

Батарея конденсаторов представляют собой цепи ёмкостей. Разобьём цепь на участки 1-2-3.

1) Участок 1-2 представляет собой два параллельных конденсатора  $C_1$  и  $C_2$ .

Ёмкость этого участка  $C_{12} = C_1 + C_2$

2) Участок 1-3 представляет собой последовательное соединение участка  $C_{12}$  с конденсатором  $C_3$ .

Ёмкость этого участка  $\frac{1}{C_{13}} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3}$  или можно вычис-

лить по следующей форме

$$C_{13} = \frac{C_{12} \cdot C_3}{C_{12} + C_3} = \frac{(C_1 + C_2) \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3}$$

3) Ёмкость всей батареи – это параллельное соединение участка 1-3 с конденсатором  $C_4$ .

Используя формулу параллельного соединения конденсаторов

$$C = C_{13} + C_4 = \frac{(C_1 + C_2) \cdot C_3}{C_1 + C_2 + C_3} + C_4 = \frac{(1+1) \cdot 2}{1+1+2} + 2 = 3(\text{мкФ})$$

Известно, что напряжение на конденсаторе  $C_1$  равно 10 В, следовательно напряжение на  $C_2$  также равно 10 В, так как  $C_1$  и  $C_2$  соединены параллельно.

Участки  $C_{12}$  и конденсатор  $C_3$  соединены последовательно, следовательно заряд на этих участках одинаков  $q_{13} = q_{12} = q_3$ .

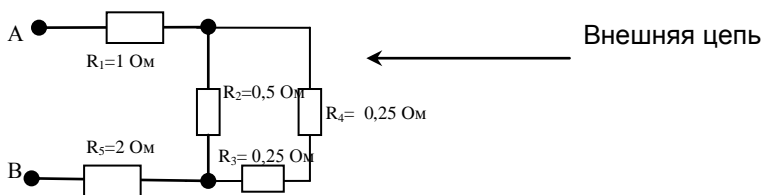
$$q_{12} = C_{12} \cdot U_1 = (C_1 + C_2) \cdot U_1 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 20 \cdot 10^{-6} (\text{Кл})$$

Напряжение на участке 1-3 равно напряжению на конденсаторе  $C_4$  и может быть вычислено по формуле

$$\begin{aligned} U_{AB} &= \frac{q_{13}}{C_{13}} = \frac{q_{12}}{C_{13}} = \frac{q_{12} \cdot (C_1 + C_2 + C_3)}{(C_1 + C_2) \cdot C_3} = \\ &= \frac{20 \cdot 10^{-6} (1 + 1 + 2) \cdot 10^{-6}}{(1 + 1) \cdot 2 \cdot 10^{-6}} \left( \frac{\text{Кл} \cdot \Phi}{\Phi^2} \right) = 20 (\text{В}) \end{aligned}$$

Ответ: 3 мкФ; 20 В.

**Задача 3.4.10** Пять одинаковых аккумуляторов с э.д.с.  $\varepsilon = 2(\text{В})$  и внутренним сопротивлением  $r = 0,15(\text{Ом})$  каждый, соединяют в случае: а) последовательно; б) параллельно. После этого подключают к зажимам цепи АВ представленной на схеме. Определить мощность электрического тока во внешней цепи.



Решение:

Мощность электрического тока во внешней цепи:

$$P = I^2 \cdot R_{\text{вн}}, \text{ где } R_{\text{вн}} - \text{внешнее сопротивление, т.е. со-}$$

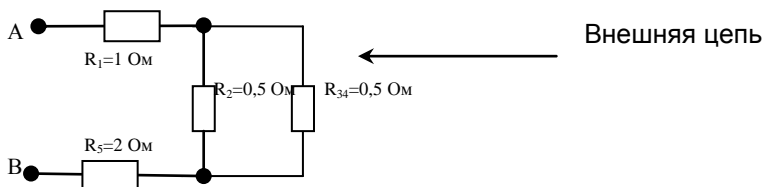
противление внешней цепи.

1). Рассмотрим случай последовательного соединения элементов Э.Д.С. и подключения ко внешней цепи. Для нахождения силы тока используем закон Ома для полной цепи (в случае последовательного соединения элементов Э.Д.С.

$$I = \frac{\varepsilon \cdot n}{R_{\text{вн}} + r \cdot n}, \text{ где } n - \text{ число аккумуляторов.}$$

Основная задача состоит в отыскании величины внешнего сопротивления. Воспользуемся методом эквивалентного сопротивления. Будет сводить данную цепь в элементарную путём замены нескольких сопротивлений одним называемым эквивалентным, при котором сила тока и напряжение не изменяются.

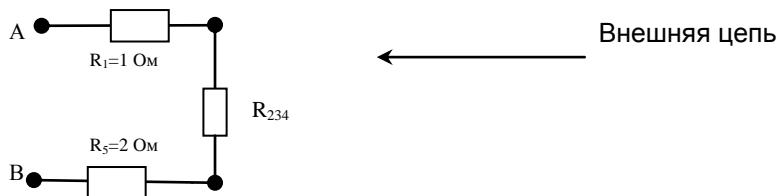
1. Заменяем сопротивления  $R_3$  и  $R_4$ , сопротивлением  $R_{34} = R_3 + R_4 = 0,25 + 0,25 = 0,5$  Ом, тогда схема примет вид:



2. Заменяем сопротивления  $R_2$  и  $R_{34}$  сопротивлением  $R_{234}$ , которое вычисляем по формуле  $\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{34}}$ , так как соединение параллельное. Преобразовав данное выражение:

$$R_{234} = \frac{R_2 \cdot R_{34}}{R_2 + R_{34}} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5} = 0,25(\text{Ом})$$

Эквивалентная схема для данного случая:



Полученную схему достаточно просто рассчитать, так как представляет собой последовательное соединение резисторов:

$$R_{\text{вн}} = R_1 + R_5 + R_{234} = 1 + 2 + 0,25 = 3,25(\text{Ом})$$

Мощность электрического тока при последовательном соединении аккумуляторов:



$$P = I^2 \cdot R_{вн} = \left( \frac{\varepsilon \cdot n}{R_{вн} + r \cdot n} \right)^2 \cdot R_{вн} = \left( \frac{2 \cdot 5}{3,25 + 0,15 \cdot 5} \right)^2 \cdot 3,25 \approx 20,3 (\text{Вт})$$

2) При параллельном соединении аккумуляторов мощность электрического тока:  $P = I^2 \cdot R_{вн}$ , где сила тока  $I = \frac{\varepsilon}{R_{вн} + \frac{r}{n}}$ ,

так как соединение аккумуляторов параллельное.

Тогда подставив формулу силы тока для последовательного соединения аккумуляторов в формулу мощности

$$P = \left( \frac{\varepsilon}{R_{вн} + \frac{r}{n}} \right)^2 \cdot R_{вн} = \left( \frac{2}{3,25 + \frac{0,15}{5}} \right)^2 \cdot 3,25 \approx 1,2 (\text{Вт})$$

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при последовательном соединении аккумуляторов, мощность во внешней цепи выше.

Ответ: 20,3 Вт; 1,2 Вт.

**Задача 3.4.11** По двум длинным прямолинейным и параллельным проводам, расстояние между которыми  $d = 8$  см, в противоположных направлениях текут токи  $I_1 = 3$  А,  $I_2 = 5$  А. Найти магнитную индукцию поля в точке А, которая находится на расстоянии  $r_1 = 2$  см от первого провода на линии, соединяющей провода (рис. 8).

Решение. На рис. 8 провода расположены перпендикулярно плоскости чертежа. Маленькими кружочками изображены сечения проводов. Условимся, что ток  $I_1$  течет к нам, а ток  $I_2$  — от нас. Общая индукция  $B$  в точке А равна векторной (геометрической) сумме индукцией  $B_1$  и  $B_2$  полей, создаваемых каждым током в отдельности:

$$B = B_1 + B_2 \quad (1)$$

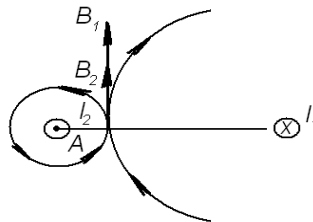


Рис. 8

Для того чтобы найти направление векторов  $B_1$  и  $B_2$ , проведем через точку  $A$   $I_1$  силовые линии магнитных полей, созданных токами  $I_1$  и  $I_2$ . Силовые линии магнитного поля прямого провода с током представляют собой концентрические окружности с центром на оси провода. Направление силовой линии совпадает с движением концов рукоятки правого буравчика, ввинчиваемого по направлению тока (правило буравчика). Поэтому силовая линия магнитного поля тока  $I_1$ , проходящая через точку  $A$ , представляет собой окружность радиусом  $I_1 A$ , а силовая линия магнитного поля тока  $I_2$ , проходящая через эту же точку, — окружность радиусом  $I_2 A$  (на рис. 8 показана только часть этой окружности).

По правилу буравчика находим, что силовая линия магнитного поля тока  $I_1$  направлена против часовой стрелки, а тока  $I_2$  — по часовой стрелке.

Теперь легко найти направления векторов  $B_1$  и  $B_2$  в точке  $A$ : каждый из них направлен по касательной к соответствующей силовой линии в этой точке. Так как векторы  $B_1$  и  $B_2$  направлены вдоль одной прямой в одну сторону, то векторное равенство (1) можно заменить скалярным равенством

$$B = B_1 + B_2. \quad (2)$$

Индукция магнитного поля тока  $I$ , текущего по прямому бесконечно длинному проводу, вычисляется по формуле

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r} \quad (3)$$

где  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $\mu$  — магнитная проницаемость среды, в которой провод расположен;  $r$  — расстояние от провода до точки, в которой определяется индукция.

Подставив выражение (3) для  $B_1$  и  $B_2$  в равенство (2), получим

$$B = \frac{\mu_0 \mu I_1}{2\pi r_1} + \frac{\mu_0 \mu I_2}{2\pi r_2}$$

или

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \left( \frac{I_1}{r_1} + \frac{I_2}{r_2} \right) \quad (4)$$

Выпишем в СИ числовые значения величин:  $r_1 = 0,02$  м,  $r_2 = d=r = 0,06$  м,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м,  $\mu = 1$ .

Вычислим искомую индукцию:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \left( \frac{3}{0.02} + \frac{5}{0.06} \right) Tл = 1,33 \cdot 10^{-6} Tл = 1,33 Tл$$

**Задача 3.4.12.** На виток проволоки, имеющей сопротивление  $R = 0,5$  Ом, подается напряжение  $U = 10$  В. Определить: 1) индукцию магнитного поля в центре витка; 2) магнитный момент витка, если его диаметр 20 см; 3) максимальный вращающий момент, если виток поместить в магнитное поле с индукцией  $B = 5$  Тл.

**Решение.** 1. Индукция магнитного поля в центре витка с током определяется по формуле

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2r}, \quad (1)$$

где  $I$  — сила тока;  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $r$  — радиус витка;  $\mu$  — относительная магнитная проницаемость среды.

Из закона Ома находим силу тока:

$$I = U/R. \quad (2)$$

Подставляя формулу (2) в (1), получим

$$B = \mu_0 \mu \frac{U}{2rR}. \quad (3)$$

Выпишем числовые значения величин, входящие в формулу (3), в СИ:  $U = 10$  В,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м,  $\mu = 1$ ,  $r = 10$  см = 0,1 м,  $R = 0,5$  Ом.

Вычислим искомую индукцию:

$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 10}{2 \cdot 0,1 \cdot 0,5} Tл = 12,6 \cdot 10^{-5} Tл$$

2. Магнитный момент  $p_m$  замкнутого плоского контура с током  $I$  определим по формуле

$$P_m = I^2 S, \quad (4)$$

где  $S$  — площадь контура.

Выражение площади  $S = \pi r^2$  подставим в формулу (4):

$$P_m = I^2 \pi r^2 = \frac{U^2 \pi r^2}{R}.$$

Вычислим магнитный момент:

$$P_m = \frac{10}{0.5} 3.14 \cdot 0.1^2 \text{ A} \cdot \text{м}^2 = 0,63 \text{ A} \cdot \text{м}^2$$

3. Вращающий механический момент, действующий на виток с током, определим по формуле

$$M = p_m B \sin \alpha, \quad (5)$$

где  $p_m$  — магнитный момент;  $B$  — магнитная индукция;  $\alpha$  — угол между направлениями тока и индукции поля.

При  $\alpha = 90^\circ$  механический момент максимален. Подставим числовые значения величин в (5) и вычислим

$$M = 0,63 \cdot 5 \cdot \text{Н} \cdot \text{м} = 3,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

**Задача 3.4.13.** Катушка длиной  $l = 10$  см и площадью сечения  $S = 30 \text{ см}^2$  имеет 12 витков на 1 см длины. Индукция поля в катушке равна  $B = 8 \cdot 10^{-3}$  Тл. Определить: 1) силу тока в катушке; 2) энергию магнитного поля.

**Решение.** 1. Индукцию магнитного поля на оси соленоида определим по формуле

$$B = \mu_0 \mu n I, \quad (1)$$

где  $n$  — число витков на единицу длины катушки;  $I$  — сила тока, протекающего по виткам.

Из формулы (1) определим силу тока:

$$I = \frac{B}{\mu_0 \mu n} \quad (2)$$

Выпишем величины, входящие в формулу (2), в СИ:  
 $M_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м,  $\mu = 1$ ,  $n = 12 \text{ см}^{-1} = 1200 \text{ м}^{-1}$ ,  $B = 8 \cdot 10^{-3}$  Тл.  
 Подставим числовые значения величин в (2) и вычис-

лим

$$I = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3.14 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 1200} A = 5.3 A$$

2. Определим энергию магнитного поля по формуле

$$W = \frac{1}{2} LI^2, \quad (3)$$

где  $L$  — индуктивность катушки;  $I$  — сила тока. Индуктивность катушки находим по формуле

$$L = \mu_0 \mu n^2 V, \quad (4)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость среды;  $\mu_0$  — магнитная постоянная;  $n$  — число витков на единицу длины;  $V$  — объём катушки.

$$\text{Объём катушки равен } V = Sl, \quad (5)$$

где  $S$  и  $l$  — соответственно площадь сечения и длина катушки.

Подставим в формулу (3) выражения (4) и (5):

$$W = \frac{1}{2} \mu_0 \mu n^2 V I^2 = \frac{1}{2} \mu_0 \mu n^2 S l I^2. \quad (6)$$

Выпишем значения величин, входящих в формулу (6), в СИ:  $\mu = 1$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м,  $n = 1200 \text{ м}^{-1}$ ,  $S = 30 \text{ см}^2 = 30 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l = 10 \text{ см} = 0.1 \text{ м}$ ,  $I = 5.3 \text{ А}$ .

Подставим значения величин в (6) и вычислим

$$W = \frac{1}{2} 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1200^2 \cdot 30 \cdot 10^{-4} \cdot 0.1 \cdot 5.3^2 \text{ Дж} = 76 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

**Задача 3.4.14.** Заряженная частица движется в магнитном поле по окружности со скоростью  $v = 10^6$  м/с. Индукция магнитного поля  $B = 0.3$  Тл. Радиус окружности  $r = 4$  см. Определить: 1) заряд частицы, если известно, что ее энергия равна  $T = 1.2 \cdot 10^4$  эВ, 2) ускоряющую разность потенциалов, придавшую

скорость частице.

Решение. 1. На заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, действует сила Лоренца, определяемая по формуле

$$F_{\text{л}} = QBv \sin \alpha, \quad (1)$$

где  $Q$  — заряд частицы;  $B$  — магнитная индукция поля;  $v$  — скорость частицы;  $\alpha$  — угол между векторами скорости и магнитной индукции.

Сила Лоренца обуславливает центростремительное ускорение в соответствии с правилом левой руки, определяющим направление этой силы:

$$F_{\text{л}} = ma_{\text{ц}} = m \frac{v^2}{r}, \quad (2)$$

где  $m$  — масса частицы;  $v$  — ее скорость;  $r$  — радиус окружности.

Приравнявая правые части уравнений (1) и (2), получим  $QBv \sin \alpha = mv^2/r$ . (3)

Уравнение (3) решим относительно  $Q$ :

$$Q = \frac{mv}{B \sin \alpha r}, \quad (4)$$

Движущаяся частица обладает кинетической энергией, которую определим по формуле

$$T, = mv^2/2. \quad (5)$$

Из уравнения (5) определим массу частицы и её выражение подставим в формулу (4):

$$Q = \frac{2T}{B \sin \alpha r v} \quad (6)$$

Выпишем величины, входящие в (6), в СИ:  $T=1,2 \cdot 10^4$  эВ =  $12 \cdot 1,6 \cdot 10^{-16}$  Дж,  $v=10^6$  м/с,  $B=0,3$  Тл,  $r=4$  см= $0,04$  м,  $\alpha=90^\circ$  (так как вектор скорости перпендикулярен вектору индукции поля, частица движется по окружности).

Подставим значения величин в (6) и вычислим

$$Q = \frac{2 \cdot 12 \cdot 1.6 \cdot 10^{-16}}{0.3 \cdot 0.04 \cdot 10^6} = 3.2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

2. По закону сохранения энергии, работа, совершенная электрическим полем при перемещении заряженной частицы, равна кинетической энергии, приобретенной частицей, т. е.

$$A = mv^2/2 = T. \quad (7)$$

Работа поля по перемещению заряда определяется по формуле

$$A = QU, \quad (8)$$

где  $Q$  — заряд частицы;  $U$  — ускоряющая разность потенциалов.

Подставив (8) в (7), выразим искомую разность потенциалов:

$$U = T/Q. \quad (9)$$

Подставив в (9) числовые значения величин в СИ, получим

$$U = \frac{12 \cdot 1.6 \cdot 10^{-16}}{3.2 \cdot 10^{-19}} \text{ В} = 6 \cdot 10^3 \text{ В.}$$

### 3.5. Оптические процессы и физика атома

**Задача 3.5.1.** На высоте 3 м висит лампа и освещает площадку на поверхности земли. На каком расстоянии от центра площадки освещенность поверхности земли в 8 раз меньше, чем в центре?

Дано:  $h=3$  м;  $E_0=8$  Е.

$l - ?$

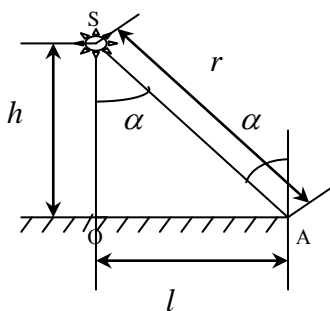
Решение:

По первому закону освещенности, освещенность в центре площадки

$$E_0 = \frac{I}{h^2}$$

Освещенность поверхности земли на расстоянии  $l$  от цен-

тра, по второму закону освещённости  $E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$



Из рисунка видно, что  $\cos \alpha = \frac{h}{r}$ ,

где  $r = \sqrt{h^2 + l^2}$ . Тогда освещённость в точке A

$$E = \frac{I \cdot h}{\sqrt{(h^2 + l^2)^3}} \text{ Освещённость в}$$

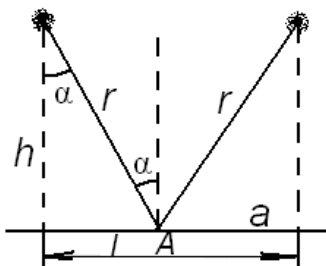
центре больше освещённости в точке A больше в восемь раз

$$E_0 = 8E \Rightarrow \frac{I}{h^2} = \frac{8 \cdot I \cdot h}{\sqrt{(h^2 + l^2)^3}}$$

$$\sqrt{(h^2 + l^2)^3} = 8h^3 \Rightarrow h^2 + l^2 = 4h^2 \Rightarrow l = \sqrt{3} \cdot h = \sqrt{3} \cdot 3 \approx 9,4(\text{м})$$

Ответ: 9,4 м.

**Задача 3.5.2** На каком расстоянии друг от друга необходимо подвесить лампы в теплицах, чтобы освещённость  $E$  на



поверхности Земли в точке, лежащей посередине между двумя лампами, была не менее 200 лк? Высота теплицы  $h=2$  м. Сила света каждой лампы  $I = 800$  кд (рис. 1).

**Решение** Расстояние  $l$  между лампами можно определить из формулы прямоугольного треугольника:

$$l = 2a = 2\sqrt{r^2 - h^2} \quad (1)$$

Лампу можно принять за точечный источник света, так как её размеры малы по сравнению с расстоянием до точки, в которой определяется освещённость. Поэтому найти расстояние  $r$  от лампы до точки A можно из формулы освещённости:



$$E = \frac{1}{r^2} \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол, под которым падают лучи.

Подставив в (2)  $\cos \alpha = h/r$ , выразим  $r$ :

$$r = 2\sqrt[3]{Ih/E}. \quad (3)$$

Подставим выражение (3) в (1):

$$l = 2\sqrt{(\sqrt[3]{Ih/E})^2 - h^2} \quad (4)$$

Подставим числовые значения величин в (4) и вычислим

$$l = 2\sqrt{(\sqrt[3]{800 \cdot 2/100})^2 - 2^2} \text{ м} = 2\sqrt{(\sqrt[3]{16})^2 - 4} \text{ м} = 2,32 \text{ м}.$$

**Задача 3.5.3.** Фокусное расстояние объектива микроскопа  $f_1=5\text{мм}$ , окуляра  $f_2=25\text{ мм}$ . Предмет находится на расстоянии  $s=5,1\text{ мм}$  от объектива (рис. 1). Вычислить длину тубуса микроскопа и даваемое микроскопом увеличение  $\beta$ .

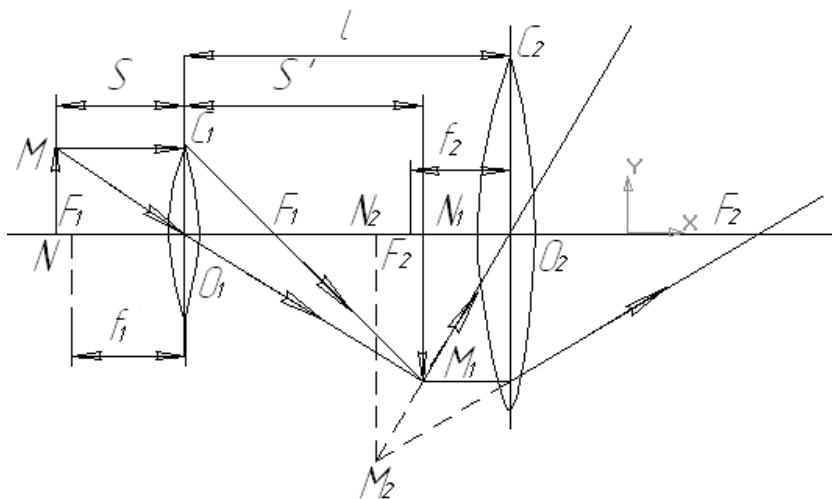


Рис. 1

Решение. Увеличение микроскопа

$$\beta = \beta_1 \beta_2, \quad (1)$$

где  $\beta_1$  — увеличение объектива;  $\beta_2$  — увеличение окуляра определяемые по формулам

$$\beta_1 = S' / f_1; \quad (2)$$

$$\beta_2 = 0.25 / f_2, \quad (3)$$

где  $s'$  — расстояние от объектива до даваемого им действительного изображения; 0,25 м — расстояние наилучшего видения для нормального глаза.

С учетом (2) и (3) формула (1) примет вид

$$\beta = \frac{0.25s'}{f_1 f_2}, \quad (4)$$

Расстояние  $s'$  от объектива до изображения можно найти из формулы линзы:

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

( $s$  — расстояние от предмета до линзы), откуда  $s' = \frac{f_1 s}{s - f_1}$

Подставив выражение для  $s'$  в (4), получим

$$\beta = \frac{0.25s}{f_2(s - f_1)}. \quad (5)$$

Выпишем величины, входящие в формулу (5), в СИ:  $s = 5,1 \cdot 10^{-3}$  м,  $f_1 = 5 \cdot 10^{-3}$  м,  $f_2 = 25 \cdot 10^{-3}$  м.

Длину тубуса определим, исходя из следующих соображений. Действительное изображение, даваемое объективом, должно лежать в фокусе окуляра, так как окуляр действует как лупа (рис. 1). Поэтому длина тубуса

$$L = s' + f_2 = \frac{f_1 s}{s - f_1} + f_2. \quad (6)$$

Подставим числовые значения величин в (5) и (6) и вы-

числим:

$$\beta = \frac{0.25 \cdot 5.1 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3} \cdot (5.1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3})} = 510,$$

$$L = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 5.1 \cdot 10^{-3}}{5.1 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}} \text{ м} + 25 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,28 \text{ м}.$$

**Задача 3.5.4.** Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решетки, если при нормальном падении света длиной волны  $\lambda = 600$  нм решётка дает первый максимум на расстоянии  $l = 3,3$  см от центрального. Расстояние от решетки до экрана  $L = 110$  см.

Решение. Число штрихов  $N$  на 1 мм решетки определим по формуле

$$N = l/d, \quad (1)$$

где  $d$  — период решетки (рис. 11).

Период решётки найдем из условия максимума:

$$d \sin \varphi = k\lambda, \quad (2)$$

где  $\varphi$  — угол, под которым наблюдается  $k$ -й максимум;  $k$  — порядок (номер) максимума.

Ввиду того что для максимума 1-го порядка угол мал, можно принять

$$\sin \varphi = \operatorname{tg} \varphi = l/L. \quad (3)$$

Подставив в формулу (2) выражение синуса угла из (3), определим постоянную решетки:

$$d = k\lambda L/l. \quad (4)$$

С учетом (4) формула (1) примет вид

$$N = l/(k\lambda L). \quad (5)$$

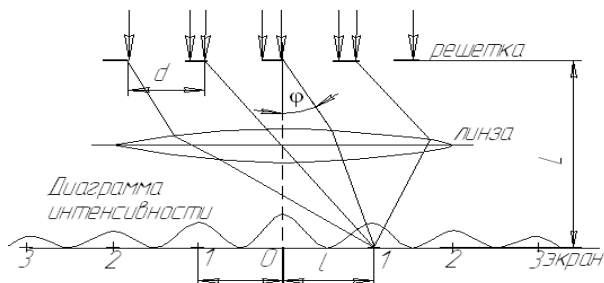


Рис. 11

Выпишем числовые значения величин, входящих в (5), в СИ:  $d = 3,3 \cdot 10^{-2}$  м,  $L = 1,10$  м,  $k = 1$ ,  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м.

Подставим числовые значения величин в (5) и вычислим

$$N = \frac{3,3 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 6 \cdot 10^{-7} \cdot 1,10} \text{ м}^{-1} = 50000 \text{ м}^{-1} = 50 \text{ мм}^{-1}$$

**Задача 3.5.5.** Определить концентрацию  $C$  сахарного раствора, если при прохождении света через трубку длиной  $l = 20$  см с этим раствором плоскость поляризации света поворачивается на угол  $\varphi = 10^\circ$ . Удельное вращение раствора сахара  $[\alpha] = 0,6$  град/(дм·%).

Решение. Из формулы для угла поворота плоскости поляризации определим концентрацию раствора:

$$\varphi = [\alpha] Cl, \quad (1)$$

$$C = \frac{\varphi}{[\alpha]l} \quad (2)$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в (2), в СИ:  $\varphi = 10^\circ$ ,  $[\alpha] = 6$  град/(м·%),  $l = 0,2$  м.

Подставим числовые значения величин в (2) и вычислим

$$C = \frac{10}{6 \cdot 0,2} = 8,33\%.$$

**Задача 3.5.6** Максимум энергии излучения черного тела при некоторой температуре приходится на длину волны  $\lambda_m = 1$  мкм. Вычислить излучательность тела при этой температуре и энергию  $W$ , излучаемую с площади  $S = 300$  см<sup>2</sup> поверхности тела за время  $t = 1$  мин. Определить также массу, соответствующую этой энергии.

**Решение.** Излучательность чёрного тела определим из закона Стефана —Больцмана:

$$R_0 = \sigma T^4, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — постоянная Стефана—Больцмана;  $T$  — термодинамическая температура тела. Из закона смещения Вина

$$\lambda_m = b/T$$

определим термодинамическую температуру:

$$T = b/\lambda_m, \quad (2)$$

где  $\lambda_m$  — длина волны, на которую приходится максимум излучения при температуре  $T$ ;  $b$  — постоянная Вина.

Подставив выражение для  $T$  из (2) в (1), получим

$$R_0 = \sigma (b/\lambda_m)^4 \quad (3)$$

Энергию, излучаемую с площади  $S$  поверхности тела за время  $t$ , определим по формуле

$$W = R_0 S t. \quad (4)$$

По закону Эйнштейна взаимосвязи энергии и массы

$$W = mc^2$$

( $c$  — скорость света в вакууме;  $W$  — энергия) найдем массу соответствующую энергии излучения:

$$m = W/c^2. \quad (5)$$

Проверим формулу (3):

$$\text{Вт}/\text{м}^2 = \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4) (\text{м} \cdot \text{К}/\text{м})^4 = \text{Вт}/\text{м}^2.$$

Выпишем значения величин, входящих в формулы (3), (4), (5), в СИ:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ,  $C' = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$ ,  $\lambda_m = 10^{-6} \text{ м}$ ,  $S = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ ,  $t = 60 \text{ с}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$ .

Подставим числовые значения величин в формулы (3), (4), (5) и вычислим:

$$R_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \left( \frac{2,89 \cdot 10^{-3}}{10^{-6}} \right)^4 = 3,95 \cdot 10^6 = 3,95 \text{ МВт}/\text{м}^2$$

$$W = 3,95 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2} \cdot 60 = 7,10 \cdot 10^6 = 7,10 \text{ МДж}$$

$$m = \frac{7 \cdot 10 \cdot 10^6}{(3 \cdot 10^8)^2} = 7,88 \cdot 10^{-5} \text{ кг}.$$

**Задача 3.5.7** Для предпосевного облучения семян применен лазер, излучающий электромагнитные волны длиной  $\lambda = 632 \text{ нм}$ . Интенсивность излучения  $J = 2 \cdot 10^3 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Определить число фотонов, поглощенных семенем площадью  $S = 5 \text{ мм}^2$ . Время облучения 10 мин.

Решение. Количество фотонов, поглощенных семенем, равно

$$n = W/\varepsilon, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — энергия фотона;  $W$  — энергия света, падающего на семя:

$$W = JSt. \quad (2)$$

Здесь  $J$  — интенсивность излучения, т. е. энергия света, падающего на  $1 \text{ м}^2$  за  $1 \text{ с}$ ;  $S$  — площадь;  $t$  — время.

Энергию фотона определим по формуле Планка:

$$\varepsilon = hc/\lambda, \quad (3)$$

где  $h$  — постоянная Планка;  $c$  — скорость света;  $\lambda$  — длина волны.

Подставив (2) и (3) в (1), получим

$$n = \frac{JSt\lambda}{hc}, \quad (4)$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в (4), в СИ:  $S = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $t = 600 \text{ с}$ ,  $\lambda = 632 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ ,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с}$ .

Подставим числовые значения величин в (4) и вычислим

$$n = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \cdot 600 \cdot 632 \cdot 10^{-9}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 1,91 \cdot 10^{21} \text{ фотонов.}$$

**Задача 3.5.8** На поверхность площадью  $S = 3\text{см}^2$  за время  $t=10$  мин падает свет, энергия которого  $W=20$  Дж. Определить: 1) облученность (энергетическую освещенность) поверхности, 2) световое давление на поверхности, если она или полностью поглощает лучи, или полностью отражает.

Решение. 1. Облученность определим по формуле:

$$E_e = \frac{W}{St}$$

Выпишем значения величин, входящих в эту формулу, в СИ:  $S=3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $t = 600 \text{ с}$ .

Подставим числовые значения величин в расчетную формулу и вычислим

$$E_e = \frac{20}{3 \cdot 10^{-4} \cdot 600} \text{ Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 111 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Световое давление определим по формуле

$$p = E_e(1+\rho)/c, \text{ или } p = \omega(l + \rho),$$

где  $\omega = E_e / c$  — объемная плотность энергии излучения;  $c$  — скорость света в вакууме;  $\rho$  — коэффициент отражения.

Если поверхность полностью поглощает лучи, то  $\rho = 0$  и

тогда

$$p = \frac{111}{3 \cdot 10^8} = 3.70 \cdot 10^{-7} \text{ Па} = 0,370 \text{ мкПа.}$$

Если поверхность полностью отражает лучи, то  $\rho=1$  и тогда  $p = 2 \cdot 0,370 \text{ мкПа} = 0,740 \text{ мкПа}$ .

**Задача 3.5.9** Определить: 1) кинетическую энергию  $T$  и 2) скорость фотоэлектронов при облучении натрия светом длиной волны  $\lambda=400 \text{ нм}$ , если красная граница (порог) фотоэффекта для натрия  $\lambda_{\text{гр}} = 600 \text{ нм}$ .

Решение. 1. Кинетическую энергию фотоэлектронов определим из формулы Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + m\nu^2/2, \quad (1)$$

где  $h$  — постоянная Планка;  $\nu$  — частота света;  $A$  — работа выхода электрона;  $T=m\nu^2/2$  — кинетическая энергия фото-электронов;  $m$  — масса электрона;  $\nu$  — скорость электрона. Из формулы (1) следует

$$T = m\nu^2/2 = h\nu - A. \quad (2)$$

Частоту света определим по формуле

$$\nu = c/\lambda \quad (3)$$

где  $c$  — скорость света;  $\lambda$  — длина волны падающего света.

Для поверхности металла, освещённой светом частотой  $\nu_{\text{гр}}$ , соответствующей красной границе фотоэффекта, кинетическая энергия фотоэлектронов равна нулю и формула (1) примет вид  $h\nu_{\text{гр}}=A$ .

Отсюда найдем работу выхода  $A=h\nu_{\text{гр}}$ , или

$$A=hc/\lambda_{\text{гр}}. \quad (4)$$

Подставим в (2) формулы (3) и (4):



$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_{cp}} = hc \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{cp}} \right). \quad (5)$$

Проверим формулу (5):

$$Дж = Дж \cdot с \cdot м/с \cdot м^{-1} = Дж.$$

Выпишем числовые значения величин, входящих в формулу (5), в СИ:  $h=6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с,  $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$  м,  $\lambda_{rp} = 6 \cdot 10^{-7}$  м.

Подставим числовые значения величин в (5) и вычислим

$$\begin{aligned} T &= 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \left( \frac{1}{4 \cdot 10^{-7}} - \frac{1}{6 \cdot 10^{-7}} \right) = 1.67 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = \\ &= \frac{1.67 \cdot 10^{-19}}{1.60 \cdot 10^{-19}} = 1,04 \text{ эВ} \end{aligned}$$

$$(1 \text{ эВ} = 1.60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}).$$

2. Из формулы  $T = mv^2/2$  определим скорость  $v$  фотоэлектронов:

$$v = \sqrt{2T/m}.$$

Учитывая, что  $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг, вычислим искомую скорость фотоэлектронов:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.67 \cdot 10^{-19}}{9.11 \cdot 10^{-31}}} = 6,06 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 606 \text{ км/с}.$$

**Задача 3.5.10.** Определить энергию фотона, излучаемого атомом водорода при переходе электрона с третьего энергетического уровня на первый, а также длину электромагнитной волны, соответствующую этому фотону.

**Решение.** Переход электрона в атоме водорода с отдалённой орбиты на внутреннюю связан с излучением фотона

(кванта энергии).

$$\varepsilon = h\nu = hc/\lambda, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  — энергия фотона;  $h$  — постоянная Планка;  $c$  — скорость света в вакууме;  $\nu$ ,  $\lambda$  — частота и длина волны, соответствующие фотону с энергией  $\varepsilon$ .

Длина волны излучаемого света связана с номером орбит соотношением

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right), \quad (2)$$

где  $R$  — постоянная Ридберга;  $n$  — номер энергетического уровня, на который переходит электрон;  $k$  — номер энергетического уровня, с которого уходит электрон.

Подставим в (2)  $R = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ ,  $n=1$ ,  $k=3$  и вычислим длину волны  $\lambda$ :

$$\frac{1}{\lambda} = 1,10 \cdot 10^7 \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 9,77 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1},$$
$$\lambda = \frac{1}{9,77 \cdot 10^6} = 1,02 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 102 \text{ нм}$$

В выражение (1) подставим числовые значения величин  $c$ ,  $\lambda$  и вычислим

$$\varepsilon = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,02 \cdot 10^{-7}} = 1,95 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} = \frac{1,95 \cdot 10^{-18}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 12,2 \text{ эВ}$$

**Задача 3.5.11** Навеска почвы, в которую внесено удобрение с радиоактивным фосфором  $^{32}_{15}\text{P}$ , имеет активность  $a=10$  мКи. Определить массу  $m$  радиоактивного фосфора в навеске. Период полураспада изотопа  $T_{1/2} = 14,28$  дня.

Решение. Массу радиоактивного вещества можно определить из формулы

$$N = (m/M) N_A, \quad (1)$$

где  $N$  — число атомов (ядер);  $m/M$  — число молей;  $m$  — масса вещества;  $M$  — масса моля;  $N_A$  — постоянная Авогадро. Из формулы (1) определим

$$m = NM/N_A. \quad (2)$$

Число атомов (ядер)  $N$  связано с активностью вещества соотношением

$$a = \lambda N, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — постоянная распада, связанная с периодом полураспада зависимостью

$$\lambda = 0,693/T_{1/2}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3), а затем в (2), получим

$$m = \frac{aMT_{1/2}}{0,693N_A} \quad (5)$$

Выпишем значения величин, входящих в (5), в СИ:  $a = 10 \cdot 3,7 \cdot 10^4$  Бк,  $M = 32 \cdot 10^{-3}$  кг/моль,  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  1/моль,  $T_{1/2} = 14,28 \cdot 24 \cdot 3600$  с.

Вычислим искомую массу радиоактивного препарата:

$$m = \frac{10 \cdot 3,7 \cdot 10^4 \cdot 32 \cdot 10^{-3} \cdot 14,28 \cdot 24 \cdot 3600}{0,693 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 3,52 \cdot 10^{-14} \text{ кг}$$

**Задача 3.5.12.** Определить дефект массы  $\Delta m$  и энергию связи ядра атома бора  ${}^{10}_5\text{B}$ .

Решение. Дефект массы ядра представляет собой разность массы нуклонов (протонов и нейтронов), составляющих ядро, и массы ядра и определяется по формуле

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (1)$$

где  $Z$  — зарядное число (число протонов в ядре);  $m_p$  —

масса протона;  $A$  — массовое число (общее число нуклонов в ядре);  $(A-Z)$  — число нейтронов в ядре;  $m_n$  — масса нейтрона;  $m_{\text{я}}$  — масса ядра.

Числа  $Z$  и  $A$  указываются при написании символа элемента:  $Z$  — слева внизу;  $A$  — слева вверху; в данном случае для бора  $Z = 5$ ,  $A = 10$  Массу ядра найдем по формуле

$$m_{\text{я}} = m_{\text{а}} - Zm_{\text{е}}, \quad (2)$$

где  $m_{\text{а}}$  — масса нейтрального атома;  $m_{\text{е}}$  — масса электрона.

Чтобы не вычислять каждый раз массу ядра, преобразуем формулу (1) с учетом (2):

$$\Delta m = Zm_{\text{п}} + (A - Z)m_{\text{н}} - m_{\text{а}} \quad (3)$$

Из табл. выпишем:  $m_{\text{п}} = 1,00783$  а.е.м.,

$m_{\text{н}} = 1,00867$  а.е.м.,  $m_{\text{а}} = 10,01294$  а.е.м.

Подставим числовые значения величин, входящих в (3), и вычислим дефект массы ядра бора:

$$\begin{aligned} \Delta m &= 5 \cdot 1,00783 \text{ а.е.м.} + (10 - 5) \cdot 1,00867 \text{ а.е.м.} - \\ &= 10,01294 \text{ а.е.м.} = 0,06956 \text{ а.е.м.} \end{aligned}$$

Энергия связи ядра — энергия, выделяющаяся при образовании ядра в виде электромагнитного излучения, — определяется по формуле

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2, \quad (4)$$

где  $c$  — скорость света в вакууме.

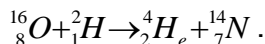
Если энергию связи  $E_{\text{св}}$  выразить в мега электрон-вольтах, дефект массы  $\Delta m$  ядра — в атомных единицах, то формула (4) примет вид

$$E_{\text{св}} = 931 \Delta m, \quad (5)$$

где 931 — коэффициент, показывающий, какая энергия в мега электрон-вольтах соответствует массе 1 а.е.м. Подставив значение  $\Delta m$  в (5), вычислим энергию связи:

$$E_{\text{св}} = 931 \cdot 0,06956 \text{ МэВ} = 64,8 \text{ МэВ.}$$

### Задача 3.5.13 Вычислить энергию ядерной реакции



Выделяется или поглощается эта энергия?

Решение. Энергию ядерной реакции определим по формуле

$$\Delta E = 931 \Delta m, \quad (1)$$

где  $\Delta m$  — изменение массы при реакции, т. е. разность между массой частиц, вступающих в реакцию, и массой частиц, образовавшихся в результате реакции:

$$\Delta m = (m_{{}^{16}_8\text{O}} + m_{{}^2_1\text{H}}) - (m_{{}^4_2\text{He}} + m_{{}^{14}_7\text{N}}). \quad (2)$$

здесь  $m_{{}^{16}_8\text{O}}$  — масса атома кислорода;  $m_{{}^2_1\text{H}}$  — масса атома дейтерия (изотопа водорода);  $m_{{}^{14}_7\text{N}}$  — масса атома азота;  $m_{{}^4_2\text{He}}$  — масса атома гелия. По табл. находим массы этих атомов и по формуле (2) вычисляем  $\Delta m$ :

$$\Delta m = (15,99491 + 2,01410) \text{ а.е.м.} - 2(4,00307 + 14,00260) \text{ а.е.м.} = 0,00334 \text{ а.е.м.}$$

Подставим числовое значение  $\Delta m$  в (1) и вычислим энергию ядерной реакции:

$$\Delta E = 931 \cdot 0,00334 \text{ МэВ} = 3,11 \text{ МэВ.}$$

В результате ядерной реакции выделяется энергия, так как масса исходных ядер больше массы ядер, образовавшихся в результате реакции.

## 4. Контрольные задания

### 4.1. Задачи контрольных работ

1. Измельчитель кормов «Волгарь-5» содержит барабан диаметром 450 мм. Угол поворота барабана после его включения изменяется по закону:  $\varphi = At + B\sqrt{t}$ , где  $A = 0,18 \text{ рад/с}$  и  $B = 15 \text{ рад/с}^{-1/2}$ . Найти угловую скорость вращения барабана через 0,5 мин после начала вращения и линейную скорость точек на поверхности барабана. ( $244 \text{ с}^{-1}$ ,  $109 \text{ м/с}$ )

2. Вентилятор Ц4-70, предназначенный для воздухообмена в животноводческих помещениях, достигает рабочей частоты вращения через 4 мин после включения. Какое число оборотов сделает до этого рабочее колесо вентилятора, если считать его вращение равноускоренным с угловым ускорением  $1,25 \text{ рад/с}^2$ ? Какова будет рабочая частота вращения? ( $5760 \text{ с}^{-1}$ )

3. На барабан молотилки МК-100, имеющей момент инерции  $50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , действует вращающий момент  $105 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , под действием которого барабан сделал 75 полных оборотов. Считая вращение барабана равноускоренным, определить время вращения барабана.

4. Рабочее колесо установленного в коровнике вентилятора МЦ вращается так, что зависимость частоты вращения от времени задается уравнением:  $\nu = A\sqrt{t} + B$ , где  $A = 0,1 \text{ с}^{-3/2}$  и  $B = 12 \text{ с}^{-1}$ . Сколько оборотов сделает барабан через 2 мин от начала вращения?

5. Вычислить момент инерции руки человека относительно плечевого сустава. Масса руки  $4,1 \text{ кг}$ , её длина (при пальцах сжатых в кулак) -  $0,56 \text{ м}$ . Для упрощения принять руку за однородный стержень. С каким ускорением начнет перемещаться рука из горизонтального положения в вертикальное под действием собственной тяжести? Центр масс руки расположен на расстоянии  $28 \text{ см}$  от плечевого сустава.

6. Туловище вертикально стоящего человека (без учета рук) имеет относительно оси вращения, проходящий через его центр масс, момент инерции  $0,86 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Вычислить полный момент инерции тела человека относительно этой же оси, считая, что плечевой сустав находится от нее на расстоянии  $20 \text{ см}$  и масса каждой руки  $4,2 \text{ кг}$ .

7. Человек, расставив руки, стоит на скамье Жуковского, вращающейся относительно вертикальной оси, делая  $1 \text{ об/с}$ . Какова будет частота вращения, если человек прижмет руки к

туловищу? Момент инерции туловища (без рук)  $0,85 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  момент инерции руки в горизонтальном положении  $0,79 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  и в вертикальном положении -  $0,3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Момент инерции скамьи Жуковского равен  $0,15 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

8. Человек стоит на горизонтальной платформе, вращающейся с частотой  $1,1 \text{ об/с}$ . Определить частоту вращения после того как человек ложится на платформу так, что ось вращения проходит через его центр масс. Момент инерции человека в вертикальном и в горизонтальном положениях равны соответственно  $1,2$  и  $17 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Масса платформы  $40 \text{ кг}$  и ее диаметр  $2 \text{ м}$ .

9. Колесо вентилятора начинает вращаться с угловым ускорением  $0,33 \text{ рад/с}^2$  и через  $17 \text{ с}$  после начала вращения имеет момент импульса  $40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ . Вычислить кинетическую энергию колеса через  $25 \text{ с}$  после начала вращения.

10. Под действием вращающего момента  $520 \text{ Н}\cdot\text{м}$  колесчатый вал трактора С-100 начал вращаться равноускоренно и через некоторое время приобрёл кинетическую энергию  $75 \text{ МДж}$ . Сколько времени длится разгон вала? Момент инерции вала  $10 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

11. Интенсивность звука, создаваемого мычанием быка, равна  $10^{-4} \text{ Вт/м}^2$ . Вычислить величину акустического давления создаваемого этим звуком в воздухе. ( $0,3\cdot 10^{-6} \text{ Па}$ )

12. Для уменьшения отражения ультразвука при переходе его от излучателя в облучаемый орган между ними помещают контактное вещество. Каково должно быть акустическое сопротивление такого вещества, чтобы коэффициент отражения на границе между ним и кварцевым излучателем был  $0,05$ ? Плотность кварца  $2,65\cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ , скорость ультразвука в нём  $5,97 \text{ км/с}$ .

13. Для лечения мастита вымени применяют ультразвук с интенсивностью  $0,6 \text{ Вт/мл}$ . Какая энергия ультразвука пройдёт внутрь ткани, если время процедуры  $10 \text{ мин}$  и площадь головки излучателя  $4,5 \text{ см}^2$ ? Коэффициент проникновения ультразвука внутрь ткани  $0,9$ .

14. Определить скорость эритроцитов, движущихся с потоком крови в сонной артерии, если доплеровская частота при отражении ультразвука от эритроцитов оказалась  $1,7 \text{ кГц}$ . Частота ультразвука, падающего под углом  $60^\circ$  к оси артерии, равна  $3 \text{ МГц}$ , а скорость его в крови принять равной  $1,5 \text{ км/с}$ .

15. Кухарь курицы создаёт уровень интенсивности шума  $90 \text{ дБ}$ . Какой уровень интенсивности шума создаёт одно-временное кукарянье  $20$  куриц в птичнике?

16. При стойловом содержании коров уровень интенсивности шума вблизи входа в помещение производственного комплекса недалеко от электродойки составляет 95 дБ, а в дальнем ряду - 70 дБ. Во сколько раз различаются интенсивности шума в этих местах коровника?

17. Согласно санитарным нормам, нахождение человека в помещении с уровнем интенсивности шума 100 дБ не должно превышать 30 мин. Какая энергия проходит за это время через барабанную перепонку человека, площадь которой  $70 \text{ мм}^2$ ?

18. Ушные протекторы беруши снижают уровень интенсивности шума на 20 дБ. Какова интенсивность шума в помещении, если через барабанную перепонку человека, надевшего беруши, за 10 мин прошла энергия 10 мкДж? Площадь барабанной перепонки  $66 \text{ мм}^2$ .

19. При ультразвуковой терапии синовита сустава ультразвук доходит до костной ткани, проходя через кожу толщиной 1 мм и мышечную ткань толщиной 5 мм. Во сколько раз интенсивность ультразвука, дошедшего до сустава, меньше его интенсивности на поверхности кожи? Показатели поглощения ультразвука с частотой 1 МГц в коже и в мышечной ткани соответственно равны:  $0,4 \text{ см}^{-1}$  и  $0,15 \text{ см}^{-1}$ .

20. Вычислить коэффициент отражения ультразвука на границе между костью черепа и мозгом. Плотности мозга и кости черепа соответственно равны:  $1,05 \cdot 10^3$  и  $1,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Скорости ультразвука в этих тканях соответственно 1,52 и 3,66 км/с.

21. Диаметр поршня шприца ветеринарного ШВВ равен 20 мм. Внутренний диаметр иглы 1 мм. Какое давление ветврач должен прикладывать к поршню, чтобы время инъекции составляло 10 с? Длина хода поршня 8 см. Плотность вводимого лекарственного раствора принять равной плотности воды, т.е.  $10^3 \text{ кг/м}^3$

22. В широкой части горизонтальной трубы молокопровода ДКО-8 молоко движется под давлением 2 атм со скоростью 8,5 км/ч. Определить величину избыточного давления в узкой части трубы, если скорость молока в ней 20 км/ч. Плотность молока  $1,029 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

23. В трубе, соединенной с емкостью для транспортировки молока, поддерживается разность давлений  $10^4$  Па. Какую работу совершит насос, перекачивающий через трубу 3000 л молока со скоростью 8 км/ч? Плотность молока  $1029 \text{ кг/м}^3$ . (22,5 КДж)

24. На универсальной доильной станции УДС-3 молоко течет по молокопроводу с внутренним диаметром 38 мм со скоро-



стью 10 км/ч. Какова будет кинетическая энергия молока, содержащегося в молокопроводе длиной 12 м, и какая масса молока протекает через сечение молокопровода за 1 минуту? Плотность молока  $1029 \text{ кг/м}^3$

25. Средний диаметр жировых шариков в свежем молоке 3 мкм. Определить скорость всплытия этих шариков при образовании сливок, если плотность жира  $900 \text{ кг/м}^3$  плотность обраты  $1030 \text{ кг/м}^3$  и динамический коэффициент вязкости обраты 1,1 мПа·с.

26. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) в плазме крови с добавлением антикоагулянта для крупного рогатого скота в норме составляет 0,7 мм/ч. Определить диаметр эритроцитов, считая их сферическими (в действительности их форма более сложная) и что к их движению можно применить закон Стокса. Плотность эритроцитов  $1250 \text{ кг/м}^3$ , плотность жидкости 1030  $\text{кг/м}^3$ . Коэффициент вязкости плазмы с антикоагулянтом 8,5 мПа·с.

27. Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) для свиньи в норме равна 8 мм/ч. При воспалительном процессе эритроциты слипаются в комочки, средний диаметр которых на 30% больше диаметра одного эритроцита, а вязкость плазмы уменьшается на 15%. Какова будет в этом случае величина СОЭ?

28. Какая разность давлений поддерживается на участке артерии с внутренним диаметром 3 мм и длиной 10 см, если объемный поток крови через артерию составляет  $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ? Коэффициент вязкости крови 5 мПа·с.

29. В восходящей части аорты диаметром 3,2 см максимальная скорость крови достигает значения 60 см/с. Будет ли при этих условиях течение крови ламинарным или турбулентным? Критическое значение числа Рейнольдса при движении жидкости в гладкой цилиндрической трубе принять равным 2300. Коэффициент вязкости крови 5 мПа·с, плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ .

30. Какой максимальный объем крови может протекать через артерию с внутренним диаметром 4 мм, чтобы течение было ламинарным? Коэффициент вязкости крови 5 мПа·с. Критическое значение числа Рейнольдса для гладких цилиндрических труб 2300. Плотность крови  $1050 \text{ кг/м}^3$ . При какой максимальной скорости крови течение в артерии стало бы турбулентным? Достижима ли такая скорость?

31. Определить толщину стенки локтевой кости, если её разрыв произошёл при осевой нагрузке 1295 Н. Внешний диа-

метр кости в месте разрыва 13 мм, предел прочности на разрыв 16,2 МПа.

32. Длина большеберцовой кости у лежащей собаки равна 36 см, и площадь поперечного сечения ее в среднем равна  $85 \text{ мм}^2$ . Определить уменьшение длины кости у собаки, когда она стоит, если масса собаки 24 кг. Модуль Юнга  $4,5 \cdot 10^{10}$  Па.

33. Сухожилие длиной 75 мм и площадью поперечного сечения  $80 \text{ мм}^2$  при нагрузке 9,5 Н удлиняется на 15 мм. Определить модуль упругости для этого сухожилия и вычислить для него объемную плотность энергии.

34. Вычислить величину упругого напряжения, возникающего при подвешивании к портняжной мышце лягушки груза массой 10 г. Площадь сечения мышцы  $2,7 \text{ мм}^2$ . Какова будет работа, необходимая для растяжения мышцы под действием веса груза, если её длина возросла от 25 мм до 34 мм? Модуль упругости мышцы при этом растяжении равен 0,95 МПа.

35. Нормальная длина протяжной мышцы лягушки 25 мм. При растяжении до 32 модуль упругости мышцы равен 220 кПа, а при растяжении до 36 мм модуль упругости возрастает до 1,58 МПа. Во сколько раз объемная плотность энергии растяжения мышцы во втором случае больше, чем в первом?

36. Объемная плотность энергии растянутой мышцы  $1,2 \text{ кДж/м}^3$  при относительном удлинении 5%. Какова величина упругого напряжения в мышце? Какова величина модуля упругости мышцы при этих условиях?

37. При взятии крови на анализ на коже делают надрез, к которому подводят кончик капиллярной трубки. Определить коэффициент поверхностного натяжения крови, если диаметр капилляра 0,3 мм и кровь поднялась в нем на высоту 76 мм. Считать смачивание стенки капилляра полным. Плотность крови  $1060 \text{ кг/м}^3$ .

38. Для измерения КПН жидкости сравнительным методом используют сталагмометр, представляющий собой трубку малого диаметра, из которой каплями вытекает жидкость фиксированного объема. Определить КПН мочи, если при вытекании одного и того же объема дистиллированной воды и мочи образуется соответственно 150 и 158 капель. Плотности воды и мочи соответственно 1000 и  $1020 \text{ кг/м}^3$ . КПН дистиллированной воды  $72,7 \text{ мН/м}$ .

39. Врач прописал больному принимать по 50 капель лекарства. Сколько капель лекарства придется принимать больно-

му, если температура жидкости понизилась и КРН при этом возрастает от 71,9 до 74,3 мН/м? Изменением плотности жидкости пренебречь.

40. Масса 100 капель физиологического раствора, вытекающего из капилляра, равна 2,21 г. Определить КРН физиологического раствора, если диаметр шейки капли в момент отрыва равен 1 мм.

41. За какое время через мышцу животного площадью 1 дм<sup>2</sup> и толщиной 10 мм пройдет 2 кДж теплоты, если температура окружающего воздуха 15° С? Коэффициент теплопроводности мышцы  $5,7 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

42. Через сухожилие площадью 3 см<sup>2</sup> за 2 часа проходит 12,6 Дж теплоты. Толщина сухожилия 5 мм. Определить разность температур между внутренней и внешней частями сухожилия. Коэффициент теплопроводности сухожилия  $4,60 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

43. Теплота из внутренних органов свиньи проходит сначала через мышечную ткань толщиной 4,5 см, а затем через жировую ткань толщиной 2,2 см. Температура на внешней поверхности жировой ткани 37 °С, на границе между мышечной и жировой тканями 37,5 °С. Какова температура на внутренней поверхности мышцы? Вычисления провести, не учитывая теплоты, выделяющейся в самой мышце. Коэффициенты теплопроводности мышцы и жировой ткани соответственно равны  $5,70 \cdot 10^{-2}$  и  $2,78 \cdot 10^{-2}$  Вт/(м·К).

44. Какое количество углекислого газа продиффундирует из почвы в атмосферу за 1 час с поверхности шириной 50 см и длиной 18 м, если видимая поверхность в 1,5 раза меньше поверхности почвы, полученной при ее рыхлении? Коэффициент диффузии газов принять в среднем  $0,05 \text{ см}^2/\text{с}$ , а градиент плотности газа  $4 \cdot 10^{-5} \text{ г}/\text{см}^4$ .

45. За сутки с 50 м поверхности дерново-подзолистой почвы продиффундировало 7,25 кг углекислого газа. Вычислить коэффициент диффузии углекислого газа, градиент его плотности в почве равен  $1,42 \text{ кг}/\text{м}^4$ .

46. Осмотическое давление крови 0,763 МПа. Такое же давление должен иметь физиологический раствор, т.е. водный раствор поваренной соли при 37°С. Какую массу поваренной соли необходимо взять для приготовления 2 л физиологического раствора, если степень диссоциации молекул соли 75%?(37 г)

47. В клетках солончаковых растений осмотическое дав-

ление достигает 10 МПа. Определить молярную концентрацию клеточного сока, если температура окружающего воздуха 27 °С. Считать, что молекулы в растворе диссоциированы.

48. Осмотическое давление вторичной мочи для высших животных лежит в пределах от 1.35 до 2.77 МПа. Каковы молярные концентрации солей, соответствующие этим давлениям, если считать температуру тела животных 37 °С? Среднюю степень диссоциации солей принять равной 80%.

49. Вода поступает из лимфы в кровь под действием разности онкотических давлений (онкотическое давление - часть осмотического давления, обусловлено белковыми составляющими). Во сколько раз изменится интенсивность потока воды, если сначала онкотические давления крови и лимфы были соответственно 32 и 9 мм рт. ст., а затем стали 29 и 11 мм рт. ст.?

50. При заболевании диабетом летальный исход наступает, когда концентрация сахара в крови достигает 0.25%. Каково будет при этом осмотическое давление сахара? Считать температуру тела 37°С. Диссоциация молекул сахара ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) отсутствует.

51. Для лечения мастита на вымя накладывают парафиновую аппликацию при температуре 70 °С. Удельная теплоёмкость парафина 3,23 кДж/(кг·К). Вычислить необходимую массу парафина, если для проведения процедуры необходимо передать вымени 185 кДж теплоты. Температура вымени 38°С.

52. Лечение хронического синовита у одной коровы проводили путём наложения озокеритовой аппликации массой 5 кг, а у другой — аппликации из горячей глины массой 6,5 кг. Температура озокерита и глины соответственно 68 °С и 60 °С. Удельные теплоёмкости озокерита и глины соответственно 3,35 и 2,09 кДж/(кг·К). Температура тела коров 38 °С. Во сколько раз теплота, переданная телу коровы озокеритом, больше, чем глиной?

53. Какое количество теплоты затрачивает человек на парообразование, если за сутки он выделяет 0,54 кг пота? Каково полное количество теплоты, выделяемое человеком за сутки, если масса 70 кг и теплопродукция взрослого человека 1,6 Дж/(кг·с)? Удельная теплота парообразования пота 2,45 МДж/кг.

54. В хирургии для местного обезболивания небольших участков тела применяют этиловый эфир. Какое количество теплоты расходует тело на испарение эфира, если на него налито 20 г эфира при 20°С? теплоёмкость эфира 2,34 кДж/(кг · К), температура кипения эфира 34,8 °С. Температура тела 36,6 °С.(0,8

кДж)

55. В боксе с температурой  $61^{\circ}\text{C}$  было пролито 2,5 г хлороформа. Какое количество теплоты потрачено на испарение хлороформа, если его начальная температура была  $18^{\circ}\text{C}$ ? Удельная теплоёмкость хлороформа  $0,98 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ , Удельная теплота парообразования  $2,57 \text{ МДж}/\text{кг}$ . Температура кипения хлороформа  $61^{\circ}\text{C}$ .

56. Вычислите изменения энтропии, создаваемой в сутки лошадью и курицей. Сравните эти величины. Какая из них больше, во сколько раз. Вычислите изменение энтропии в сутки, происходящее на 1 кг тела животного. Какая из этих величин окажется больше? Масса курицы и лошади соответственно 2 кг и 450 кг.

57. Онкотическое давление крови человека равно 28 мм. рт. ст., а лимфы — 9,5 мм. рт. ст. Под действием разности онкотических давлений вода поступает из лимфы в кровь. Вычислить работу перемещения 25 г воды при температуре  $37^{\circ}\text{C}$ .

58. В почках из крови в мочу переходит 50 мл воды при температуре  $38^{\circ}\text{C}$ . Вычислить, во сколько раз осмотическое давление вторичной мочи больше, чем в плазме крови, если осмотическая работа, совершаемая почками, равна 0,67 Дж.

59. Концентрация ионов хлора внутри мышечного волокна лягушки равна 3 мМ/л, а во внеклеточной среде она равна 120 мМ/л. Какая работа совершается силами диффузии при переносе через клеточные мембраны 1 мкг ионов хлора? Температура тела лягушки  $20^{\circ}\text{C}$ .

60. При диффузии 5 мкг калия из аксонов кальмара во внеклеточную среду совершается работа 1,16 мДж. Определить концентрацию ионов калия в аксоне, если во внешней среде она равна 8 мМ/л. Температура тела кальмара  $10^{\circ}\text{C}$ .

61. Разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны митохондрии внутри клетки печени крысы составляет 200 мВ. Толщина мембраны 8 нм. Какова напряженность электрического поля в мембране? Вычислите электроёмкость внешней мембраны митохондрии, если площадь ее поверхности  $13 \text{ мкм}^2$ , считая, что относительная диэлектрическая проницаемость мембраны равна 5.

62. Величина мембранного потенциала покоя для клетки икроножной мышцы лягушки равна 65 мВ. Какова напряжённость электрического поля в мембране толщиной 10 нм? Электроёмкость мембраны в расчете на  $1 \text{ см}^2$  ее поверхности равна 0,48

мкФ. Определить относительную диэлектрическую проницаемость мембраны.

63. Две параллельные металлические пластины, расстояние между которыми 10 мм, поместили в масло и сообщили им разность потенциалов 350 В. Затем расстояние между пластинами уменьшили до 5 мм и, удалив масло, залили яичный белок. При этом разность потенциалов уменьшилась до 42 В. Определить относительную диэлектрическую проницаемость белка, если для масла она равна 2,3.

64. Напряжение на плоском воздушном конденсаторе 24 В. Человек, стоя на изолирующей подставке, касается руками противоположных обкладок конденсатора и при этом их общее напряжение становится 21,4 В. Определить электроёмкость человека, если площадь пластин конденсатора  $1130 \text{ см}^2$  и расстояние между ними 10 мм.

65. Величина поляризационной ёмкости клеточной мембраны достигает 2 мкФ на каждый  $\text{см}^2$  ее поверхности. Определить величину заряда, сосредоточенного на поверхности клетки, если разность потенциалов между внутренней и внешней поверхностями мембраны 90 мВ. Площадь поверхности мембраны  $50 \text{ мкм}^2$ . Сколько ионов находится на поверхности клетки, если все ионы одновалентные?

66. Какой электроёмкостью обладает миелиновая оболочка участка цилиндрического нервного волокна длиной 5 мм, если его диаметр 16 мкм и толщина миелинового слоя 1,5 мкм? Относительная диэлектрическая проницаемость миелина равна 45. Расчёт провести по формуле ёмкости плоского конденсатора.

67. При контакте с проводом электроизгороди на корову действует прямоугольный импульс тока длительностью, 5 мс при напряжении 60 В. Какой заряд проходит при этом через тело коровы, если сопротивление тела  $1,5 \text{ кОм}$ ? Какова мощность электрического разряда?

68. При гальванизации через участок тела лошади за время лечебной процедуры (20 мин) проходит электрический заряд 90 Кл. Определить среднюю плотность тока, если площадь электродов  $350 \text{ см}^2$ .

69. При лечении невралгии на плечевой сустав лошади наложили электроды, соединенные с аппаратом для гальванизации «Поиск-1». Плотность тока должна быть 0,4 мА на  $1 \text{ см}^2$  площади активного электрода, и суммарный ток не должен превышать 200 мА. Какова должна быть площадь активного элект-

трода? Какой заряд пройдет через тело лошади при времени процедуры 25 мин?

70. Для подогрева используемой при поении сельскохозяйственных животных в зимний период воды применяют водонагреватель ВЭП-600, потребляющий мощность 10 кВт. Сколько времени требуется для нагревания 600 л воды от  $4^{\circ}$  до  $22^{\circ}\text{C}$ ? Определить стоимость подогрева воды в месяц, если в хозяйстве ежедневно потребляют 1,8 т подогретой воды. Удельная теплоемкость воды  $4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ . Стоимость электроэнергии 4 коп. за 1 кВт·ч.

71. При раздражении плечевого сустава коровы длительными прямоугольными импульсами электрического тока порог раздражения наступает при 12 мА (реобазис). При длительности импульса 3 мс порог раздражения наступает при 14,5 мА. Каков будет порог раздражения при длительности импульса 0,5 мс? (87 мА)

72. Какова должна быть длительность прямоугольных импульсов электрического тока, если при наложении электродов на основание хвоста коровы порог раздражения наступает при токе 12 мА. Величина реобазиса 4,2 мА. Константа Вейсса  $a = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ A}\cdot\text{s}$ . Вычислить сопротивление этого участка хвоста коровы, если напряжение на электродах 20 В.

73. Величина потенциала действия, создаваемого в аксоне кальмара, 75 мВ. Какова будет величина этого потенциала после прохождения его по немиелизированному аксону на расстоянии 10 мм? Диаметр аксона 0,12 мм, удельное сопротивление аксоплазмы  $0,85 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , поверхностное сопротивление мембраны  $0,09 \text{ Ом}$  на 1 м.

74. На каком расстоянии от места раздражения немиелизованного аксона кальмара потенциал действия уменьшится в 1000 раз, если константа затухания сигнала в аксоне 0,1 мм и поверхностное сопротивление мембраны  $0,1 \text{ Ом}$  на  $1 \text{ м}^2$ .

75. Из трупа свиньи вырезан образец, представляющий собой столбик одинакового поперечного сечения  $8 \text{ см}^2$ , в котором последовательно соединены мышечная и жировая ткани. Длина каждого из участков тканей одинакова и равна 3 см. Зная, что удельное сопротивление жировой ткани  $33 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , вычислить удельное сопротивление мышечной ткани, если к торцам образца приложены напряжения 25 В. ЭДС поляризации была 16 В и сила тока в образце 9 мА.

76. При некоторых заболеваниях крупного рогатого скота применяют электрофорез ионов кальция. Сколько времени

должна продолжаться процедура лечебного электрофореза, если через активный электрод площадью  $350 \text{ см}^2$  необходимо ввести  $7 \text{ мг}$  кальция при плотности тока  $0,2 \text{ мА/см}^2$ ?

77. Концентрация ионов калия в крови кальмара равна  $16 \text{ мМ/л}$ . Какова концентрация этих же ионов в аксоплазме гигантского аксона кальмара, если температура морской воды  $8^\circ \text{ С}$  и величина потенциала покоя аксона  $79 \text{ мВ}$ .

78. Концентрация ионов натрия в аксоплазме каракатицы равна  $49 \text{ мМ/л}$ . Какова концентрация ионов натрия во внешнеклеточной среде, если величина потенциала покоя аксона равна  $57 \text{ мВ}$ ? Температура тела каракатицы  $15^\circ \text{ С}$ .

79. Отношение концентрации ионов калия внутри клетки к концентрации их во внеклеточной среде для гигантского аксона каракатицы равно  $340/10,4$ , а для мышечного волокна лягушки оно равно  $140/25$  (концентрации даны в  $\text{мМ/л}$ ). Во сколько раз мембранный потенциал лягушки больше, чем у каракатицы, при одинаковой температуре внешней среды?

80. Концентрация ионов хлора внутри моторного нейрона кошки равна  $9 \text{ мМ/л}$ , концентрация этих же ионов во внешней среде равна  $125 \text{ мМ/л}$ . Определить величину мембранного потенциала нейрона, если температура тела кошки  $38^\circ \text{ С}$ .

81. В фильтре аппарата для гальванизации имеются дроссель индуктивностью  $65 \text{ Гн}$  и электролитический конденсатор емкостью  $20 \text{ мкФ}$ . Определить сопротивления дросселя и конденсатора переменному току частотой  $50 \text{ Гц}$ . Какой ток пройдет через конденсатор, если напряжение на его обкладках  $170 \text{ В}$ ? Активное сопротивление дросселя не учитывать.

82. Отношение индуктивного сопротивления тела животного к его емкостному сопротивлению оказалось равным  $0,4$ . При какой частоте переменного тока проводились измерения, если индуктивность животного  $4 \text{ мГн}$ , а его электроемкость  $30 \text{ мкФ}$ ?

83. При воспалительных процессах в тканях структура клеточных мембран изменяется и соответственно меняется их электроемкость. Измерения емкостного сопротивления ткани в норме проводились при частоте переменного тока  $1,3 \text{ кГц}$ . Измерения емкостного сопротивления той же ткани при воспалении проводились при тех же условиях, но частота переменного тока была  $6,2 \text{ кГц}$ . Величина емкостного сопротивления во втором случае оказалась в  $3,5$  раза меньше, чем в первом. Во сколько раз уменьшилась электроемкость ткани при воспалении?



84. Во сколько раз изменится полное сопротивление образца мышечной ткани при измерении его в цепях переменного тока с частотой 10 кГц и 100 кГц? Активное сопротивление ткани 80 Ом, ее емкость 0,5 мкФ.

85. При диатермии печени крупного рогатого скота один электрод размером  $12 \times 20 \text{ см}^2$  накладывается спереди на область печени, а второй сзади напротив первого электрода. Сила тока между электродами 1,1 А. Процедуру проводят 15 мин. Какое количество теплоты выделится в объеме печени толщиной 5 см? Удельное сопротивление печени принять равным  $10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

86. Аппарат для индуктотермии ДКВ-1 генерирует переменное напряжение частотой 13,56 МГц. Во сколько раз снизится тепловой эффект, если индуктотермическую катушку присоединить к аппарату для диатермии, работающему на частоте 1625 кГц?

87. Какое количество теплоты выделится за 10 мин в  $0,5 \text{ дм}^3$  вымени при УВЧ-терапии мастита, если эффективная напряженность электрического поля между электродами 350 В/м? Удельное сопротивление вымени принять равным  $8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

88. Объем жировой ткани, подвергающейся УВЧ-терапии, имеет площадь  $8 \text{ см}^2$  и толщину 3 см. Каково его активное сопротивление? Вычислить полное сопротивление этого участка ткани, если его емкость 85 пФ и частота электрического поля, генерируемого аппаратом УВЧ-терапии, равна 4,68 МГц. Удельное сопротивление жировой ткани принять равным  $35 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . ( $1,36 \text{ кОм}$ )

89. Вычислить угол сдвига фаз между током и напряжением для кожи лягушки при частоте переменного тока 2 кГц, если ее активное сопротивление  $2,5 \text{ кОм}$  и емкость  $0,022 \text{ мкФ}$ . Считать активное сопротивление и емкость соединенными последовательно.

90. Угол сдвига фаз между током и напряжением для ламинирии равен  $78^\circ$  при частоте переменного тока 1 кГц. Какова емкость ламинирии, если ее активное сопротивление  $850 \text{ Ом}$ ? Считать активное сопротивление и емкость соединенными последовательно.

91. Фокусное расстояние объектива микроскопа 5 мм, окуляра 18 см. Расстояние от объектива до окуляра 18 см. Какое увеличение дает микроскоп? Определить оптические силы линз микроскопа.

92. Расстояние между фокусами объектива и окуляра

внутри микроскопа 150 мм. Фокусное расстояние объектива 6 мм. С каким фокусным расстоянием следует взять окуляр, чтобы получить увеличение в 850 раз? Определить оптические силы линз микроскопа.

93. Определить оптическую силу окуляра микроскопа, если фокусное расстояние объектива 1,5 мм. Расстояние между объективом и окуляром 21 см. Микроскоп обладает 64-кратным увеличением.

94. Энергетическая освещенность, создаваемая Солнцем на границе земной атмосферы равна  $1,37 \text{ кВт/м}^2$  (солнечная постоянная). Вычислить мощность излучения Солнца, если среднее расстояние от него до Земли равно 150 млн. км. ( $3,87 \cdot 10^{23}$  квт)

95. На рабочих столах пункта ветеринарного обслуживания животных по санитарным нормам полагается освещенность 30 лк. Какую минимальную силу света должна иметь лампа, повешенная на высоте 2 м от поверхности рабочего стола? Какой световой поток будет давать эта лампа? Какова должна быть мощность лампы, если ее светоотдача  $12,6 \text{ лм/Вт}$ ?

96. В коровнике повешен светильник из молочного стекла, имеющий форму шара диаметром 20 см. Сила света светильника 80 кд. Определить световой поток, светимость и яркость светильника.

97. Ультрафиолетовая лампа ДРТ-400 создает на расстоянии 3,5 м от нее при нормальном падении лучей эритемную облученность в  $30 \text{ мэр/м}^2$ . Вычислить величину эритемного потока, создаваемого лампой, и эритемную отдачу лампы, если она потребляет мощность 400 Вт. Считать лампу точечным источником.

98. Для обезвреживания бактериального токсина необходимо создать бактериальную облученность  $156 \text{ мбакт/м}^2$ . Токсин в чашке Петри помещают под УФ-источником БУВ-30, создающий поток 4,5 бак. На каком расстоянии от чашки следует поместить облучатель, считая его точечным источником?

99. Над центром круглой клетки диаметром 2,5 м на высоте 3 м от пола подвешена лампа ЭУВ - 30, создающая силу эритемного облучения  $19,9 \text{ мэр/ср}$ . Определить эритемную облученность в центре пола клетки и на краю клетки на полу.

100. Вертикальная поверхность клетки с животным находится на расстоянии 8 м от ультрафиолетового источника света, состоящего из трех ламп ЛЭ-15. Одна из ламп вышла из строя.

На сколько нужно передвинуть источник к клетке, чтобы облученность ее не изменилась?

101. Можно ли рассмотреть эритроцит диаметром 5 мкм в микроскопе с апертурным углом  $70^\circ$  с красным светофильтром, пропускающим свет с длиной волны 655 нм?

102. В ультрафиолетовом микроскопе используют лучи с длиной волны 0,2 мкм. Можно ли обнаружить этим микроскопом рибосомы внутри клетки, если их диаметр 30 нм? Апертурный угол объектива микроскопа  $65^\circ$ .

103. Объект наблюдают в микроскоп с красным светофильтром, пропускающим длину волны 645 нм, а затем с зеленым светофильтром при длине волны 490 нм. Во втором случае была использована иммерсионная жидкость монобромнафталин с показателем преломления 1,66. Апертурный угол объектива микроскопа  $65^\circ$ . Вычислить в обоих случаях предел разрешения микроскопа.

104. Предельный угол полного внутреннего отражения для роговицы глаза равен  $46^\circ$ . Вычислить для роговицы угол полной поляризации (угол Брюстера).

105. Угол полной поляризации (угол Брюстера) для сывотки крови здорового человека равен  $53,3^\circ$ . Вычислить для сывотки предельный угол полного внутреннего отражения.

106. Определить концентрацию сахара в моче человека, больного диабетом, если в трубке сахариметра длиной 20 см плоскость поляризации света повернулась на  $40^\circ$ . Удельное вращение сахара равно  $66,5 \text{ град}\cdot\text{см}^3/(\text{г}\cdot\text{дм})$ .

107. Определить удельное вращение мятного масла, плотность которого  $905 \text{ кг}/\text{м}^3$ . В трубке поляриметра длиной 20 см угол поворота плоскости поляризации оказался равным  $44^\circ$ .

108. Считая Солнце абсолютно черным телом, определить температуру его поверхности. Радиус Солнца  $6,95\cdot 10^8 \text{ м}$ , расстояние от Земли до Солнца 150 млн. км. Солнечная постоянная (энергетическая освещенность, создаваемая Солнцем на границе земной атмосферы) равна  $1,37 \text{ кВт}/\text{м}^2$ .

109. Во сколько раз теплоотдача (т.е. количество теплоты, излучаемой с  $1 \text{ м}^2$  поверхности тела в секунду) лошади меньше, чем теплоотдача тела птицы при температуре окружающего воздуха  $20^\circ\text{C}$ ? Средние температуры кожи лошади и птицы соответственно принять равными  $25^\circ\text{C}$  и  $33^\circ\text{C}$ . На какие длины волн приходится максимумы излучения тел лошади и птицы?

110. Во сколько раз изменится теплоотдача с поверхности

тела коровы при понижении температуры воздуха в коровнике от 23 °С до 12 °С? Среднюю температуру кожи коровы принять равной 27°С. На какую длину волны приходится максимум излучения тела коровы?(3,75 раз)

111. Фотоактивирование семян происходит излучением гелий-неонового лазера мощностью 25 мВт. Какое число фотонов падает на поверхность семени в минуту? Длина волны излучений 630 нм.

112. Мощность излучения Солнца составляет  $3,84 \cdot 10^{26}$  Вт. Вычислить, какую массу теряет Солнце на излучение в одну секунду. Через сколько лет масса Солнца уменьшится вдвое?

113. Вычислить энергию фотонов, излучаемых гелий-неоновым лазером, если длина волны этого излучения 632,8 нм. Ответ выразить в джоулях и электронвольтах. Сколько фотонов излучает лазер в секунду, если его мощность 50 мВт?( $16 \cdot 10^{25}$ )

114. Известно, что солнечный свет регулирует развитие растений, действуя на фитохром в узле кущения. Определить коэффициент поглощения света в стеблях растений, если на пути 8 см свет ослабляется в 20 раз.

115. Лазерное излучение мощностью 2 мВт может вызвать ожог сетчатки глаза за время 2 с при площади пятна 1,2 мм. Вычислить интенсивность потока лазерного излучения. Какое количество фотонов падает за это время на сетчатку, если длина волны излучения 632,8 нм?

116. В реакции фотосинтеза на образование одной молекулы  $O_2$  расходуется 8 фотонов. Какое количество световой энергии необходимо для образования при фотосинтезе 1 моля кислорода?

117. В лечебно-профилактических целях производят ультрафиолетовое облучение молодняка животных лампами ЛЭ-15, дающими излучение с длиной волны 315 нм. Интенсивность облучения  $15 \text{ мВт/см}^2$ . Какое количество фотонов попадает при 10-минутном облучении на поверхность тела животного площадью  $1,7 \text{ м}^2$ ?

118. Порог зрительного ощущения глаза человека в области его максимальной чувствительности при длине световой волны 555 нм составляет  $3 \cdot 10^{-17}$  Вт. Какое количество фотонов попадает при этом в глаз за одну минуту?

119. Для определения показателя поглощения сыворотки крови ее наливают в кювету и с помощью фотометра определяют, что интенсивность света, прошедшего через столбик сыво-

ротки уменьшаются на 14%. Вычислить показатель поглощения сыворотки, если известно, что показатель поглощения воды равен  $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ .

120. Вычислить показатель поглощения света жировой тканью, если при прохождении света через ткань толщиной 3 мм интенсивность света уменьшилась на 94%.

121. Норма минимальной освещенности для содержания птиц  $E = 20 \text{ лк}$  (лампы накаливания). Определить силу света лампочки, подвешенной на высоте  $h=1 \text{ м}$ , при угле падения света  $60^\circ$ .

122. Для переработки сельскохозяйственных продуктов необходимо создать освещенность  $E = 75 \text{ лк}$ . Определить силу света лампы, которую следует повесить на высоте 1 м.

123. Лампы подвешены в помещении на высоте  $h=0,6 \text{ м}$ . Норма освещенности  $E=400 \text{ лк}$ . Определить силу света ламп, если свет падает нормально к поверхности. Считать, что освещенность создается одной лампой.

124. Норма минимальной освещенности для содержания птиц  $E=60 \text{ лк}$ . Определить силу света лампы, которую необходимо подвесить на высоте  $h=1 \text{ м}$ , чтобы создать под ней такую освещенность.

125. На рабочем месте приготовления кормов следует создать освещенность  $E=100 \text{ лк}$ . На какой высоте должна быть подвешена лампа силой света  $I=100 \text{ кд}$ ?

126. На животноводческой ферме для дезинфекции воздуха в помещении молодняка провели ультрафиолетовое облучение. Интенсивность облучения  $J = 6 \text{ Вт/м}^2$ , длина волны  $\lambda=254 \text{ нм}$ . Сколько фотонов пролетело через площадку  $S=1 \text{ м}^2$  за 1 с? Площадка перпендикулярна лучам.

127. Для агробиологических исследований в питательную смесь введен 1 мг радиоактивного изотопа  $^{32}_{15}\text{P}$ , период полураспада которого равен  $T_{1/2}=14,28 \text{ сут}$ . Определить постоянную распада и активность фосфора.

128. При радиометрических исследованиях в навеске почвы обнаружен стронций  $^{90}_{38}\text{Sr}$ , активность которого  $a = 10^7 \text{ Бк}$ . Какова масса стронция в навеске? Период полураспада  $T_{1/2}=27,7 \text{ года}$ .

129. Для биологического исследования кролику с пищей введен радиоактивный  $^{24}_{11}\text{Na}$ , активность которого  $a = 0,1 \text{ мкКи}$ . Определить массу введенного радиоактивного элемента. Период полураспада изотопа  $^{24}_{11}\text{Na}$  равен  $T_{1/2}=14,96 \text{ ч}$ .

## 4.2. Варианты контрольных заданий

Последняя цифра шифра	Номера задач	
	Предпоследняя цифра шифра четная	Предпоследняя цифра шифра нечетная
1	1,21,31,41,51,62,83,91, 107, 118	3,12,29,40,60,72,89, 101, 127, 116
2	2,13,23,32,41,63,84,92, 108, 120	4, 13,28,39,52,79,90, 102, 115, 126
3	3, 11, 22, 33, 42, 64, 85, 93, 109,119	5, 14,27,38,53,65,75, 103, 114, 125
4	4, 14,24,34,49 65,86,94, 110, 129	6,15,30,37,54,68,76, 104, 113, 124
5	5, 15,25,35,55,66,87,95, 11,121	7, 17,26,36,48,77,87, 105, 112, 123
6	6, 26, 36, 46, 56, 67, 88, 96, 112,122	8, 16,25,35,58,78,86, 106, 111, 122
7	7,27,37,47,57,68,89,91, 114, 124	9,17,22,34,59,67,79, 91,110, 121
8	8,18,28,38,58,69,90,98, 115, 125	2,10,24,33,44,65,80, 92,109, 120
9	9, 19,29,39,59,70,79,99, 116,126	11,23,32,47,61,64,81, 93, 107, 118
0	10,20,50,40,61,71,80, 100, 117, 127	1, 12,21,31,50,62,82, 94; 108, 119

## 5. Приложения

### 5.1. Табличные данные

#### 1. Основные физические постоянные

Ускорение свободного падения	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг} \cdot \text{с}^2$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м}$
Магнитная постоянная	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$

Радиус земли  $R_3 = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$

Масса Земли  $m_3 = 5,96 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

#### 2. Плотность твёрдых тел

Твёрдое тело	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Твёрдое тело	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Твёрдое тело	Плотность, $\text{кг/м}^3$
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$	Железо	$7,88 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$	Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$	Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$	Никель	$8,90 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

#### 3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Жидкость	Плотность, $\text{кг/м}^3$
Вода (при 4 °С)	$1,00 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$	Молоко	$1,03 \cdot 10^3$

#### 4. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, $\text{кг/м}^3$	Газ	Плотность, $\text{кг/м}^3$
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

### 5. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная вода	40	Спирт	22

### 6. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Масло транс-форматорное	2,2
Стекло	7,0	Парафин	2,0
Эбонит	3		

### 7. Удельное сопротивление металлов

Металл	Уд. сопротивление	Металл	Уд. сопротивление
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

### 8. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50

### 9. Работа выходов электронов

Металл	A, Дж	A, эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0



10. Относительные атомные массы (атомные веса) А и порядковые номера Z некоторых элементов

Элемент	Химический символ	A	Z
Азот	N	14	7
Алюминий	Al	27	13
Аргон	Ar	40	18
Водород	H	1	1
Вольфрам	W	184	74
Гелий	He	4	2
Железо	Fe	56	26
Золото	Au	197	79
Калий	K	39	19
Кальций	Ca	40	20
Кислород	O	16	8
Магний	Mg	24	12
Марганец	Mn	55	25
Медь	Cu	64	29
Молибден	Mo	96	42
Натрий	Na	23	11
Неон	Ne	20	10
Никель	Ni	59	28
Олово	Sn	119	50
Платина	Pt	195	78
Ртуть	Hg	201	80
Сера	S	32	16
Серебро	Ag	108	47
Уран	U	238	92
Углерод	C	12	6
Хлор	Cl	35	17

11. Периоды полураспада радиоактивных веществ

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	5,3 года	Стронций	$^{90}_{38}\text{Sr}$	27 лет
Магний	$^{27}_{12}\text{Mg}$	10 мин	Фосфор	$^{32}_{15}\text{P}$	14,3 сут.
Радий	$^{226}_{88}\text{Ra}$	1620 лет	Церий	$^{144}_{58}\text{Ce}$	288 сут
Радон	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 суток			

## 12. Массы атомов легких изотопов

Изотоп	Символ	Масса (а.е.м.)
Нейрон	$0n^1$	1,00867
Водород	$1H^1$	1,00783
	$1H^2$	2,01410
	$1H^3$	3,01605
Гелий	$2He^3$	3,01603
	$2He^4$	4,00260
Литий	$3Li^6$	6,01513
	$3Li^7$	7,01601
Бериллий	$4Be^7$	7,01693
Бор	$4Be^9$	9,01219
	$5B^{10}$	10,01294
Углерод	$5B^{11}$	11,00930
	$6C^{12}$	12,00000
	$6C^{13}$	13,00335
Азот	$6C^{14}$	14,00324
	$7N^{14}$	14,00307
Кислород	$8O^{16}$	15,99491
	$8O^{17}$	16,99913

## 13. Масса и энергия покоя некоторых веществ

Частица				
	кг	а.е.м.	Дж	Мэв
Электрон	$9,1 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-19}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,5 \cdot 10^{-10}$	938
Нейрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
$\alpha$ -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

## 5.2. Образец выполнения контрольной работы

### Вариант № 12

#### Задача №6

Двуглавая мышца прикреплена к лучевой кости на расстоянии  $0,03\text{ м}$  от лучевого сустава.

Груз массой  $5\text{ кг}$  находится на ладони руки на расстоянии  $0,33\text{ м}$  от локтевого сустава.

Определить силу, развиваемую двуглавой мышцей при условии, чтобы лучевая кость оставалась в горизонтальном положении.

Дано:

$$\ell_1 = 0,03\text{ м}$$

$$\ell_2 = 0,33\text{ м}$$

$$m = 5\text{ кг}$$

$$F - ?$$

Решение:

Так как лучевая кость находится в горизонтальном положении, то применяя правило моментов сил, имеем:  $\vec{M}_1 + \vec{M}_2 = 0$

$$M_1 = F \cdot \ell_1, \quad M_2 = mg \cdot \ell_2, \quad P = mg \quad - \text{вес груза}$$

$$\text{за; } F \cdot \ell_1 = mg \cdot \ell_2 \Rightarrow F = \frac{mg \ell_2}{\ell_1}$$

Подставив данные, проверив размерность величин:

$$F = \frac{\text{кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ м}}{\text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} = \text{Н}, \quad F = \frac{5 \cdot 10 \cdot 0,33}{0,03} = 550\text{ Н}$$

Ответ:  $F = 550\text{ Н}$

### Задача №12

Вдоль малоберцовой кости свиньи распространяется волна, созданная в ней ультразвуковым генератором с частотой  $30 \text{ кГц}$ .

Определить разность фаз колебаний между точками кости, отстоящими друг от друга на расстоянии  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Модуль Юнга равен  $22 \text{ ГПа}$ , плотность кости  $3500 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:

$$\nu = 30 \text{ кГц} = 3 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

$$\ell = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$E = 22 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

$$\rho = 3500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\Delta\varphi = ?$$

Решение:

Разность фаз найдём по формуле:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta\ell}{\lambda}$$

где  $\Delta\ell$  - расстояние, которое прошла волна;

$\lambda$  - длина волны.

Найдём скорость ультразвука в кости:

$$g = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

где  $E$  - модуль Юнга,  $\rho$  - плотность вещества.

Зная скорость ультразвука в кости, найдём длину волны из формулы

$$g = \lambda \nu, \quad \lambda = \frac{\sqrt{E}}{\nu}$$

Тогда, считаем, что  $\Delta\ell = \ell$  длина кости.

Произведём вычисления:

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\ell \nu}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}; \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^4}{\sqrt{\frac{22 \cdot 10^9}{3500}}} = \frac{\pi \cdot 1.500}{2.5 \cdot 10^3} = 0.6\pi$$

Ответ:  $\Delta\varphi = 0.6\pi$

### Задача №26

В молоке содержатся микроскопические шарики масла, за счёт всплывания которых при отстаивании образуются сливки. Считая, что к ним применим закон Стокса, определить вязкость молока, если диаметр шарика масла 3 мкм и за 10 часов они прошли путь  $7 \cdot 10^{-3}$  м.

Плотность молока считать равной  $1,03 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Дано:

$$\rho_{\text{молока}} = 1,03 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d = 3 \text{ мкм} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$t = 10 \text{ ч} = 3,6 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$S = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

---

$\eta - ?$

Решение:

Так как применим закон Стокса, то сила трения в жидкости действующая на шарики масла:  $F_1 = 6\pi\eta r \cdot g$

$$\text{Скорость } g = \frac{S}{t}; r = \frac{d}{2}; d = 2r$$

На шарики масла действует сила тяжести

$$F = mg, m = \rho \cdot v, V_{\text{ш}} = \frac{1}{6} \pi \cdot d^3 - \text{объём шарика масла.}$$

$$F_2 = \rho \cdot \frac{1}{6} \pi \cdot d^3 g, \text{ Считаем, что } F_1 = F_2,$$

$$\text{тогда } 6\pi\eta \frac{d}{2} \cdot \frac{S}{t} = \frac{1}{6} \rho \pi^3 g \quad \eta = \frac{d^2 g t}{18S} - \text{коэффициент вязкости.}$$

Произведём вычисления:

$$\eta = \frac{1,03 \cdot 10^3 \cdot 9 \cdot 10^{-12} \cdot 10 \cdot 3,6 \cdot 10^4}{18 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 0,026\pi \text{ (Пуазейль)}$$

Ответ:  $\eta = 0,026\pi$

### Задача №36

Изотоническим раствором для животных и человека является 0,9% раствор хлорида натрия.

Определить его осмотическое давление при  $t = 37^{\circ}\text{C}$ , считая, что хлорид натрия полностью диссоциирован.

Дано:

$$\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$t = 37^{\circ}\text{C} = 310\text{K}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$n = 0,9\%$$

$P - ?$

Решение:

Осмотическое давление найдём по формуле:  $P = CRT$

$$C = \frac{m}{\mu \cdot V_{\text{раств}}}, V = V_{\text{раств}}$$

$$m = \rho \cdot V \text{ тогда}$$

$$C = \frac{\rho \cdot V}{\mu \cdot V_{\text{раств}} \cdot n} = \frac{\rho}{\mu \cdot n}$$

$$\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{плотность молока. Тогда } P = \frac{\rho \cdot RT}{\mu \cdot n},$$

где  $n$  - концентрация раствора,  $\mu$  - молярная масса,  $R$  - универсальная молярная постоянная.

Произведём вычисления:

$$P = \frac{1030 \cdot 8,31 \cdot 310}{48 \cdot 10^{-3} \cdot 0,009} = \frac{1030 \cdot 8,31 \cdot 310}{48 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^{-3}} \approx 6 \cdot 10^9 \text{ Па}$$

Ответ:  $P \approx 6 \cdot 10^9 \text{ Па}$

Задача №46

Нагреватель тепловой машины, работающей по обратному циклу Карно, имеет  $t_1 = 200^{\circ}C$ .

Определить  $t$  охладителя, если при получении от нагревателя количества теплоты в  $1 \text{ Дж}$ , машина совершает работу  $0,4 \text{ Дж}$ .

Дано:

Решение:

$$t_H = 200^{\circ}C = 473K$$

$$Q_X = 1 \text{ Дж}$$

$$A = 0,4 \text{ Дж}$$

$$t_X = ?$$

Величина работы тепловой машины

$$A = Q_H - Q_X$$

отсюда  $Q_H = A + Q_X$

Тогда КПД тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{A + Q_X} \cdot 100\% \quad \text{или} \quad \eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} \cdot 100\%$$

$$\text{Тогда } \eta = \frac{T_H - T_X}{T_H} = \frac{A}{A + Q_X}; \quad T_H - T_X = \frac{A \cdot T_H}{A + Q_X}$$

$$\text{Тогда } T_X = T_H - \frac{A \cdot T_H}{A + Q_X},$$

где  $T_X$  - температура холодильника;

$T_H$  - температура нагревателя;

$Q_X$  - количество теплоты, полученное холодильником;

$A$  - полезная работа.

Вычислим температуру холодильника:

$$T_X = 473 - \frac{0,4 \cdot 473}{1,4} = 338K = 65^{\circ}C$$

Ответ:  $T_X = 65^{\circ}C$

Задача №57

Какой силы ток будет проходить через 0,1% раствор бромистого калия, если на электроды, находящиеся на расстоянии 10см друг от друга, подано напряжение 3В. Площадь каждого электрода 8см<sup>2</sup>. Степень диссоциации 90%. Подвижность ионов калия и брома в растворе соответственно равны  $6,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  и  $7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ .

Дано:

$$U = 3\text{В}$$

$$\ell = 10\text{см} = 0,1\text{м}$$

$$g_+ = 6,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$g_- = 7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$F = 96500 \text{ Кл}$$

$$n = 0,1\%$$

$$z = 1$$

$$\alpha = 90\%$$

$$c = 10\% = 0,1$$

---


$$I - ?$$

Решение:

По закону Ома для замкнутой цепи

$$\text{сила тока в цепи: } I = \frac{U}{R}, \quad R = \rho \cdot \frac{\ell}{S}$$

$$\text{сопротивление цепи; } I = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot \ell}$$

$$\frac{1}{\rho} = \alpha C Z F (g_+ + g_-) \text{ проводимость}$$

раствора.

где  $S$  - площадь электрода;

$U$  - напряжение;

$n$  - концентрация раствора;

$\alpha$  - степень диссоциации;

$\ell$  - подвижность ионов;

$c$  - процент недиссоциированных молекул.

$$\text{Тогда: } I = \frac{U \cdot S}{\alpha C Z F (g_+ + g_-) \cdot \ell}$$

Произведём вычисления:

$$I = \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^{-4}}{0,9 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot 96500 (6,6 \cdot 10^{-8} + 7 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,1} = \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^{-4}}{9 \cdot 10^{-3} \cdot 96500 \cdot 13,6 \cdot 10^{-8}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{11}}{9 \cdot 96500 \cdot 13,6} = \frac{24 \cdot 10^7}{9 \cdot 9,65 \cdot 10^4 \cdot 13,6} = \frac{24000}{9 \cdot 965 \cdot 13,6}$$

$$\text{Ответ: } I = 20,3\text{А}$$



### Задача №61

Магнитная восприимчивость марганца равна  $1,21 \cdot 10^{-4}$ . Вычислить намагниченность, удельную намагниченность и молярную намагниченность в магнитном поле напряжённостью  $100 \text{ кА/м}$ , если плотность марганца  $7400 \text{ кг/м}^3$ .

Дано:

Решение:

$$\kappa = 1,21 \cdot 10^{-4}$$

$$H = 100 \text{ кА/м} = 10^5 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$M = 55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\rho = 7400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$$

$$V = 1 \text{ м}^3$$

---

$$j - ?$$

1) Найдём величину магнитного поля в марганце (намагниченность марганца) по формуле  $j = \kappa \cdot H$

$$j = 1,21 \cdot 10^{-4} \cdot 10^5 = 12,1 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

2) Найдём удельную намагниченность

$$j_{\text{уд}} = \frac{j}{m}; m = \rho \cdot V$$

$$j_{\text{уд}} = \frac{12,1}{7400} = 1,6 \cdot 10^{-4} \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

3) Найдём молярную намагниченность:

$$j = \frac{\kappa \cdot H}{m},$$

$$j = \frac{12,1}{55 \cdot 10^{-3}} = 220 \frac{\text{А}}{\text{м}};$$

$$\text{Ответ: } j = \frac{12,1}{55 \cdot 10^{-3}} 220 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

### Задача №76

Величина мембранного потенциала клеток гладких мышц собаки  $3нВ$ . Вычислить отношение концентрации ионов хлора в наружной среде к концентрации этих ионов внутри клетки, считая температуру мышцы собаки  $37^0 C$ .

Дано:

$$E_m = 3нВ = 3 \cdot 10^{-9} В$$

$$t = 37^0 C = 310 K$$

$$R = 8.31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$$

---

$$\frac{C_1}{C_2} = ?$$

Решение:

Мембранная разность потенциалов определяется по формуле:

$$E_m = \frac{R}{Z \cdot F} \ln \left| \frac{C_1}{C_2} \right| \cdot T$$

Отсюда отношение концентрации ионов  $\ln \left| \frac{C_2}{C_1} \right| = \frac{E_m Z F}{RT}$ , где

$Z$  - валентность;  $F$  - число Фарадея;

$R$  - универсальная молярная постоянная.

В данном случае имеем:  $Z = 1$ ,  $F = 96500 Кл$ .

$$\ln \left| \frac{C_2}{C_1} \right| = \frac{3 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 96500}{8.31 \cdot 310} \approx 10^{-7}, \quad \left| \frac{C_2}{C_1} \right| = e^{-7}, \quad \left| \frac{C_2}{C_1} \right| = 16,1$$

Ответ:  $\left| \frac{C_2}{C_1} \right| = 16,1$

Задача №83

Светоотдача лампы мощностью  $150 \text{ Вт}$  равна  $12,7 \text{ лм / Вт}$ .  
На поверхность площадью  $2,8 \text{ м}^2$  направлено  $25\%$  светового потока.  
Вычислить среднюю освещённость поверхности.

Дано:

Решение:

$$P = 150 \text{ Вт}$$

$$k = 12,3 \frac{\text{лм}}{\text{Вт}}$$

$$S = 2,8 \text{ м}^2$$

$$\eta = 25\%$$

---

$$E - ?$$

Энергия, излучаемая лампой;  $W = P \cdot t$

Световой поток;  $\Phi = \frac{W}{St}$ ;       $\Phi = \frac{P}{S'}$

Учитывая величину светоподачи и КПД лампы имеем, что освещённость поверхности:

$$E = \frac{\eta \cdot kP}{S} \quad E = \frac{12,7 \cdot 150 \cdot 0,25}{2,8} = 170 \text{ лк}$$

Ответ:  $E = 170 \text{ лк}$

Задача №96

Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы длина волны де Бройля была  $10^{-10} \text{ м}$ .

Дано:

Решение:

$$\lambda = 10 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 10^{-9} \text{ м}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$\ell = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

---

$$U - ?$$

Длина волны де Бройля определяется по

$$\text{формуле: } \lambda = \frac{h}{m\mathcal{G}}$$

Отсюда найдём скорость электрона

$$\mathcal{G} = \frac{h}{\lambda m}$$

Ускоряющая разность потенциалов связана с кинетической энергией электрона соотношением:  $\ell U = \frac{m\mathcal{G}^2}{2}$ . Отсюда  $U = \frac{m\mathcal{G}^2}{2\ell}$

$$\text{Тогда } U = \frac{m \cdot h^2}{2\lambda^2 m^2 \ell} = \frac{h^2}{2m\ell\lambda^2}$$

$$U = \frac{(6,62 \cdot 10^{-34})^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-18}} = \frac{6,62^2 \cdot 10^{-68}}{2 \cdot 9,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-68}} = 15B$$

Ответ:  $U = 15B$

## Литература

1. Грабовский Р.И. Курс физики. 6 –е изд. – М.: Лань, 2012. – 608 с
2. Детлаф А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.- М.: Высшая школа, 1989. – 608 с.
3. Епифанов, Г.И. Физика твёрдого тела. - М.: Высшая школа, 2010. – 288с.
4. Погонышев В.А., Кравцов П.И., Логунов В.В., Погрешности измерительных приборов. – Брянск.: Издательство БГСХА, 2014.- 42 с.
5. Погонышев В.А., Панов М.В. Гидрофизика. Брянск: Издательство БГСХА, 2009.- 154с.
6. Погонышев В.А., Кравцов П.И., Лубяникова Э.П., Кравцова Л.П. Виртуальные лабораторные работы по физике (учебное издание). Брянск: Издательство БГСХА, 2009.- 184с.
7. Погонышев В.А, Панов М.В. Лабораторные работы по физике. Методические указания к лабораторному практикуму для бакалавров агроинженерных специальностей. Часть 2 – Брянск.: Издательство Брянского ГАУ, 2015 - 167 с.
8. Погонышев В.А. Физика. - Брянск: Брянская ГСХА, 2001. – 405 с.
9. Погонышев В.А., Кравцов П. И., Кравцова Л. П., Логунов В.В. Физика с основами биофизики. – Брянск.: Издательство БГАУ, 2015. – 153 с.
10. Погонышев В.А., Логунов В.В., Кравцов П.И., Кравцова Л.П., Лабораторные работы по физике. Методические указания к лабораторному практикуму для бакалавров 36.03.02 «Зоотехния» и студентов специальности 36.05.01 «Ветеринария». Часть 3 – Брянск.: Издательство Брянского ГАУ, 2015, 135 с.
11. Погонышев В.А. Триботехника в сельском хозяйстве: монография/ В.А. Погонышев, Н.А. Романеев, М.В. Панов. – Брянск.: Издательство Брянской ГСХА, 2010. – 480 с.
12. Погонышев В.А. Контрольные задания по физике, Брянск, изд-во БГСХА, 2006, - 405 с.
13. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие для студентов вузов: В 3 т. – М.: Наука, 2005. – 3 т.
14. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
15. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. - М.: Высшая школа, 2003. – 496 с.



Учебное издание

**В.А. Погоньшев, П.И. Кравцов,  
Л.П. Кравцова, В.В. Логунов**

**Физика  
с основами биофизики**

Редактор Лебедева Е.М.

---

Подписано к печати 07.09.2015 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Усл. п. л. 8,71. Тираж 550 экз. Изд. № 3398.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ

