

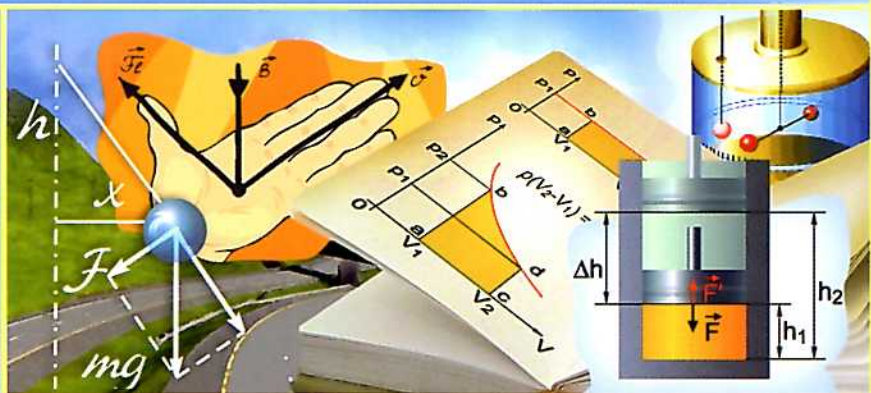


ГОТОВИМСЯ

К ЕГЭ

Под редакцией Л.М. Монастырского

# ФИЗИКА РЕШЕБНИК



## Подготовка к ЕГЭ - 2010



Под редакцией Л. М. Монастырского

# **ФИЗИКА**

# **РЕШЕБНИК**

## **ПОДГОТОВКА К ЕГЭ – 2010**

Учебно-методическое пособие



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЛЕГИОН-М»  
Ростов-на-Дону  
2009

Рецензент — доцент ЮФУ, кандидат физико-математических наук  
В.Г. Кузнецов.

Авторский коллектив:

*Л. М. Монастырский, А. С. Богатин, В. Н. Богатина,  
В. Г. Крыштон, В. И. Махно, М. В. Нечепуренко,  
А. Л. Цветянский.*

**Физика. Решебник. Подготовка к ЕГЭ — 2010.** Под ред. Л.М. Монастырского. Учебно-методическое пособие. — Ростов-н/Д: Легион-М, 2009. — 160 с. — (Готовимся к ЕГЭ).

**ISBN 978-5-91724-027-5**

Решебник является логическим продолжением учебно-методического пособия «Физика. Подготовка к ЕГЭ — 2010» под редакцией Л. М. Монастырского. Он содержит решения большинства тестовых заданий основной книги. Особое внимание уделяется методике решения типовых задач разных разделов физики, тренировке навыков работы с информацией физического содержания, отработке умений решать принципиально новые типы задач, включенных в последний план ЕГЭ. Решебник может использоваться в комплекте с основной книгой и пособием «Физика. Подготовка к ЕГЭ — 2010. Тематические тесты. Базовый и повышенный уровни» и самостоятельно, так как включает не только решения, но и условия задач.

Предназначено для выпускников образовательных учреждений, абитуриентов, которым предстоит сдавать ЕГЭ по физике, а также для преподавателей, организующих подготовку к экзаменам.

ББК 74.262.22

**ISBN 978-5-91724-027-5**

© Издательство «Легион-М», 2009

# Оглавление

<b>От авторов .....</b>	<b>4</b>
<b>Краткие справочные данные .....</b>	<b>5</b>
<b>Решение заданий учебно-тренировочных тестов .....</b>	<b>7</b>
Решение варианта №1 .....	7
Решение варианта №2 .....	14
Решение варианта №3 .....	20
Решение варианта №4 .....	27
Решение варианта №5 .....	33
Решение варианта №6 .....	44
Решение варианта №7 .....	52
Решение варианта №8 .....	59
Решение варианта №9 .....	65
Решение варианта №10 .....	72
Решение варианта №11 .....	78
Решение варианта №12 .....	84
Решение варианта №13 .....	95
Решение варианта №14 .....	106
Решение варианта №15 .....	113
Решение варианта №16 .....	119
Решение варианта №17 .....	126
Решение варианта №18 .....	133
Решение варианта №19 .....	140
Решение варианта №20 .....	146

# От авторов

Методическое пособие — решебник — является естественным продолжением пособия тех же авторов «Физика. ЕГЭ-2010. Вступительные испытания». Настоящее пособие содержит большое количество полностью решенных тестовых заданий различного уровня сложности. В первую очередь, это задания повышенного и высокого уровней сложности. К таким заданиям относятся А7, А12, А19, А23, А25, В3 — В5, С1 — С6.

Это методическое пособие может быть использовано и независимо от указанного выше, поскольку оно содержит полные условия всех тестовых заданий. Книга, которую мы рекомендуем нашим читателям, знакомит их с примерами решений тестовых заданий на основе знания соответствующего теоретического материала, который можно найти в школьных учебниках по физике.

Пособие составлено с учетом тех изменений, которые внесены в тестовые задания экзамена 2009 года, и новой спецификации экзаменационной работы по физике ЕГЭ.

Авторы рекомендуют следующий порядок работы с пособием: после чтения условия тестового задания следует, не заглядывая в решение, попытаться решить его самостоятельно, в случае неудачи обратиться к теории соответствующего раздела учебника по физике, сделать новую попытку и только после этого разбирать приведенное авторами решение. Авторы понимают, что в некоторых случаях возможны и другие варианты решения, которые в конечном итоге приводят к правильному ответу.

Пособие может быть полезным старшеклассникам и их учителям при систематической подготовке к сдаче ЕГЭ.

Авторы желают успеха в работе с пособием и надеются, что вдумчивый читатель, изучив его, окажется всесторонне подготовленным к ожидающим его испытаниям в виде ЕГЭ по физике.

# Краткие справочные данные

## Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
мега-	М	$10^6$	санти-	с	$10^{-2}$
кило-	к	$10^3$	милли-	м	$10^{-3}$
гекто-	г	$10^2$	микро-	мк	$10^{-6}$

## Основные физические константы

Число $\pi$	$\pi = 3,14$
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
Модуль заряда электрона (элементарный электрический заряд)	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

## Соотношение между различными единицами

Температура	$0 \text{ К} = -273,15^\circ\text{С}$
Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	$931,5 \text{ МэВ}$
1 электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

## Масса частиц

Электрон	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
Протон	$1,637 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,007 \text{ а.е.м.}$
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а.е.м.}$

## Нормальные условия

Давление	$10^5$ Па	Температура	$0^\circ$ С
----------	-----------	-------------	-------------

## Плотность тел

Бензин	$710 \text{ кг/м}^3$	Древесина	$600 \text{ кг/м}^3$
Спирт	$800 \text{ кг/м}^3$	Алюминий	$2700 \text{ кг/м}^3$
Масло машинное	$900 \text{ кг/м}^3$	Сталь	$7800 \text{ кг/м}^3$
Вода морская	$1030 \text{ кг/м}^3$	Медь	$8900 \text{ кг/м}^3$
Вода	$1000 \text{ кг/м}^3$	Мрамор	$2700 \text{ кг/м}^3$
Ртуть	$13600 \text{ кг/м}^3$	Лёд	$900 \text{ кг/м}^3$

Удельное электрическое сопротивление ( $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ )

Алюминий	0,028	Ртуть	0,96
Железо	0,10	Медь	0,017

## Удельная

теплоёмкость			
Воды	$4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$	Олова	$230 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$
Льда	$2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$	Свинца	$130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$
Железа	$640 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$	Стали	$460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$
Меди	$380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$		
теплота плавления			
Свинца	$2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$	Стали	$82 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$
Льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$		
теплота парообразования			
Воды	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$		

# Решение заданий учебно-тренировочных тестов

## Решение варианта №1

### Часть 1

А7. Используя показания приборов, указанных на рис. 1, определите работу электрического тока за 1 час.

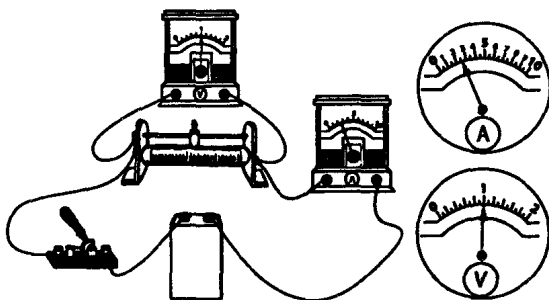


Рис. 1.

- 1) 9,18 кДж
- 2) 0,918 кДж
- 3) 918 кДж
- 4) по результатам эксперимента определить невозможно



**Решение.** Из рисунка можно определить показания амперметра и вольтметра. Однако предварительно надо вспомнить определение цены деления измерительного прибора. Цену деления можно определить, разделив разность между ближайшими цифрами на шкале на число делений между ними. Например, для вольтметра имеем:

$$\frac{\text{разность между соседними цифрами}}{\text{число делений между ними}} = \frac{1 - 0}{10} = 0,1 \frac{\text{вольт}}{\text{делений}}$$

Теперь, чтобы определить показания прибора, надо умножить цену деления на число делений между положением стрелки и начальной цифрой (в нашем случае это  $0,1 \times 1 = 0,1$ ). Получаем окончательно:  $U = 1$  В.

Аналогично определяем показания амперметра:  $I = 2,55$  А. По формуле  $A = UIt$  можно рассчитать работу тока за 3600 с. Получаем приближительный результат  $9180 = 9,18$  кДж.

**Ответ:** 1.

**A12.** Плотность насыщенных паров при  $17^\circ\text{C}$  равна  $14,5 \text{ г/м}^3$ . В комнате при этой температуре находится воздух, содержащий 205 г водяного пара. При этом относительная влажность воздуха составляет 50%, а объем комнаты равен...

- 1)  $22,2 \text{ м}^3$       2)  $28,3 \text{ м}^3$       3)  $35,1 \text{ м}^3$       4)  $39,5 \text{ м}^3$

**Решение.** Относительная влажность воздуха определяется формулой:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n},$$

здесь  $\rho$  — плотность водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре,  $\rho_n$  — плотность насыщенного водяного пара при той же температуре.

Отсюда найдем  $\rho = \rho_n \varphi$ . Используя определение плотности  $\rho = \frac{m}{V}$ ,

найдем объем комнаты  $V = \frac{m}{\rho} = \frac{m}{\varphi \cdot \rho_n} = 28,3 \text{ м}^3$ .

**Ответ:** 2.

**A19.** Как будет действовать наэлектризованная положительно палочка на магнитную стрелку?

- 1) никак  
2) стрелка повернется к палочке ближайшим концом  
3) магнитная стрелка повернется к палочке северным полюсом  
4) магнитная стрелка повернется к палочке южным полюсом

**Решение.** На магнитную стрелку действует магнитное поле. Наэлектризованная палочка создает электрическое поле, которое не действует на магнитную стрелку.

**Ответ:** 1.

**А23.** На основании рисунка 2, на котором изображен график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от энергии падающих фотонов, определите, в каком случае материал катода имеет меньшую работу выхода.

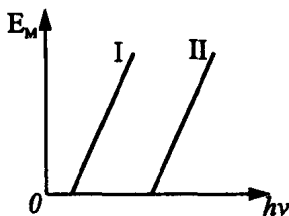


Рис. 2.

- 1) I                      2) II  
3) одинаковую      4) нет однозначного ответа

**Решение.** Запишем формулу Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}.$$

Отсюда найдем работу выхода фотоэлектронов из вещества:

$$A_{\text{вых}} = h\nu - E_{\text{кин}}.$$

Видно, что чем ближе график к нулю, тем меньше  $A_{\text{вых}}$ .

**Ответ:** 1.

**А25.** В таблице приведены значения энергии для первых четырех энергетических уровней атома водорода:

Номер уровня	Энергия, $10^{-19}$ Дж
1	-21,8
2	-5,3
3	-2,4
4	-1,3

Излучение с наименьшей частотой, наблюдаемое как отдельная линия в спектре испускания водорода, может быть получено при переходе между этими энергетическими уровнями:

- 1) с  $n = 1$  на  $n = 4$                       2) с  $n = 3$  на  $n = 4$   
3) с  $n = 4$  на  $n = 3$                       4) с  $n = 4$  на  $n = 1$

**Решение.** Энергия излучаемого фотона определяется формулой  $E = h\nu$ . Согласно постулатам Бора  $h\nu = E_m - E_n$ , следовательно, наименьшей частоте соответствует наименьшая разность энергий уровней. Эта линия соответствует переходу с  $n = 4$  на  $n = 3$ .

**Ответ:** 3.

## Часть 2

**В3.** Из некоторой высоко расположенной точки одновременно бросают два тела с одинаковой скоростью 25 м/с: одно — вертикально вверх, другое — вертикально вниз. На каком расстоянии друг от друга будут эти тела через 2 с?

**Решение.** Поскольку тела движутся с одинаковым по модулю ускорением, то их относительное движение является равномерным. Тогда скорость одного тела относительно другого равна  $V + V = 2V = 50$  м/с. Расстояние между телами найдем по формуле пути равномерного движения:  $S = Vt = 100$  м.

**Ответ:** 100.

**В4.** Какова разница в массе воздуха, заполняющего помещение объемом 50 м<sup>3</sup>, зимой и летом, если летом температура помещения достигает 40°C, а зимой падает до 0°C? Давление нормальное. Ответ округлите до десятых.

**Решение.** Из уравнения Менделеева–Клапейрона летом и зимой:

$$pV = \frac{m_1}{\mu} RT_1,$$

$$pV = \frac{m_2}{\mu} RT_2,$$

следует разница масс воздуха летом и зимой:

$$m_1 - m_2 = \frac{pV\mu}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \approx 8,2 \text{ кг.}$$

**Ответ:** 8,2.

**В5.** Плоское зеркало движется со скоростью  $V = 1,5$  м/с. С какой по модулю и направлению скоростью должен двигаться точечный источник света  $S$ , чтобы его отражение в плоском зеркале было неподвижным?

**Решение.** Изображение источника в плоском зеркале находится на таком же расстоянии за зеркалом (см. рис. 3).

Пусть зеркало движется влево по отношению к источнику света. Тогда источник должен двигаться также влево, но со скоростью  $V/2 = 0,75$  м/с.

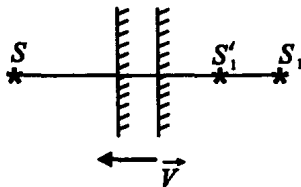


Рис. 3.

Ответ: 0,75.

### Часть 3

**С1.** Как с помощью телевизора с электронно-лучевой трубкой определить полюса постоянного немаркированного дугообразного магнита?

**Решение.** На центр экрана телевизора попадают электроны, летящие горизонтально перпендикулярно ему. Между полюсами дугообразного магнита образовано магнитное поле, направленное от северного к южному полюсу (см. рис. 4).

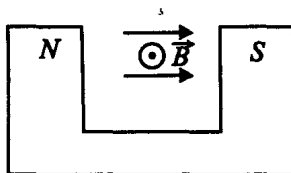


Рис. 4.

Необходимо поднести магнит в горизонтальной плоскости полюсами к центру экрана. Тогда если изображение в центре экрана сместится вниз, то слева расположен северный полюс магнита. Если изображение сместится вверх, то слева расположен южный магнитный полюс.

**С2.** Во сколько раз изменилась энергия упругой деформации пружины, если тело, подвешенное на этой пружине, погрузили в жидкость, плотность которой в 6 раз меньше плотности тела?

**Решение.** Когда тело подвешено на пружине в воздухе, то из условия его равновесия следует:

$$kx_1 = mg.$$

Когда тело погружено в жидкость, то из условия равновесия теперь следует:

$$kx_2 + \rho_{\text{ж}} = mg,$$

здесь  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости.

Энергия упругой деформации пружины в первом случае равна:

$$E = \frac{kx_1}{2} = \frac{m^2 g^2}{k} = \frac{\rho_T V^2 g^2}{k},$$

здесь  $\rho_T$  — плотность тела.

Энергия упругой деформации пружины во втором случае равна:

$$E = \frac{kx_2}{2} = \frac{(\rho_T - \rho_{ж})V^2 g^2}{k}.$$

Найдем теперь отношение этих энергий:

$$\frac{E_2}{E_1} = \left( \frac{(\rho_T - \rho_{ж})}{\rho_T} \right)^2 = \left( 1 - \frac{1}{6} \right)^2 \approx 0,7.$$

**Ответ:** Уменьшилась в 1,44 раза.

**С3.** В горизонтально расположенном сосуде, разделенном подвижной перегородкой на две части, содержится некоторое количество идеального газа. Каждая из частей сосуда поддерживается при постоянной температуре, причем абсолютная температура правой части в 3 раза больше. При этом первоначальный объем правой части в два раза больше объема левой части. Во сколько раз увеличится объем правой части, если газ из правой части сосуда переместить в левую часть, а из левой — в правую часть?

**Решение.** Запишем уравнение Менделеева — Клапейрона для левой и правой частей сосуда в этих двух случаях:

$$p_1 V = \frac{m_1}{M} RT, \quad p_2 V_1 = \frac{m_2}{M} RT,$$

$$p_1 2V = \frac{m_2}{M} R 3T, \quad p_2 V_2 = \frac{m_1}{M} R 3T.$$

Из этих соотношений можно найти отношение объемов правой части:

$$\frac{V_2}{2V} = \frac{27}{22}.$$

**Ответ:** В  $\frac{27}{22}$  раза.

**С4.** Плоское зеркало, расположенное в вертикальной плоскости, может вращаться вокруг горизонтальной оси. На расстоянии  $R$  от оси находится светящаяся точка  $A$  (см. рис. 5). Какое расстояние будет между изображением точки и изображением, которое образуется после поворота зеркала на угол  $\alpha$ ?

**Решение.** Из рисунка следует, что при повороте зеркала на угол  $\alpha$  отраженный луч поворачивается на угол  $2\alpha$ . На рис. 6 обозначим:  $A_1$  — отражение точки  $A$  до поворота зеркала,  $A_2$  — отражение точки  $A$  после по-

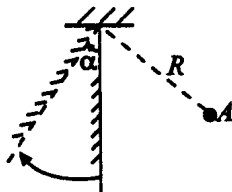


Рис. 5.

вороты зеркала. Треугольник  $OA_1A_2$  — равнобедренный с углом при вершине  $2\alpha$ . Его основание  $A_1A_2$  равно:

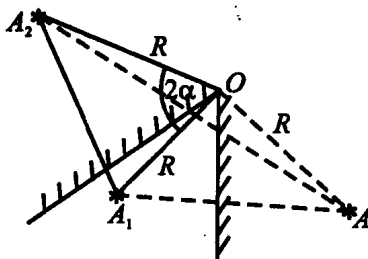


Рис. 6.

$$A_1A_2 = 2R \sin \alpha.$$

Ответ:  $2R \sin \alpha$ .

С5. Чему равно сопротивление нагрузки в схеме на рисунке 7, если при подаче на источник ЭДС  $\varepsilon = 12$  В напряжения  $U = 15$  В и при подключении к нему нагрузки  $R$  через источник протекает ток одинаковой силы? Внутреннее сопротивление источника равно  $r = 130$  Ом.

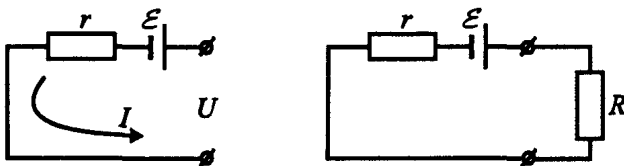


Рис. 7.

Решение. Поскольку в первом случае участок цепи, кроме ЭДС, содержит еще разность потенциалов  $U$ , то результат будет зависеть от полярности приложенного напряжения.

1-й случай.

$$Ir = U + \varepsilon.$$

В этом случае:

$$I = \frac{U + \mathcal{E}}{r},$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}.$$

Совместное решение дает результат  $R < 0$ .

2-ой случай.

$$Ir = U - \mathcal{E}.$$

Теперь получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} I = \frac{U - \mathcal{E}}{r}, \\ I = \frac{\mathcal{E}}{r + R}. \end{cases}$$

Решение системы приводит к выражению для сопротивления резистора:

$$R = \frac{(2\mathcal{E} - U) \cdot r}{U - \mathcal{E}} = 390 \text{ Ом}.$$

Ответ: 390 Ом.

**С6.** Какова энергия  $\gamma$ -кванта, образовавшегося в результате аннигиляции электрона и позитрона, если пренебречь кинетической энергией частиц до соударения?

Решение. Схема аннигиляции имеет следующий вид:

$$e^+ + e^- = 2\gamma.$$

Тогда  $E_\gamma = \frac{2E_e}{2} = E_e$ , где  $E_e$  — энергия покоя электрона (или позитрона).

$$E_\gamma = 0,511 \text{ МэВ}.$$

Ответ: 0,511 МэВ.

## Решение варианта №2

### Часть 1

**A7.** Используя показания приборов, указанных на рис. 8, определите сопротивление резистора в цепи.

- 1) 4 Ом
- 2) 0,4 Ом

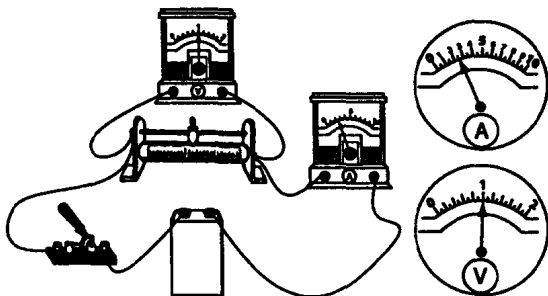


Рис. 8.

3) 40 Ом

4) по результатам эксперимента определить невозможно

**Решение.** Показания приборов на схеме:  $U \approx 1$  В,  $I \approx 2,58$  А. Сопротивление резистора равно:  $R = U/I \approx 0,4$  Ом.

**Ответ:** 2.

**A12.** Температура воздуха равна  $20^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха составляет 50%, а парциальное давление водяного пара в воздухе при этом равно 1,16 кПа. Давление насыщенных паров при  $20^\circ\text{C}$  равно...

- 1) 2,32 кПа      2) 0,76 кПа      3) 1,96 кПа      4) 2,08 кПа

**Решение.** Относительная влажность воздуха определяется формулой:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_n},$$

здесь  $\rho$  — плотность водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре,  $\rho_n$  — плотность насыщенного водяного пара при той же температуре.

Отсюда:  $\rho_n = \frac{\rho}{\varphi} = 2,32$  кПа.

**Ответ:** 1.

**A19.** Как будет действовать отрицательно наэлектризованная палочка на магнитную стрелку?

- 1) никак  
2) стрелка повернется к палочке ближайшим концом  
3) магнитная стрелка повернется к палочке северным полюсом  
4) магнитная стрелка повернется к палочке южным полюсом

**Решение.** Наэлектризованная палочка не действует на магнитную стрелку, т.к. она содержит неподвижные электрические заряды.

**Ответ:** 1.



**A23.** Красная граница фотоэффекта для лития  $\lambda_{\text{кр}} = 540$  нм. Максимальная скорость вылета электронов равна  $10^6$  м/с. Какова частота света, которым освещается катод?

- 1)  $1,32 \cdot 10^{15}$  Гц      2)  $1,24 \cdot 10^{15}$  Гц  
3)  $1,08 \cdot 10^{15}$  Гц      4)  $1,67 \cdot 10^{15}$  Гц

**Решение.** Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта можно записать в следующем виде:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{mV^2}{2},$$

здесь  $\lambda_{\text{кр}}$  — красная граница фотоэффекта.

Выразим отсюда частоту света:

$$\nu = \frac{\frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{mV^2}{2}}{h} = 1,24 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

**Ответ:** 2.

**A25.** В таблице приведены результаты исследования зависимости квадрата времени падения шарика для настольного тенниса от высоты:

$t^2, \text{с}^2$	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
$h \cdot 10^{-2}, \text{м}$	0	20	40	60	80	100

Оцените, насколько сопротивление воздуха «уменьшает» ускорение падения шарика по сравнению с ускорением свободного падения  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

- 1) на  $2,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$       2) на  $0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$       3) на  $1,0 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$       4) на  $1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

**Решение.** Запишем уравнение равноускоренного движения шарика (не свободного падения):  $h = \frac{at^2}{2}$ . Отсюда выразим ускорение:  $a = \frac{2h}{t^2}$ . Подстановка чисел дает  $a = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Окончательно:  $9,8 - 8 = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

**Ответ:** 4.

## Часть 2

**B3.** Два шара одинаковой массы  $m$  движутся перпендикулярно друг другу с одинаковыми скоростями  $V$ . Каков их суммарный импульс после неупругого удара, когда они начали двигаться как единое целое?

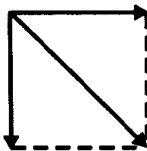


Рис. 9.

**Решение.** Представим закон сохранения импульса системы в векторном виде (см. рис. 9).

По теореме Пифагора можем записать модуль суммарного импульса шаров после неупругого удара:

$$p = \sqrt{(\overline{mV^2}) + (\overline{mV^2})} = mV\sqrt{2}.$$

**Ответ:**  $mV\sqrt{2}$ .

**В4.** Металлический брусок массой 200 г при температуре  $85^\circ\text{C}$  опускают в воду массой 100 г с температурой  $20^\circ\text{C}$ . Чему равна удельная теплоемкость металла, если конечная температура воды оказалась равной  $30^\circ\text{C}$ ? Ответ округлите до десятых.

**Решение.** Запишем уравнение теплового баланса:

$$c_m m_m (t_1 - t_3) = c_v m_v (t_3 - t_2).$$

Отсюда легко выразить удельную теплоемкость металла:  $c_m = 381,8 \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{град}}$

**Ответ:** 381,8.

**В5.** Чему равен импульс фотона, если соответствующая длина волны равна 600 нм?

**Решение.** Импульс фотона связан с длиной волны следующим соотношением:  $p = \frac{h}{\lambda}$ . Отсюда находим:  $p = 1,1 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ .

**Ответ:**  $1,1 \cdot 10^{-27}$ .

### Часть 3

**С1.** В стеклянной, запаянной с обоих концов трубке, из которой выкачан воздух, заключен столбик воды. При встряхивании трубки столбик воды ударяется в концы трубки так, словно не испытывает никакого сопротивления. Однако известно, что слева и справа от столбика находятся насыщенные водяные пары, причем определенной температуре соответствует определенное давление этих паров. Объясните явление.

**Решение.** Давление насыщенного пара не зависит от его объема, а зависит только от его температуры. Поэтому при любом объеме давление

слева и справа на столбик воды при его движении всё время остается постоянным и компенсирует друг друга.

**С2.** Автомобиль массой  $m = 1$  т трогается с места и проходит по горизонтальному участку дороги путь 20 м за 2 с, двигаясь равноускоренно. Пренебрегая силами сопротивления движению автомобиля, найдите максимальную мощность его двигателя.

*Решение.* По определению мощности можем записать:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{FS}{t} = \frac{maS}{t}.$$

Запишем уравнение равноускоренного движения:  $S = \frac{at^2}{2}$ . Отсюда находим ускорение и подставляем в первое уравнение:

$$P = \frac{2mS^2}{t^2} = 200 \text{ кВт}.$$

*Ответ:*  $2 \cdot 10^5$  Вт.

**С3.** Какое количество теплоты было получено или отдано одноатомным идеальным газом при переходе из состояния 1 в состояние 3, если на рисунке 10 представлен график зависимости давления от объема?

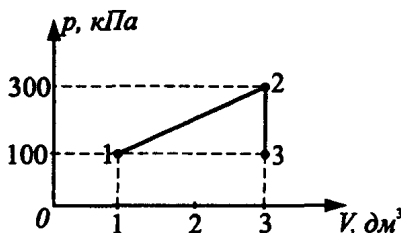


Рис. 10.

*Решение.* На участке 2 — 3 происходит изохорный процесс, следовательно, работа на этом участке равна нулю. На участке 1 — 2 работа равна площади под соответствующим графиком (эта фигура — трапеция).

Общее количество теплоты из первого закона термодинамики определится следующим образом:

$$Q = \Delta U + A, \quad Q = Q_{12} + Q_{23}, \\ Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}, \quad Q_{23} = \Delta U_{23}.$$

Изменение внутренней энергии не зависит от формы пути, а зависит только от начального и конечного состояния, следовательно:

$$Q = \Delta U_{13} + A_{12}.$$

Тогда:  $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_1)$ . Используя уравнение Менделеева-Клапейрона

получим:  $T = \frac{pV}{\nu R}$ .

Найдем теперь изменение внутренней энергии:  $\Delta U_{13} = 300$  Дж. Окончательно получим:  $A_{13} = 400$  Дж и  $Q = 700$  Дж.

Ответ: 700 Дж.

С4. Чему равна максимальная сила тока в схеме на рис. 11 после замыкания ключа, если в начальный момент времени конденсатор не заряжен,  $\mathcal{E} = 12$  В,  $L = 8$  мкГн,  $C = 5$  мкФ? Сопротивлением катушки и источника пренебречь.

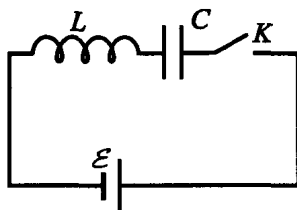


Рис. 11.

Решение. По закону сохранения энергии в контуре можем записать:

$$\frac{LI_{\text{макс}}^2}{2} = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}.$$

Отсюда находим:

$$I_{\text{макс}} = \mathcal{E} \sqrt{\frac{L}{C}} = 9,5 \text{ А.}$$

Ответ: 9,5 А.

С5. Каков наибольший порядок спектра, наблюдаемый для света с  $\lambda_2 = 0,550$  мкм, падающего нормально на дифракционную решетку, если при нормальном падении света с  $\lambda_1 = 0,630$  мкм максимум второго порядка наблюдается под углом  $30^\circ$  к нормали?

Решение. Из формулы дифракционной решетки  $n\lambda = d \sin \varphi$  следует, что наибольший порядок спектра  $n_{\text{макс}}$  получится при условии  $\sin \varphi = 1$ .

Таким образом, получим:  $n_{\text{макс}} = \frac{d}{\lambda_2}$ .

Величину постоянной решетки определим из формулы решетки:

$$2\lambda_1 = d \sin \varphi.$$

Окончательно имеем:

$$n_{\text{макс}} = \frac{2\lambda_1}{\lambda_2 \sin 30^\circ} = 4,58.$$

Полных порядков спектра будет 4.

Ответ: 4.

**С6.** Какова частота  $\gamma$ -кванта, образовавшегося в результате аннигиляции электрона и позитрона, если пренебречь кинетической энергией частиц до соударения?

*Решение.* Схема аннигиляции имеет следующий вид:

$$e^+ + e^- = 2\gamma.$$

Тогда  $E_\gamma = \frac{2E_e}{2} = E_e$ , где  $E_e$  — энергия покоя электрона (или позитрона).

Частоту  $\gamma$ -кванта определим из соотношения:  $E = h\nu$ . Откуда имеем:

$$\nu = \frac{E}{h} = 1,2 \cdot 10^{20} \text{ Гц}.$$

Ответ:  $1,2 \cdot 10^{20}$  Гц.

## Решение варианта №3

### Часть 1

**A7.** Используя показания приборов, указанных на рис. 12, определите работу электрического тока за 1 час.

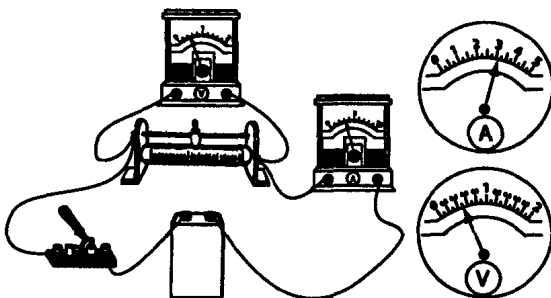


Рис. 12.

- 1) 57,6 кДж
- 2) 5,76 кДж

3) 576 кДж

4) по результатам эксперимента определить невозможно

**Решение.** Показания приборов на схеме:  $U \approx 3,2$  В,  $I \approx 0,5$  А. Работу тока определим по формуле:  $A = UIt = 5,76$  Дж.

**Ответ:** 2.

**A12.** Относительная влажность воздуха при  $20^\circ\text{C}$  равна 69%. Если при этом парциальное давление водяного пара в воздухе равно 1,61 кПа, то давление насыщенных паров при  $20^\circ\text{C}$  равно...

1) 1,69 кПа

2) 1,76 кПа

3) 1,98 кПа

4) 2,33 кПа

**Решение.** Относительная влажность воздуха определяется формулой:

$$\varphi = \frac{p}{p_n}.$$

Отсюда найдем давление насыщенного пара:  $p_n = \frac{p}{\varphi} = 2,33$  кПа.

**Ответ:** 4.

**A19.** Красное и зеленое стекло сложены вместе. Какой свет проходит через эту систему?

1) никакой

2) красный

3) зеленый

4) все, кроме красного и зеленого

**Решение.** Система стекол не пропустит никакого света, т.к. красное стекло пропустит красный свет, а зеленое — его поглотит.

**Ответ:** 1.

**A23.** Чему равна величина задерживающего потенциала, при котором прекратится фототок, если работа выхода электронов из фотокатода равна 3 эВ, энергия квантов света равна 6 эВ?

1) 3 В

2) 9 В

3) 1,5 В

4) 4,5 В

**Решение.** Запишем формулу Эйнштейна для фотоэффекта через задерживающий потенциал:

$$h\nu = A + eU_3,$$

здесь  $e$  — заряд электрона,  $U_3$  — задерживающий потенциал. Тогда в эВ можем записать:  $eU = 6 \text{ эВ} - 3 \text{ эВ} = 3 \text{ эВ}$ .

**Ответ:** 1.

**A25.** В лаборатории исследовалась зависимость напряжения на обкладках конденсатора от заряда этого конденсатора. Результаты измерений представлены в таблице:

$q$ , мкКл	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$U$ , кВ	0,5	1,5	3,0	3,5	3,8

Погрешности измерений величин  $q$  и  $U$  равнялись соответственно 0,05 мкКл и 0,25 кВ. Какой из графиков приведен правильно с учетом всех результатов измерения и погрешностей этих измерений (см. рис. 13)?

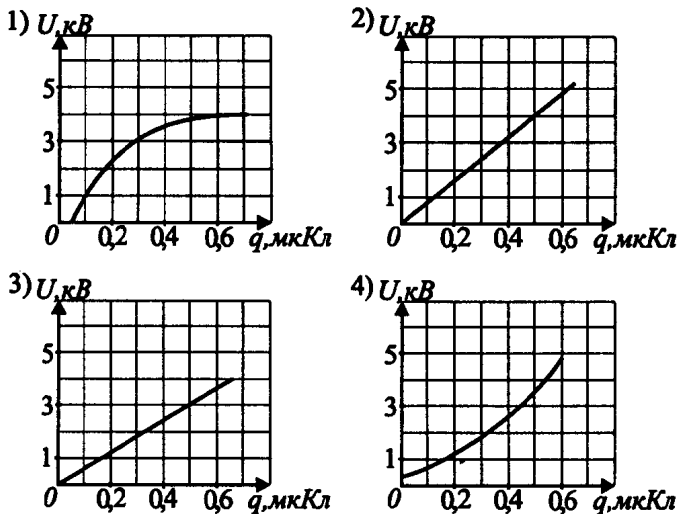


Рис. 13.

**Решение.** Надо просто проанализировать графики. Ближе всего к результатам в таблице график 1.

**Ответ:** 1.

## Часть 2

**В3.** Чему равно изменение импульса после удара стального шарика массой 100 г, если он после падения на стол с высоты 0,8 м подпрыгнул на высоту 0,2 м?

**Решение.** По закону сохранения механической энергии найдем скорость шарика перед ударом:

$$\frac{mV_1^2}{2} = mgh.$$

Отсюда:  $V_1 = \sqrt{2gh_1} = 4$  м/с. Найдем теперь скорость шарика после удара:  $V_2 = \sqrt{2gh_2} = 2$  м/с. Изменение импульса (по модулю) равно:

$$\Delta p = m(V_2 + V_1) = 0,6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: 0,6.

**В4.** Сколько килограммов свинца расплавится, если пяти его килограммам при температуре 300 К сообщить 270 кДж теплоты? Температура плавления свинца 327°C.

*Решение.* Используем следующую формулу:

$$Q = cm \cdot \Delta t + \lambda m_1,$$

здесь  $m$  — масса всего свинца,  $m_1$  — масса расплавившегося свинца. Отсюда найдем:

$$m_1 = \frac{Q - cm \cdot \Delta t}{\lambda} = 3 \text{ кг}.$$

Ответ: 3.

**В5.** Чему равна максимальная длина волны из диапазона видимого света (400 нм — 800 нм), если оптическая разность хода двух когерентных лучей в некоторой точке экрана, где наблюдается интерференционный минимум, равна 2,1 мкм?

*Решение.* Условие интерференционного минимума имеет вид:

$$\Delta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2},$$

здесь  $\Delta$  — оптическая разность хода лучей,  $n$  — порядок максимума ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ). Найдем значения первых нескольких максимумов:

$$n = 0 \quad \Delta = \frac{\lambda}{2} = 4200 \text{ нм}$$

$$n = 1 \quad \Delta = \frac{3\lambda}{2} = 1400 \text{ нм}$$

$$n = 2 \quad \Delta = \frac{5\lambda}{2} = 840 \text{ нм}$$

$$n = 3 \quad \Delta = \frac{7\lambda}{2} = 600 \text{ нм}$$

Видно, что максимальная длина волны из указанного в условии диапазона составляет 600 нм.

Ответ: 600.

### Часть 3

**С1.** Оцените скорость, с которой должна лететь муха, чтобы после удара о стенку от нее не осталось и «мокрого места».



**Решение.** Считаем, что муха на 100% состоит из воды, тогда при ударе кинетическая энергия ее движения должна полностью перейти во внутреннюю (в тепло). При этом муха должна нагреться до  $100^{\circ}\text{C}$  и полностью испариться:

$$\frac{mV^2}{2} = cm \cdot \Delta t + \lambda m.$$

Пусть начальная температура мухи  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$ , тогда:

$$V = \sqrt{2c \cdot \Delta t + 2\lambda} = 2296 \text{ м/с} \approx 2,3 \text{ км/с}.$$

**Ответ:** 2,3 км/с.

**С2.** Определите положение центра тяжести прямоугольной пластинки со сторонами  $2a$  и  $4a$ , из которой вырезан круг радиусом  $a$ , касающийся короткой и двух длинных сторон пластинки.

**Решение.** Сделаем рисунок этой пластинки (см.рис. 14):

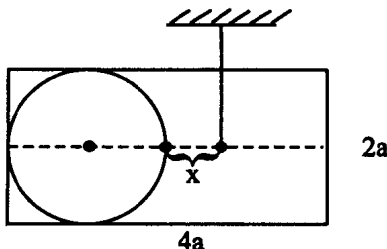


Рис. 14.

Из рисунка следует условие равновесия пластинки:

$$M_1 g a = M_2 g x.$$

Отсюда находим положение центра тяжести:

$$x = \frac{M_1}{M_2} a.$$

Отношение масс равно отношению площадей:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\pi a^2}{8\pi a^2 - \pi a^2} = 0,65.$$

Тогда окончательно:  $x = 0,65a$ .

**Ответ:**  $0,65a$ .

**С3.** Если в замкнутом сосуде под поршнем находится воздух и  $m_2 = 21$  г воды в виде равновесной смеси пара и жидкости при постоянной температуре, а объем сосуда изотермически увеличивают в 7 раз, то какова будет относительная влажность воздуха в сосуде? Считать, что при этом испаряется  $\Delta m = 12$  г воды и вся вода переходит в газообразное состояние.

Плотность пара принять пренебрежимо малой по сравнению с плотностью жидкости.

**Решение.** Из условия следует, что сначала в сосуде было 9 г насыщенного водяного пара. Для него справедливо уравнение:

$$p_n V_1 = \frac{m_1}{M} RT.$$

После испарения 12 г воды давление пара найдем из уравнения:

$$7p V_1 = \frac{m_2}{M} RT.$$

Относительная влажность будет равна:

$$\varphi = \frac{p}{p_n}.$$

Тогда:

$$p_n = \frac{m_1}{M V_1} RT.$$

$$7p = \frac{\Delta m}{M V_1} RT.$$

После подстановки получим относительную влажность:  $\varphi = 33,3\%$ .

**Ответ:** 33,3%.

**С4.** Три шарика соединены между собой одинаковыми резиновыми нитями так, что образовался правильный треугольник. Система лежит на гладком горизонтальном столе. Какие одинаковые заряды следует поместить на шарики, чтобы площадь треугольника увеличилась в  $n$  раз? Длина каждой нерастянутой нити равна  $l_0$ , коэффициент жесткости каждой нити равен  $k$ .

**Решение.** Расставим на рисунке 15 силы, действующие на один из шариков.

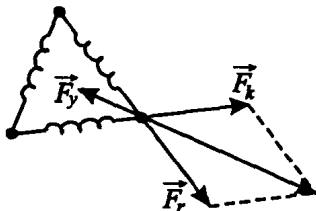


Рис. 15.

Площадь треугольника в первом случае равна:

$$S_1 = \frac{l_0^2 \sqrt{3}}{4}.$$

Во втором случае площадь треугольника должна стать равной:

$$S_2 = \frac{nl_0^2 \sqrt{3}}{4}.$$

Из условия равновесия шарика во втором случае следует равенство по модулю силы Кулона и силы упругости:  $F_k = F_{\text{упр}}$ . Отсюда получаем:

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 l_0^3} = k(l - l_0).$$

Окончательно получаем:

$$q = \sqrt{4\pi\epsilon_0 k l_0^3 (\sqrt{n} - 1)n}.$$

Ответ:  $\sqrt{4\pi\epsilon_0 k l_0^3 (\sqrt{n} - 1)n}$ .

**С5.** Внутри гладкой сферы находится заряженный шарик. Какой точечный заряд  $Q$  следует поместить в нижней точке сферы, чтобы шарик устойчиво удерживался в верхней точке? Диаметр сферы  $d$ , заряд шарика  $q$ , масса  $m$ .

*Решение.* Запишем условие равновесия шарика в верхней точке сферы:

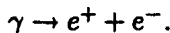
$$mg = \frac{kqQ}{d^2}.$$

Отсюда находим заряд:

$$Q = \frac{4\pi\epsilon_0 mgd^2}{q}.$$

Ответ:  $\frac{4\pi\epsilon_0 mgd^2}{q}$ .

**С6.** Известно, что электрон-позитронная пара может возникнуть при взаимодействии  $\gamma$ -кванта с веществом в ходе реакции:



Какова должна быть минимальная энергия  $\gamma$ -кванта для рождения такой пары?

*Решение.* Энергия  $\gamma$ -кванта должна быть равна удвоенной энергии покоя электрона 0,511 МэВ.

Ответ: 1,022 МэВ.

## Решение варианта №4

## Часть 1

А7. Используя показания приборов, указанных на рис. 16, определите сопротивление резистора в цепи.

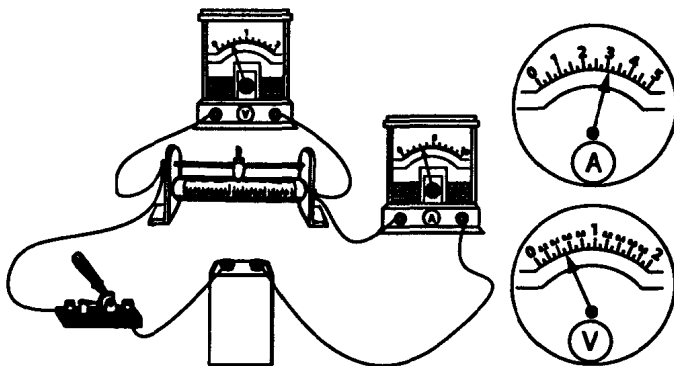


Рис. 16.

- 1) 6,4 Ом
- 2) 64 Ом
- 3) 0,64 Ом
- 4) по результатам эксперимента определить невозможно

**Решение.** Из рисунка определим показания приборов в схеме:  $U \approx 3,2$  В,  $I \approx 0,5$  А. Тогда сопротивление резистора в цепи:  $R = \frac{U}{I} = 6,4$  Ом.

**Ответ:** 1.

А12. Давление насыщенных паров при  $14^\circ\text{C}$  равно 1,6 кПа. Если при  $14^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха составляет 50%, то при этом парциальное давление водяного пара равно...

- 1) 0,1 кПа
- 2) 0,4 кПа
- 3) 0,8 кПа
- 4) 1,6 кПа

**Решение.** Относительная влажность воздуха определяется формулой:

$$\varphi = \frac{p}{p_n}.$$

Отсюда найдем парциальное давление водяного пара при данной температуре:  $p = \varphi \cdot p_n = 0,8$  кПа.

**Ответ:** 3.

**A19.** Чем объяснить цветную окраску крыльев стрекозы?

- 1) интерференцией света на неровностях крыльев
- 2) различной природной окраской
- 3) дифракцией света
- 4) поляризацией света

*Решение.* Крылья стрекозы представляют собой набор полосок разной толщины, и на них происходит интерференция света.

*Ответ:* 1.

**A23.** На рисунке 17 представлен график зависимости силы фототока в фотоэлементе от приложенного к нему напряжения. Если начать уменьшать частоту падающего на катод света (при той же интенсивности света), то...

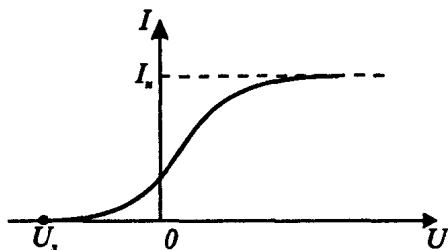


Рис. 17.

- 1) нижняя часть графика, соответствующая запирающему напряжению, сместится влево
- 2) нижняя часть графика, соответствующая запирающему напряжению, сместится вправо
- 3) верхняя часть графика, показывающая силу тока насыщения, сместится вверх
- 4) верхняя часть графика, показывающая силу тока насыщения, сместится вниз

*Решение.* Запишем формулу Эйнштейна для фотоэффекта через задерживающий потенциал:

$$h\nu = A + eU_3,$$

здесь  $e$  — заряд электрона,  $U_3$  — задерживающий потенциал. При уменьшении частоты падающего света  $U_3$  будет по модулю уменьшаться, и нижняя часть графика сместится вправо.

*Ответ:* 2.

**A25.** На рисунке 18 приведены результаты исследования деформации резины и пружины. Каково приблизительное значение силы  $F_x$ , под действием которой резина и пружина имеют одинаковую деформацию?

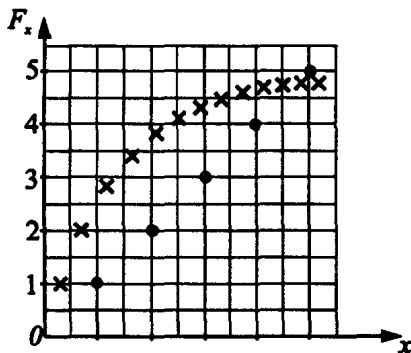


Рис. 18.

1) 3,5 Н

2) 5 Н

3) 4 Н

4) такой информации на рисунке нет

**Решение.** Из графиков на рисунке видно, что одинаковые значения деформации возникают при силе  $\approx 5$  Н.

**Ответ:** 2.

### Часть 2

**B3.** Чему равен тормозящий момент относительно оси колеса, если при этом к ободу колеса радиусом 10 см прижимается тормозная колодка с силой 500 Н? Коэффициент трения равен 0,5.

**Решение.** Момент силы по определению равен произведению силы на ее плечо:

$$M = Fd,$$

здесь  $F = \mu N$  — сила трения,  $N$  — прижимающая сила, а плечо равно радиусу колеса.

Тогда окончательно:  $M = \mu NR = 25 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

**Ответ:** 25.

**B4.** На сколько градусов повысилась температура железного осколка при падении с высоты 500 м, если его скорость в момент падения равна 40 м/с? Считать, что вся работа против сил сопротивления воздуха пошла на нагревание осколка. Ответ округлите до десятых.

**Решение.** По закону изменения механической энергии это изменение равно работе сил сопротивления, а эта работа и превратилась в тепло:

$$mgh - \frac{mV^2}{2} = cm \cdot \Delta t.$$

Отсюда найдем изменение температуры осколка:

$$\Delta t = \frac{2gh - V^2}{2c} = 6,6^\circ\text{C}.$$

**Ответ:** 6,6.

**В5.** Чему равна индуктивность катушки, если при равномерном уменьшении силы тока в ней на 0,2 А за 0,04 с в катушке возникает ЭДС самоиндукции 10 В?

**Решение.** По закону электромагнитной индукции Фарадея можем записать:

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{L\Delta I}{\Delta t}.$$

Отсюда:

$$L = \frac{\mathcal{E}\Delta t}{\Delta I} = 2 \text{ Гн}.$$

**Ответ:** 2.

### Часть 3

**С1.** Французский инженер Сади Карно показал, что КПД идеального теплового двигателя (в том числе двигателя внутреннего сгорания) определяется по формуле:

$$\eta = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}}.$$

Здесь  $T_{\text{н}}$  — температура нагревателя,  $T_{\text{х}}$  — температура холодильника. Температура образующихся при сгорании газов и зимой и летом примерно одинакова. Температура холодильника зимой ниже, чем летом. Это должно увеличивать КПД зимой, однако зимой расход топлива больше, чем летом. Объясните почему.

**Решение.** Здесь идет речь, скорее, не об идеальном тепловом двигателе, а о реальном. Зимой расход топлива больше, т.к. нагреватель вынужден отдавать больше тепла в окружающую среду.

**С2.** Лётчик, находясь в самолете, летящем горизонтально на высоте  $H$  со скоростью  $V$ , заметил приводной фонарь посадочной полосы в тот момент, когда он находился точно над ним. Как надо двигаться самолету, чтобы как можно быстрее добраться до приводного фонаря? Сколько времени

для этого понадобится? Принять, что самолет способен в любом направлении двигаться с ускорением  $a$ .

**Решение.** Удобно решать задачу в системе отсчета, относительно которой самолет  $A$  сначала был неподвижен, а приводной фонарь  $B$  движется от самолета с постоянной скоростью (рис. 19).

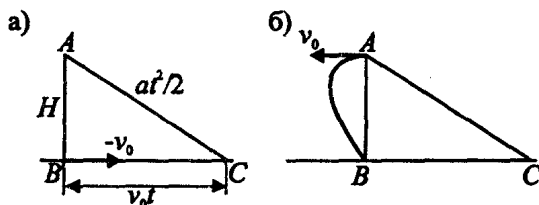


Рис. 19.

Ответ:  $t = \frac{v_0}{a} \sqrt{2 \left( 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{aH}{v_0^2} \right)^2} \right)}$ .

**С3.** К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 1 м приложили разность потенциалов 100 В. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь.

**Решение.** По закону сохранения энергии работа электрического тока равна количеству тепла, которое идет на нагрев проводника:

$$\frac{U^2}{R} t = cm \cdot \Delta t.$$

Отсюда найдем промежуток времени нагрева проводника:

$$t = \frac{c \rho_m \rho_z l^2 \cdot \Delta t}{U^2},$$

здесь  $\rho_m$  — плотность меди,  $\rho_z$  — удельное сопротивление меди в Ом · м.

Расчет дает:  $t \approx 57,5$  мкс.

Ответ: 57,5 мкс.

**С4.** Объектив проекционного аппарата имеет оптическую силу 5,4 дптр. Экран расположен на расстоянии 4 м от объектива. Определите размеры экрана, на котором должно уместиться изображение диапозитива размером 6 × 9 см.



**Решение.** Запишем формулу линзы и увеличение линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D, \quad \Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d},$$

здесь  $d$  — расстояние от предмета (диапозитива) до линзы,  $f$  — расстояние от изображения (экрана) до линзы,  $D$  — оптическая сила линзы,  $H$  — высота изображения,  $h$  — высота предмета.

Тогда для высоты и ширины диапозитива можем записать:

$$\frac{H_1}{h_1} = \frac{H_2}{h_2}.$$

Решение этих систем уравнений дает:  $H_1 = 1,26$  м;  $H_2 = 1,89$  м. Тогда площадь экрана:  $S = 1,26 \times 1,89$  м.

**Ответ:**  $1,26 \times 1,89$  м.

**С5.** Фотоны, имеющие энергию 5 эВ, выбивают электроны с поверхности металла. Работа выхода электронов из металла равна 4,7 эВ. Какой максимальный импульс приобретает электрон при вылете с поверхности металла?

**Решение.** Формула Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + E_k.$$

Отсюда:

$$E_k = h\nu - A.$$

Связь между кинетической энергией и импульсом имеет вид:

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

Отсюда импульс равен:

$$p = \sqrt{2mE}.$$

Расчет дает:  $2,95 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$

**Ответ:**  $2,95 \cdot 10^{-25} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$

**С6.** Какое количество энергии выделится при аннигиляции нейтрона и антинейтрона, если масса покоя нейтрона равна  $m_0 = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг?

**Решение.** По формуле Эйнштейна  $E = mc^2$  найдем количество выделившейся энергии:

$$E_{\text{выд}} = 2E = 2mc^2 = 30 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 1878 \text{ МэВ}.$$

**Ответ:** 1878 МэВ.

## Решение варианта №5

## Часть 1

А7. На рисунке 20 приведён график зависимости модуля перемещения тела от времени для прямолинейного движения. На каком из рисунков-ответов (см. рис 21) приведён график зависимости модуля перемещения от скорости для этого движения?

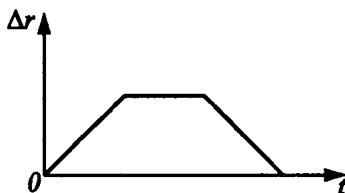


Рис. 20.

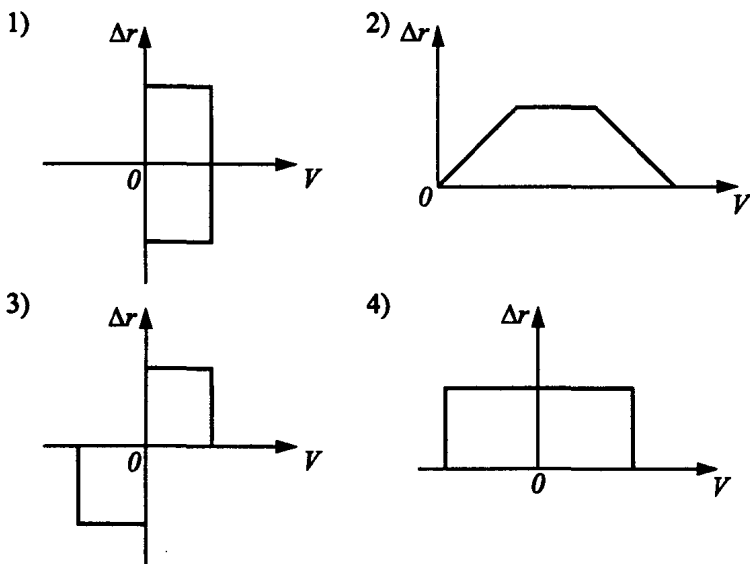


Рис. 21.

1) 1

2) 2

3) 3

4) 4

**Решение.** На трех представленных временных промежутках движение имеет различный характер: равномерное (скорость положительна), покой,

равномерное (скорость отрицательна). Нарисуем для этого движения график зависимости скорости от времени (см. рис. 22).

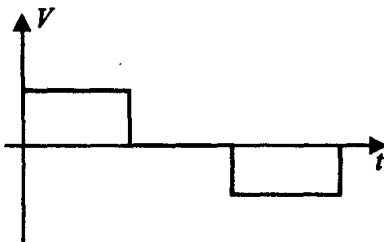


Рис. 22.

Теперь есть возможность нарисовать график зависимости модуля вектора перемещения от скорости. В первый временной промежуток скорость положительна и постоянна, а модуль перемещения увеличивается. Второму временному промежутку соответствует точка ( $v = 0$ ,  $\Delta r = \text{const}$ ). Третьему временному промежутку соответствует отрицательная постоянная скорость, модуль вектора перемещения убывает. График представлен на рис. 23.

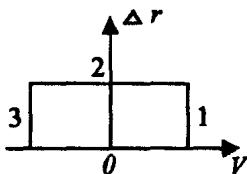


Рис. 23.

**Ответ:** 4.

**А12.** На рисунке 24 представлен график замкнутого цикла, приведенный для идеального газа. Справедливо соотношение:

- |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|
| 1) $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$ | 2) $V_1 < V_2 < V_3 < V_4$ |
| 3) $V_1 < V_3 = V_4 < V_2$ | 4) $V_1 > V_3 = V_4 > V_2$ |

**Решение.** В координатах  $p(T)$  график изохорного процесса имеет вид прямой, проходящей через начало координат. Угол наклона этих прямых к оси температур тем больше, чем меньше объем. Проведем через интересные нас точки (1, 2, 3, 4) соответствующие прямые. Угол наклона прямой 1 самый большой, значит, этой точке соответствует самый маленький объем. Точке 2 соответствует самый большой объем. Объем газа в точках 3 и 4 одинаков, т.к. через них проходит одна и та же прямая. Итак:

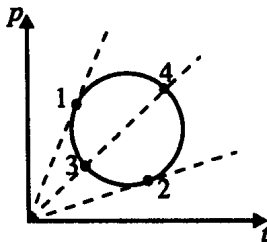


Рис. 24.

$$V_1 < V_3 = V_4 < V_2.$$

Ответ: 3.

**A19.** Чему равен удельный заряд электрона, если он влетел в плоский конденсатор со скоростью  $v$ , направленной параллельно его обкладкам, и, двигаясь вдоль обкладок длиной  $l$ , сместился в перпендикулярном направлении на расстояние  $h$ ? В конденсаторе создано электрическое поле напряженностью  $E$ .

1)  $\frac{El^2}{2\hbar v^2}$

2)  $\frac{2\hbar v^2}{El^2}$

3)  $\frac{Eh l^2}{2v^2}$

4)  $\frac{l^2 v^2}{2\hbar E}$

*Решение.* Движение электрона представлено на рис. 25.

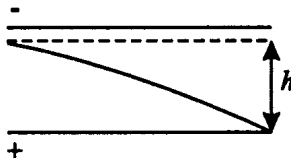


Рис. 25.

Электрон движется по параболической траектории, участвуя в двух движениях. Одно из них, происходящее вдоль обкладок, равномерное с той самой скоростью, с которой электрон влетел в конденсатор, второе — равноускоренное без начальной скорости. Оно происходит под действием электрической силы и направлена перпендикулярно к обкладкам. Время движения по каждому из этих направлений одинаково и равно  $t = \frac{l}{v}$ . Поэтому смещение электрона в перпендикулярном направлении:

$$h = \frac{at^2}{2},$$

где  $a$  — ускорение электрона. Оно равно:

$$a = \frac{eE}{m},$$

где  $e$  — заряд электрона,  $m$  — его масса.

$$h = \frac{eEl^2}{mv^2 \cdot 2}.$$

Отсюда удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{2hv^2}{El^2}.$$

Ответ: 2.

**A23.** Какая длина волны в серии Бальмера соответствует переходу с уровня  $m = 4$  на уровень  $n = 2$ ?

1) 610 нм

2) 484 нм

3) 432 нм

4) 402 нм

**Решение.** Одно из положений теории Бора для атома водорода — правило квантования орбит — имеет вид:

$$mvr = n \frac{h}{2\pi},$$

где  $m$  — масса электрона,  $v$  — его скорость на орбите радиуса  $r$ ,  $h$  — постоянная Планка,  $n$  — целое число, являющееся номером орбиты (это главное квантовое число).

По второму закону Ньютона для электрона на орбите (центростремительной силой является кулоновская сила):

$$m \frac{v^2}{r} = k \frac{e^2}{r^2}.$$

Из этих двух уравнений можно получить как выражение для радиуса орбиты  $r = \frac{h^2}{4\pi^2 k m e^2} n^2$ , так и для скорости электрона  $v = \frac{2\pi k e^2}{h n}$ .

Энергия электрона на орбите складывается из его кинетической и потенциальной электростатической энергии:

$$E_n = \frac{mv^2}{2} - k \frac{e^2}{r} = -\frac{2k^2 m e^4 \pi^2}{h^2 n^2}.$$

При переходе электрона с четвертой орбиты на вторую выделяется квант электромагнитной энергии с длиной волны  $\lambda$ .

$$\frac{hc}{\lambda} = E_4 - E_2 = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{h^2} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right).$$

Отсюда для длины волны получается выражение:

$$\lambda = \frac{h^3 c \cdot 0,1875}{2\pi^2 k^2 m e^4}.$$

Расчет показывает, что для искомой длины волны получается значение 484 нм.

Ответ: 2.

**A25.** Исследовалась зависимость напряжения на обкладках резистора от силы тока в нем. Результаты приведены в таблице. Погрешность измерений величин  $U$  и  $I$  равны соответственно 5 В и 2 мА.

$U, \text{В}$	0	10	20	30	40	50
$I, \text{мА}$	0	2,1	4,2	5,9	6,0	7,8

Определите по этим данным сопротивление резистора.

1) 10 кОм

2) 5 кОм

3) 15 кОм

4) 20 кОм

**Решение.** Вычислим значение сопротивления при нескольких значениях напряжения:

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

Для  $U = 10 \text{ В}$  получается значение 4,76 кОм;

для  $U = 30 \text{ В}$   $R = 5,08 \text{ кОм}$ ;

для  $U = 50 \text{ В}$   $R = 6,4 \text{ кОм}$ .

Наиболее близким значением сопротивления с учетом погрешностей измерения напряжения и силы тока является величина 5 кОм.

Ответ: 2.

## Часть 2

**В3.** Летчик массой 70 кг совершает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости с выключенным двигателем. На сколько ньютонов вес летчика в верхней точке траектории меньше, чем в нижней?

**Решение.** Если двигатель самолета выключен, скорости самолета в верхней и нижней точках разные. На рис. 26 приведена расстановка сил в интересующих нас точках.

В нижней точке уравнение динамики имеет вид:

$$N_1 - mg = \frac{mv_1^2}{R},$$

а в верхней:

$$N_2 + mg = \frac{mv_2^2}{R}.$$

Вычтем из  $N_1$  почленно  $N_2$ :

$$N_1 - N_2 = 2mg + \frac{mg}{R}(v_1^2 - v_2^2).$$

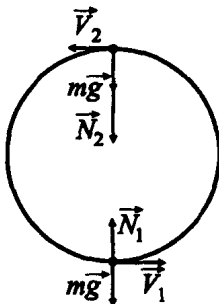


Рис. 26.

Из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + 2mgR,$$

$$v_1^2 - v_2^2 = 4mg.$$

Итого:  $N_1 - N_2 = 6mg = 4200 \text{ Н}$ .

Ответ: 4200.

**В4.** В двух сосудах объемами 3 л и 5 л находится влажный воздух при одной и той же температуре. В первом сосуде относительная влажность 30%, а во втором — 50%. Сосуды соединены тонкой трубкой. Чему равна относительная влажность в сосудах после установления равновесия? Ответ выразите в процентах и округлите до десятых.

**Решение.** Число молекул водяного пара  $N_1$  в первом сосуде можно найти следующим образом:

$$\varphi_1 = \frac{n_1}{n_0}; \quad n_1 = \varphi_1 n_0;$$

$$N_1 = \varphi_1 V_1 n_0.$$

Во втором сосуде  $N_2 = \varphi_2 V_2 n_0$ . Всего в сосудах  $N$  молекул воды:

$$N = N_1 + N_2 = (\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2) n_0,$$

а концентрация этих молекул:

$$n = \frac{(\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2) n_0}{V_1 + V_2}.$$

После соединения сосудов и установления равновесия относительная влажность:

$$\varphi = \frac{n}{n_0} = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2} = 42,5\%.$$

Ответ: 42,5.

**В5.** При делении одного атома  ${}_{92}^{235}\text{U}$  на два осколка выделяется 200 МэВ. Какой энергии в джоулях соответствует «сжигание» в ядерном реакторе 1 г этого урана? Ответ дайте в ГДж и округлите до целых.

**Решение.** В одном грамме урана число его ядер составляет:  $N = N_A \frac{m}{\mu}$ .  
Здесь  $N_A$  — число Авогадро. Выделяющаяся энергия при распаде этих ядер равна:

$$W = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 2 \cdot 10^8 \text{ эВ}}{235 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} =$$

$$= 5,123 \cdot 10^{29} \text{ эВ} = 8,2 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 82 \text{ ГДж}.$$

**Ответ:** 82.

### Часть 3

**С1.** На рисунке 27 представлены предмет  $AB$  и его изображение  $A'B'$  в линзе. Где находится линза, и собирающая она или рассеивающая?

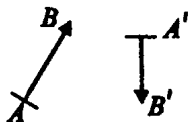


Рис. 27.

**Решение.** Построение приведено на рис. 28.

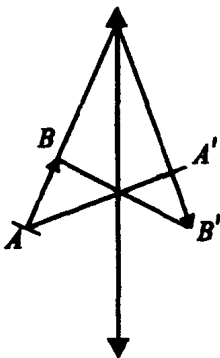


Рис. 28.

Соединим отрезком прямой сходственные точки  $A$  и  $A'$  на предмете и его изображении. На этом отрезке прямой находится центр линзы, т.к. не



преломляется только луч, идущий через центр линзы. Из тех же соображений центр линзы лежит на отрезке  $BB'$ . Значит, центром линзы является точка пересечения этих отрезков. Теперь пустим луч света через точки  $A$  и  $B$ . После преломления в линзе этот луч должен пройти через изображения точек  $A$  и  $B$ , т.е. через точки  $A'B'$ . Преломиться луч может только на линзе. Значит, линза проходит через свой центр и точку преломления пущенного луча.

**С2.** Катер плывет по реке против течения с постоянной скоростью и в некотором месте теряет спасательный круг. Через 2,5 часа потеря обнаруживается, катер поворачивается и нагоняет круг на расстоянии 10 км ниже места потери. Найдите скорость течения реки.

*Решение.* Эту задачу чрезвычайно удобно и просто решать в системе отсчета, связанной с водой реки. В этой системе отсчета катер нагоняет круг столько же времени, сколько и уплывает от него. Таким образом, круг найден через 5 часов после его потери. За это время вода прошла вместе с кругом 10 км относительно берега. Скорость течения:

$$\frac{10 \text{ км}}{5 \text{ ч}} = 2 \text{ км/ч.}$$

*Ответ:* 2 км/ч.

**С3.** Плотность смеси азота и водорода при температуре  $47^\circ\text{C}$  и давлении  $2,03 \cdot 10^5 \text{ Па}$  равна  $0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Какова концентрация молекул водорода в смеси?

*Решение.* Для каждого из газов можно записать уравнение состояния:

$$p_B V = \frac{m_B}{\mu_B} RT,$$

$$p_A V = \frac{m_A}{\mu_A} RT.$$

Найдя давление каждого из газов из записанных уравнений и учитывая, что  $\frac{m_B}{V} = \rho_B$ ,  $\frac{m_A}{V} = \rho_A$ , можно записать:

$$p_B = \frac{\rho_B}{\mu_B} RT, \quad p_A = \frac{\rho_A}{\mu_A} RT.$$

Из основного закона молекулярно-кинетической теории газа следует:  
 $n = \frac{p}{kT}$ . Поэтому:

$$\frac{p_B}{RT} = \frac{\rho_B}{\mu_B}; \quad \frac{n_B}{N_A} = \frac{\rho_B}{\mu_B}.$$

Аналогично:

$$\frac{n_A}{N_A} = \frac{\rho_A}{\mu_A}.$$

Здесь  $N_A$  — число Авогадро. Концентрация молекул двух газов:

$$n = \frac{p}{kT} = \frac{pN_A}{RT}.$$

По закону Дальтона:  $p = p_A + p_B$

$$\frac{n_B \mu_B}{N_A} + \frac{n_A \mu_A}{N_A} = \rho,$$

$$\frac{pN_A}{RT} = n_1 + n_2.$$

Отсюда:

$$n_B = \frac{\frac{\mu_A p N_A}{RT} - \rho N_A}{\mu_A - \mu_B} = 4,2 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ:  $4,2 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ .

С4. Две проволоки — нихромовая и стальная — имеют одинаковые массы. Длина стальной проволоки в 20 раз больше длины нихромовой. Во сколько раз отличаются их сопротивления? Удельное сопротивление нихрома в 10 раз больше удельного сопротивления стали, плотность нихрома в 1,07 раз больше плотности стали.

Решение. Сопротивления проволок можно записать:

$$R_H = \rho_H \frac{l_H}{S_H};$$

$$R_c = \rho_c \frac{l_c}{S_c}.$$

Площади поперечного сечения можно выразить через их массы:

$$m = D_H l_H S_H \rightarrow S_H = \frac{m}{D_H l_H};$$

$$m = D_c l_c S_c \rightarrow S_c = \frac{m}{D_c l_c}.$$

После этого можно искать отношение сопротивлений проволок:

$$\frac{R_H}{R_c} = \frac{\rho_H l_H^2 D_H m}{m \rho_c l_c^2 D_c} = \frac{\rho_H l_H^2 D_H}{\rho_c l_c^2 D_c} = 0,027.$$

Здесь буквой  $D$  обозначены плотности материалов проволок. Сопротивление стальной проволоки в  $1/0,027 \approx 37,4$  раза больше сопротивления нихромовой.

Ответ: В 37,4.

С5. Электрон, вышедший из накаливаемого катода электронно-лучевой трубки с малой скоростью, приобретает скорость в поле анода, находящегося под потенциалом 10 кВ, и, пройдя между пластинами конденсатора длину 10 см, попадает на флуоресцирующий экран, помещенный на расстоянии 10 см от конденсатора. Когда в конденсаторе создается электрическое поле, светящаяся точка на экране смещается на 3 см. Чему равна напряженность поля в конденсаторе?

Решение. На рис. 29 представлена траектория движения электрона.

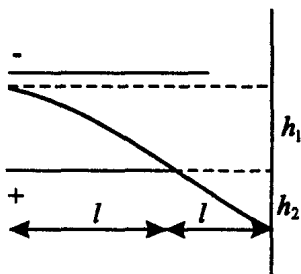


Рис. 29.

На электрон между обкладками конденсатора действует сила  $F = eE$ , под действием этой силы электрон движется по параболе, участвуя в двух движениях: равномерном вдоль пластин конденсатора и равноускоренном без начальной скорости в направлении, перпендикулярном к пластинам. Ускорение электрона в этом направлении:

$$a = \frac{eE}{m};$$

время пролета между пластинами:

$$t_1 = \frac{l}{v},$$

где  $v$  — начальная скорость электрона при влете в конденсатор.

Электрон, пройдя между пластинами, смещается на расстояние

$$h_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{eEl^2}{2v^2m}$$

и приобретает вертикальную скорость

$$v_{\perp} = at_1 = \frac{eEl}{mv}.$$

С этой скоростью он движется до экрана равномерно в течение времени  $t_2 = \frac{l}{v}$  и смещается по вертикали на  $h_2 = v_{\perp} t_2 = \frac{eEl^2}{mv^2}$ . Общее смещение электрона

$$h = h_1 + h_2 = \frac{eEl^2}{mv^2} \cdot 1,5.$$

Начальную скорость электрона находим из энергетических соображений:

$$eU = \frac{mv^2}{2} \rightarrow v^2 = \frac{2eU}{m}.$$

Отсюда для  $h$  получаем:

$$h = \frac{0,75El^2}{U}$$

и

$$E = \frac{hU}{0,75l^2} = 40\,000 \text{ В/м}.$$

Ответ:  $4 \cdot 10^4 \text{ В/м}$ .

**С6.** Уединенный металлический шарик радиусом 0,5 см освещают светом с длиной волны 250 нм продолжительное время. Затем его дополнительно осветили светом с длиной волны 200 нм. И в том и в другом случае фотоэффект был. Какое количество электронов покинет шарик после начала дополнительного освещения?

*Решение.* Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта при освещении шарика светом с длиной волны  $\lambda$  имеет вид:

$$\frac{hc}{\lambda_1} = A + \frac{e^2 N_1}{4\pi\epsilon_0 R},$$

где  $N_1$  — число вылетевших электронов.

Для света с более короткой длиной волны  $\lambda_2$ :

$$\frac{hc}{\lambda_2} = A + \frac{e^2 N_2}{4\pi\epsilon_0 R},$$

где  $N_2$  — число электронов, которые вылетели бы, если бы шарик изначально освещался светом с длиной волны  $\lambda_2$ . Нас интересует число электронов, дополнительно вылетевших после начала освещения более коротковолновым светом. Это  $\Delta N = N_2 - N_1$ . Найдя из первых двух уравнений  $N_2$  и  $N_1$  и подставив полученные выражения в последнее уравнение, получаем:

$$\Delta N = \frac{hc\left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}\right)4\pi\epsilon_0 R}{e^2} = 4,3 \cdot 10^6.$$

Ответ:  $4,3 \cdot 10^6$ .

## Решение варианта №6

### Часть 1

**A7.** Летчик массой  $m$  совершает «мертвую петлю» в вертикальной плоскости с включенным двигателем, поддерживая постоянную по модулю скорость. Вес летчика в верхней точке траектории больше его веса в нижней на...

- 1) вес одинаков      2) на  $6mg$       3) на  $4mg$       4) на  $2mg$

**Решение.** Самолет описывает окружность в вертикальной плоскости (см. рис. 30).

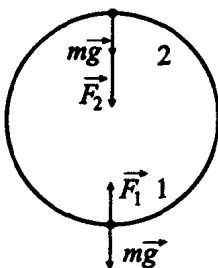


Рис. 30.

В нижней точке на пилота действует сила тяжести ( $m\vec{g}$ ), направленная вниз, и сила реакции опоры, направленная вверх. Сила реакции опоры по модулю равна весу летчика.

Уравнение динамики в этом случае имеет вид:

$$F_1 - mg = \frac{mv^2}{R},$$

где  $R$  — радиус окружности, а  $v$  — скорость самолета. В верхней точке сила тяжести и сила реакции опоры направлены вниз. Уравнение динамики имеет вид:

$$F_2 + mg = \frac{mv^2}{R}.$$

Из уравнений динамики:

$$F_1 = \frac{mv^2}{R} + mg,$$

$$F_2 = \frac{mv^2}{R} - mg.$$

Вычитая из первого уравнения второе, получаем:

$$F_1 - F_2 = 2mg.$$

Ответ: 4.

A12. На рисунке 31 представлен цикл, проведенный с идеальным газом в координатах  $V - T$ . Какой из приведенных ответов (см. рис. 32) соответствует этому циклу?

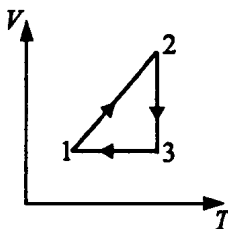


Рис. 31.

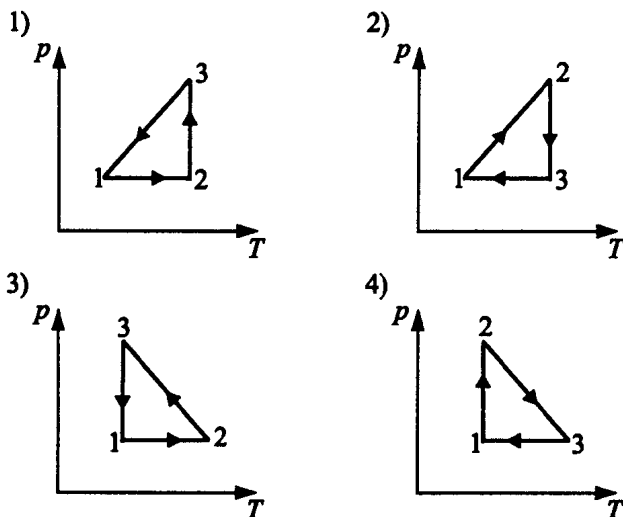


Рис. 32.

1) 1

2) 2

3) 3

4) 4

**Решение.** На представленном графике 1–2 — изобарический процесс, идущий с ростом температуры, 2–3 — изотермический процесс, идущий с увеличением давления, и 3–1 — изохорический процесс, идущий с убывлю температуры. В координатах  $p - T$  этим условиям соответствует только цикл, изображенный на 1-ом рисунке.

**Ответ:** 1.

**A19.** Из провода сделан квадрат со стороной  $a$  и помещен в магнитное поле индукцией  $B$ , перпендикулярное плоскости, в которой расположен квадрат. Сопротивление провода, из которого сделан квадрат, —  $R$ . Квадрат трансформируют в окружность. По проводу при этом проходит заряд...

$$1) \frac{0,27a^2 B}{R}$$

$$2) \frac{0,32a^2 B}{R}$$

$$3) \frac{0,25a^2 B}{R}$$

$$4) \frac{0,35a^2 B}{R}$$

**Решение.** Площадь, которую охватывает квадрат, равна  $a^2$ . Периметр квадрата  $4a$ , он равен длине окружности:

$$2\pi r = 4a \rightarrow r = \frac{2a}{\pi},$$

площадь, охватываемая окружностью, равна:

$$\pi r^2 = \frac{4a^2}{\pi}.$$

Таким образом, площадь, охватываемая проводом, увеличивается на  $\Delta S = \left(\frac{4}{\pi} - 1\right)a^2$ , поток увеличивается на  $\Delta\Phi = Ba^2\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)$ , а прошедший заряд равен:

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{Ba^2\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)}{R} = \frac{0,27a^2 B}{R}.$$

**Ответ:** 1.

**A23.** Сколько электронов смогут покинуть металлический шар радиусом  $R = 10$  см, если критическая частота для этого металла  $550$  ТГц, а шар освещается светом с частотой  $600$  ТГц?

$$1) 1,45 \cdot 10^7$$

$$2) 1,45 \cdot 10^6$$

$$3) 1,45 \cdot 10^5$$

$$4) 1,45 \cdot 10^4$$

**Решение.** После вылета электрона из шара шар заряжается положительно и следующему электрону становится трудней покидать металл. Для последнего вылетевшего электрона энергетическое уравнение имеет вид:

$$h\nu = h\nu_{\text{кр}} + e\varphi,$$

где  $\varphi$  — потенциал, который имеет шар после вылета последнего электрона:

$$\varphi = \frac{Ne}{4\pi\epsilon_0 R},$$

$$h(\nu - \nu_{\text{кр}}) = \frac{Ne^2}{4\pi\epsilon_0 R}.$$

Отсюда:

$$N = \frac{h(\nu - \nu_{\text{кр}})4\pi\epsilon_0 R}{e^2} = 1,47 \cdot 10^7 \text{ штук.}$$

Ответ: 1.

**A25.** Какова длина волны электромагнитного излучения, падающего на дифракционную решетку, если третий максимум в дифракционной картине лежит в пределах от  $25^\circ$  до  $30^\circ$ ? Постоянная решетки  $3,2 \cdot 10^{-6}$  м.

- 1)  $2 \cdot 10^{-7}$  м      2)  $3 \cdot 10^{-7}$  м      3)  $5 \cdot 10^{-7}$  м      4)  $7 \cdot 10^{-7}$  м

*Решение.* Вычислим длину волны падающего излучения для случая, когда третий максимум находится под углом  $25^\circ$ . Условие максимума имеет вид:

$$d \sin \varphi = 3\lambda.$$

Отсюда:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{3} = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Соответственно для  $\varphi = 30^\circ$   $\lambda = 5,3 \cdot 10^{-7}$  м.

В этом диапазоне находится длина волны  $5 \cdot 10^{-7}$  м.

Ответ: 3.

## Часть 2

**B3.** Автомобиль двигался по окружности. Первый раз он проехал ее с постоянной по модулю скоростью, равной 60 км/ч, а второй — со скоростью 40 км/ч. Какой была его средняя скорость? Ответ дайте в км/ч и округлите до целых.

*Решение.* Обозначим длину окружности буквой  $S$ . Время прохождения окружности первый раз  $t_1 = \frac{S}{v_1}$ , а во второй раз  $t_2 = \frac{S}{v_2}$ . Всё время движения:

$$t + t_1 + t_2 = S \frac{v_1 + v_2}{v_1 v_2}.$$



Средняя скорость:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2S}{t} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/ч.}$$

Ответ: 48.

**В4.** К источнику тока с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подсоединяют нагрузочное сопротивление 4 Ом. Чему равен КПД источника? Ответ выразите в процентах и округлите до целых.

*Решение.* КПД источника — это отношение мощности, выделяющейся на нагрузочном сопротивлении  $I^2R$ , к мощности всей батареи  $I^2(R + r)$ . Таким образом, КПД:

$$\eta = \frac{R}{R + r} = 0,8 = 80\%.$$

В бланк ответа вносится число 80. От величины ЭДС КПД не зависит.

Ответ: 80.

**В5.** Какова длина волны де Бройля для электронов, прошедших разность потенциалов 1000 В? Ответ дайте в нанометрах и округлите до тысячных.

*Решение.* Длина волны де Бройля находится из соотношения:

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

где  $h$  — постоянная Планка, а  $p$  — импульс электрона. Пройдя разность потенциалов  $U$ , электрон разгоняется до скорости  $v$ , которую можно найти из закона сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}, \quad p = mv = \sqrt{2eUm}.$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm}} = 3,868 \cdot 10^{-11} \text{ м} = 0,039 \text{ нм.}$$

Ответ: 0,039.

### Часть 3

**С1.** Имеются полая металлическая сфера с отверстием (1), закрепленная на подставке из изолятора, заряженный шарик (2), тоже закрепленный на подставке из изолятора, незаряженный металлический шарик с ручкой из изолятора (3), кусок провода (4) и поверхность Земли (5) (см. рис. 33).

Как создать на сфере заряд много больший по модулю, чем заряд заряженного шарика?

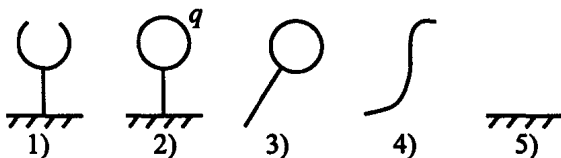


Рис. 33.

*Решение.* Расположим предметы следующим образом (см. рис. 34).

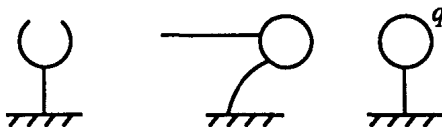


Рис. 34.

На носимом шарике наведется заряд, имеющий противоположный знак по отношению к заряду  $q$ . Если этот заряд внести внутрь поллой сферы, он полностью перейдет на ее внешнюю поверхность. Операцию можно проводить многократно, создавая на поллой сфере сколь угодно большой по модулю заряд.

**С2.** При определении скорости вновь построенного судна последнее выполняет пробег вдоль мерной линии в двух взаимно-противоположных направлениях. При этом оказалось, что время пробега в одном направлении 0,5 часа, а в другом — 20 минут. Длина мерной линии 4 км. Определите скорость судна, полагая, что в районе испытаний имеется неизвестное, но постоянное по величине и направлению течение.

*Решение.* Используя теорему сложения скоростей можно в первом случае записать для пути вдоль мерной линии:

$$S = vt_1 + ut_1 \cos \alpha.$$

Здесь  $v$  — скорость судна вдоль мерной линии,  $u$  — скорость течения,  $\alpha$  — угол, который скорость течения составляет с мерной линией.

При движении в обратном направлении:

$$S = vt_2 - ut_2 \cos \alpha.$$

Из этих уравнений находим:

$$v = \frac{S(t_2 + t_1)}{2t_1 t_2} = 10 \text{ км/ч.}$$

*Ответ:* 10 км/ч.

С3. Определите кажущуюся молекулярную массу смеси газов, состоящей из 3 кг кислорода и 5 кг водорода.

*Решение.* Давление смеси газов может быть найдено по закону Дальтона  $p = p_1 + p_2$ , где  $p_1$  и  $p_2$  — парциальные давления. Запишем для каждого из газов уравнения состояния:

$$p_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT, \quad p_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT.$$

Сложив уравнения, получаем:

$$(p_1 + p_2)V = \left( \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2} \right) RT.$$

С другой стороны, для смеси газов получаем:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT.$$

Сравнивая последние два уравнения и учитывая, что  $m = m_1 + m_2$ , получим:

$$\begin{aligned} \frac{m}{\mu} &= \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}, \\ \mu &= \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}. \end{aligned}$$

Будем считать, что индекс «1» относится к кислороду, а «2» — к азоту. Тогда:

$$\mu = \frac{8 \text{ кг}}{\frac{3 \text{ кг}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} + \frac{5 \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}} = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

*Ответ:*  $3,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ .

С4. Найдите разность потенциалов между точками А и В в цепи на рисунке 35. ЭДС источника 10 В (внутренним сопротивлением пренебречь).  $R_1 = 1 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 3 \text{ кОм}$ ;  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 7 \text{ мкФ}$ .

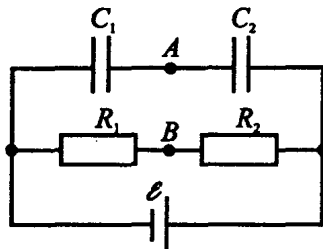


Рис. 35.

**Решение.** Если начать отсчитывать потенциал от отрицательного полюса источника, то потенциал точки  $A$  равен разности потенциалов на левом конденсаторе, а потенциал точки  $B$  — напряжению на левом резисторе.

$$\varphi_A = \frac{\varepsilon C_2}{C_1 + C_2} = 7,8 \text{ В},$$

$$\varphi_B = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2} = 2,5 \text{ В},$$

$$\varphi_{AB} = 5,3 \text{ В}.$$

**Ответ:** 5,3 В.

**С5.** Найдите заряд на конденсаторе  $C$  (см. рис. 36). Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.  $C = 10^{-6}$  Ф;  $\varepsilon = 10$  В.

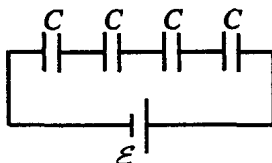


Рис. 36.

**Решение.** При последовательном включении заряды на всех конденсаторах одинаковы, а напряжения на всех конденсаторах тоже одинаковы, т.к. они имеют одинаковые емкости:

$$q = \frac{\varepsilon C}{4} = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}.$$

**Ответ:** 2,5 мКл.

**С6.** В соответствии с теорией Бора произведение импульса электрона на радиус стационарной орбиты (момент импульса) квантуется...

$$mvr = \frac{h}{2\pi} n, \quad \text{где } n = 1, 2, 3 \dots$$

Оцените радиус первой стационарной орбиты электрона в атоме водорода.

**Решение.** Раз момент импульса электрона на стационарных орбитах квантуется, то для первой стационарной орбиты ( $n = 1$ )

$$mvr = \frac{h}{2\pi}.$$

Электрон удерживается на орбите за счет кулоновского взаимодействия с ядром. Уравнение динамики для электрона имеет вид:

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}.$$

Здесь  $k$  — коэффициент пропорциональности в законе Кулона.

Из последнего уравнения  $v = \frac{h}{2\pi mr}$ . После подстановки этого выражения в первое:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 ke^2 m} = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

Ответ:  $5,3 \cdot 10^{-11}$  м.

## Решение варианта №7

### Часть 1

**A7.** Автомобиль двигался по окружности. Половину длины окружности он проехал со скоростью 60 км/ч, а вторую половину ехал со скоростью 40 км/ч. Средняя скорость автомобиля...

- 1) 58 км/ч      2) 55 км/ч      3) 50 км/ч      4) 48 км/ч

**Решение.** Если обозначить длину окружности как  $S$ , то время проезда первой половины окружности  $t_1 = \frac{S}{2v_1}$ , второй —  $t_2 = \frac{S}{2v_2}$ .

Полное время проезда окружности:

$$t = \frac{S}{2} \frac{v_1 + v_2}{v_1 v_2}.$$

Средняя скорость:

$$v_{\text{ср}} = \frac{S}{t} = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = 48 \text{ км/ч.}$$

Ответ: 4.

**A12.** В двух сосудах одинакового объёма относительная влажность при одинаковой температуре соответственно 20% и 70%. Чему будет равна влажность, если сосуды соединены тонкой трубкой между собой и с сосудом такого же объёма, содержащим сухой воздух при той же температуре?

- 1) 30%      2) 40%      3) 50%      4) 60%

**Решение.** Для первого сосуда можно записать выражение для относительной влажности через концентрацию молекул водяного пара  $n_1$  ( $n_0$  — концентрация молекул водяного пара в насыщенном паре):

$$\varphi_1 \frac{n_1}{n_0}.$$

Общее число молекул водяного пара в этом сосуде:

$$N_1 = n_1 V_1 = \varphi_1 n_0 V_1,$$

а во втором сосуде:

$$N_2 = \varphi_2 n_0 V_2.$$

Общее число молекул пара во всех сосудах:

$$N = N_1 + N_2 = n_0(\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2).$$

После соединения сосудов концентрация молекул водяного пара стала:

$$n = \frac{n_0(\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2)}{V_1 + V_2 + V_3},$$

а относительная влажность:

$$\varphi = \frac{n}{n_0} = \frac{\varphi_1 V_1 + \varphi_2 V_2}{V_1 + V_2 + V_3} = 30\%.$$

Ответ: 1.

**A19.** В вершине прямого угла наклонной плоскости (см. рис. 37) находится положительный заряд  $Q$ . На вершину плоскости высотой  $h$  ставят тело, имеющее одинаковый заряд и массу  $m$ , которое без трения соскальзывает к основанию наклонной плоскости. Тело имеет у основания плоскости скорость...

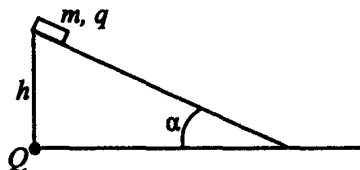


Рис. 37.

- 1)  $\sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 hm} \left(1 - \frac{1}{\text{ctg}(\alpha)}\right)\right)}$
- 2)  $\sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 hm} \left(1 + \frac{1}{\text{ctg}(\alpha)}\right)\right)}$
- 3)  $\sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 hm} \left(1 + \frac{1}{\text{tg}(\alpha)}\right)\right)}$
- 4)  $\sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 hm} \left(1 - \frac{1}{\text{tg}(\alpha)}\right)\right)}$

**Решение.** Для расчета скорости применим закон сохранения механической энергии. На вершине плоскости тело обладает двумя видами потен-

циальной энергии — гравитационной и электростатической. Его энергия  $W_1$  равна:

$$W_1 = mgh + \frac{kqQ}{h}.$$

После спуска тела его гравитационная энергия становится равной нулю, электростатическая изменяется из-за изменения расстояния между зарядами, появляется кинетическая энергия:

$$W_2 = \frac{kqQ \operatorname{tg} \alpha}{h} + \frac{mv^2}{2}.$$

Из закона сохранения механической энергии  $W_1 = W_2$  и

$$v = \sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 h m} (1 - \operatorname{tg} \alpha)\right)} = \sqrt{2\left(gh + \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 h m} \left(1 - \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}\right)\right)}.$$

Ответ: 1.

**A23.** Какая минимальная длина волны наблюдается при излучении серии Бальмера?

- 1) 600 нм                      2) 450 нм                      3) 400 нм                      4) 365 нм

*Решение.* Минимальная длина волны наблюдается при максимальном изменении энергии электрона. Электрон переходит с одной из внешних (расположенных далеко от ядра орбит) на вторую орбиту. Выражение для энергии электрона на орбите номера  $n$  было получено в решении задачи A23 5-го варианта. Оно имеет вид:

$$E_n = -\frac{2k^2 m e^4 \pi^2}{h^2 n^2}.$$

На внешних орбитах  $\frac{1}{n^2} \rightarrow 0$ .

Энергия перехода имеет вид:

$$\Delta E = \frac{2k^2 m e^4 \pi^2}{h^2} \frac{1}{4}.$$

Излучаемая при этом длина волны равна  $\frac{hc}{\lambda} = \Delta E$ :

$$\lambda = \frac{h^3 4c}{2k^2 m e^4 \pi^2} = 365 \text{ нм}.$$

Ответ: 4.

**A25.** Известно, что средняя за 2 часа скорость велосипедиста лежит в пределах от 55 км/ч до 60 км/ч. В первый час он двигался со скоростью 50 км/ч. В каких пределах должна лежать скорость велосипедиста на втором часе движения?

1) от 60 до 70 км/ч

2) от 55 до 65 км/ч

3) от 50 до 60 км/ч

4) от 45 до 60 км/ч

**Решение.** Средняя скорость движения велосипедиста за 2 часа, если каждый из этих часов он двигался с постоянной скоростью, равна:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

Отсюда скорость второго часа движения:  $v_2 = 2v_{\text{ср}} - v_1$ . Она лежит в пределах от 60 до 70 км/ч.

**Ответ:** 1.

## Часть 2

**В3.** Однородное тело плавает на границе раздела двух жидкостей.  $3/4$  его объёма находятся в жидкости с плотностью  $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а  $1/4$  — в жидкости с плотностью  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Чему равна плотность тела? Ответ дайте в  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  и округлите до целых.

**Решение.** На тело действует выталкивающая сила со стороны каждой из двух жидкостей. Результирующая выталкивающая сила равна:

$$F_{\text{выт}} = \left( \frac{3}{4} V \cdot 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + \frac{1}{4} V \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right) g.$$

Сила тяжести, действующая на тело, равна:  $mg = g\rho_{\text{т}}V$ .

Исходя из условия плавания, эти силы одинаковы и

$$\rho = \frac{3}{4} \cdot 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} + \frac{1}{4} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

**Ответ:** 850.

**В4.** Электрон был разогнан разностью потенциалов 50 кВ и влетел в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл со скоростью, перпендикулярной вектору магнитной индукции. По окружности какого радиуса он будет двигаться? Ответ выразите в мм и округлите до десятых.

**Решение.** Электрон, разогнанный разностью потенциалов  $U$ , приобретает скорость, которую можно оценить из закона сохранения энергии:

$$eU = \frac{mv^2}{2}.$$

Эта скорость равна:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$



В магнитном поле на электрон действует сила Лоренца, которая создает центростремительное ускорение:  $evB = \frac{mv^2}{R}$ . Электрон в этом поле движется по окружности радиуса:

$$R = \frac{mv}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um}{e}} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Ответ: 7,5.

**В5.** Какова масса фотона с длиной волны 500 нм? Ответ умножьте на  $10^{40}$  и округлите до целых.

*Решение.* Масса фотона связана с его длиной волны соотношением:

$$m = \frac{hc}{\lambda c^2} = \frac{h}{\lambda c} = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ кг.}$$

После умножения на  $10^{40}$  и округления до целых получается число 44000.

Ответ: 44000.

### Часть 3

**С1.** Метеорологи выяснили, что относительная влажность воздуха в один из весенних вечеров была 25% при температуре воздуха  $15^\circ\text{C}$ . Возможны ли предстоящим утром заморозки на почве? Поясните, как вы получили ответ.

(При ответе на данный вопрос воспользуйтесь таблицей для давления насыщенных паров воды.)

t, °C	-20	-10	-5	0	5	10	15	20
P, кПа	0,103	0,260	0,400	0,610	0,880	1,230	1,70	2,330

*Решение.* Для ответа на вопрос надо рассчитать температуру росы. Давление водяного пара было:  $1,7 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 0,25 = 425 \text{ Па}$ . Такой пар становится насыщенным при температуре воздуха около  $-4^\circ\text{C}$ . Это означает, что прежде, чем пар станет насыщенным, заморозки могут начаться. Если бы температура росы была положительной, то началась бы конденсация пара из воздуха и выделяющееся при этом тепло не дало бы воздуху охладиться ниже нуля градусов по шкале Цельсия.

**С2.** Падающее без начальной скорости тело проходит за последние 2 секунды своего падения  $1/5$  своего пути. Найдите полную высоту падения.

*Решение.* Если всё время падения  $t$ , то  $4/5$  пути тело проходит за время  $(t - 2 \text{ с})$ . Обозначим полную высоту через  $h$ :

$$\frac{4}{5}h = \frac{g(t - 2 \text{ с})^2}{2},$$

а вся высота:  $h = \frac{gt^2}{2}$ .

Отсюда:

$$\frac{4}{5} \frac{gt^2}{2} = \frac{g(t - 2 \text{ с})^2}{2}.$$

Это уравнение дает для времени падения выражение:

$$t^2 - 20t + 20 = 0.$$

Окончательно получим:  $h = 1793,6 \text{ м}$ .

*Ответ:* 1794 м.

**С3.** В закрытом сосуде ёмкостью  $2 \text{ м}^3$  находится  $2,7 \text{ кг}$  воды и  $3,2 \text{ кг}$  кислорода. Найдите давление в сосуде при температуре  $527^\circ \text{С}$ , зная, что в этих условиях вся вода превращается в пар.

*Решение.* Парциальное давление водяного пара в сосуде найдем из уравнения состояния:

$$p_1 = \frac{m_{\text{в}}RT}{\mu_{\text{в}}V} = 4,98 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Давление кислорода находим из тех же соображений:

$$p_1 = \frac{m_{\text{к}}RT}{\mu_{\text{к}}V} = 3,32 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

По закону Дальтона давление в сосуде складывается из этих парциальных давлений:

$$p = p_1 + p_2 = 8,3 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

*Ответ:*  $8,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

**С4.** Две лампочки, рассчитанные на напряжение  $220 \text{ В}$  и номинальные мощности  $60 \text{ Вт}$  и  $100 \text{ Вт}$ , включены последовательно в сеть с тем же напряжением. Какую мощность будет потреблять лампочка с большей номинальной мощностью?

*Решение.* Сопротивление каждой из лампочек найдем из соотношения:

$$P = \frac{U^2}{R},$$

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1} = 806,7 \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2} = 484 \text{ Ом}.$$

При последовательном включении по лампочкам течет ток:

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 0,17 \text{ A.}$$

На второй лампочке выделяется мощность:

$$P' = I^2 R_2 = 0,17 \text{ A} \cdot 484 \text{ Ом} = 14 \text{ Вт.}$$

Ответ: 14 Вт.

С5. Цепь составлена из бесконечного числа ячеек, состоящих из трех одинаковых сопротивлений по 10 Ом каждое. Найдите сопротивление этой цепи (см. рис. 38).

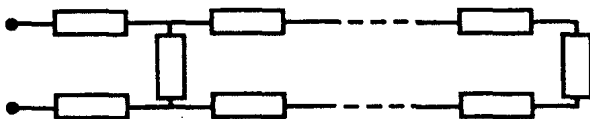


Рис. 38.

Решение. Если отбросить первую ячейку сопротивление цепи не изменится. Поэтому, обозначив сопротивление цепи как  $R$ , можно нарисовать эквивалентную электрическую схему цепи (см.рис. 39).

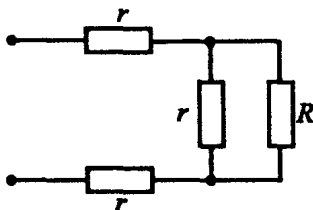


Рис. 39.

Общее сопротивление этой цепи можно подсчитать по формуле:

$$R = 2r + \frac{rR}{r + R}.$$

Это приведет нас к уравнению относительно искомого сопротивления  $R$ :

$$\begin{aligned} R^2 - 2rR - 2r^2 &= 0, \\ R &= r(1 + \sqrt{3}) = 27,3 \text{ Ом.} \end{aligned}$$

Ответ: 27,3 Ом.

С6. В соответствии с теорией Бора произведение импульса электрона на радиус стационарной орбиты (момент импульса) квантуется

$$mvr = \frac{h}{2\pi} n, \quad \text{где } n = 1, 2, 3 \dots$$

Оцените энергию электрона в атоме водорода на первой стационарной орбите.

*Решение.* На первой стационарной орбите момент импульса:

$$mvr = \frac{h}{2\pi}.$$

Электрон удерживается на орбите кулоновской силой:

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}.$$

Из этих двух уравнений можно получить выражения для радиуса орбиты и скорости электрона на ней:

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 ke^2 m}, \quad v = \frac{2\pi ke^2}{h}.$$

Энергия электрона складывается из кинетической энергии и энергии кулоновского взаимодействия, последняя отрицательна, т.к. электрон и протон имеют разные знаки заряда:

$$E = \frac{mv^2}{2} - \frac{ke^2}{r}.$$

Подставив сюда значение скорости и радиуса, получаем:

$$E = -\frac{2\pi^2 k^2 e^4 m}{h^2} = -13,6 \text{ эВ}.$$

*Ответ:*  $-13,6 \text{ эВ}$ .

## Решение варианта №8

### Часть 1

**A7.** Два тела бросили навстречу друг другу: одно с поверхности Земли вертикально вверх со скоростью  $v$ , а другое вниз без начальной скорости с высоты  $h = \frac{v^2}{2g}$ . Модуль их относительной скорости перед падением второго на Землю равен...

- 1) 0                      2)  $\sqrt{2gh}$                       3)  $\sqrt{gh}$                       4)  $2\sqrt{gh}$

*Решение.* Второе тело падает на Землю за время

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{v}{g}.$$

Столько же времени первое тело поднимается на свою максимальную высоту. Поэтому в системе отсчета, связанной с Землей, второе тело к моменту падения первого останавливается. У первого в этот момент скорость

относительно Земли  $\sqrt{2gh}$ . Это и есть их относительная скорость, т.к. второе тело относительно Земли в этот момент времени неподвижно.

**Ответ:** 2.

**A12.** В результате смешивания 5 кг воды, находящейся при температуре  $80^\circ\text{C}$ , и 3 кг воды, имеющей температуру  $40^\circ\text{C}$ , образовалась вода с температурой...

- 1)  $55^\circ\text{C}$                       2)  $60^\circ\text{C}$                       3)  $65^\circ\text{C}$                       4)  $70^\circ\text{C}$

**Решение.** Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_{\text{пол}} = cm_2(\theta - t_2); \quad Q_{\text{отд}} = cm_1(t_1 - \theta).$$

$$cm_2(\theta - t_2) = cm_1(t_1 - \theta).$$

$$\theta = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = 65^\circ\text{C}.$$

**Ответ:** 3.

**A19.** На двух пружинах в магнитном поле с индукцией 1 Тл расположен проводник длиной 1 м с постоянным током, имеющий массу  $m = 1$  кг (см. рис. 40). Какой силы ток и в каком направлении должен течь по проводу, чтобы пружины не были натянуты?



Рис. 40.

- 1) 10 А; 1                      2) 10 А; 2                      3) 1 А; 1                      4) 1 А; 2

**Решение.** Чтобы пружины не были натянуты, сила тяжести, действующая на проводник, должна уравновешиваться силой Ампера:  $mg = IBl$ . Отсюда:

$$I = \frac{mg}{Bl} = 10 \text{ А}.$$

Направление тока можно определить по правилу левой руки. Ее надо расположить так, чтобы вектор  $\vec{B}$  входил в ладонь, а отогнутый большой палец направляется против силы тяжести, вытянутые 4 пальца указывают направление протекания тока. Это направление 2.

**Ответ:** 2.

**A23.** В теории атома водорода Бора радиус  $n$ -ой круговой орбиты выражается через радиус первой орбиты формулой  $r_n = r_1 \cdot n^2$ . Как изменится кинетическая энергия электрона при переходе со второй орбиты на первую?

1) увеличивается в 4 раза

2) уменьшается в 4 раза

3) увеличивается в 2 раза

4) уменьшается в 2 раза

**Решение.** Уравнение динамики электрона на орбите имеет вид:

$$\frac{ke^2}{r_n^2} = \frac{mv_n^2}{r_n}.$$

Отсюда для квадрата скорости электрона получается выражение:

$$v_n^2 = \frac{ke^2}{mr_n},$$

а с учетом выражения радиуса через радиус первой орбиты:

$$v_n^2 = \frac{ke^2}{mr_1 n^2}.$$

Кинетическая энергия электрона на первой орбите:

$$W_1 = \frac{mv_1^2}{2} = \frac{ke^2}{2r_1},$$

а на второй —

$$W_2 = \frac{mv_2^2}{2} = \frac{ke^2}{4 \cdot 2r_1} = \frac{ke^2}{8r_1}.$$

При переходе со второй орбиты на первую кинетическая энергия электрона уменьшается в  $\frac{W_1}{W_2} = 4$  раза.

**Ответ:** 2.

**A25.** В пролетающей мимо Земли ракете земной наблюдатель оценил размер метровой линейки, лежащей вдоль движения ракеты, как  $0,7 \text{ м} \pm 0,2 \text{ м}$ . В каких пределах лежит скорость ракеты относительно Земли?

1) от 0,44с до 0,87с

2) от 0,61с до 0,92с

3) от 0,11с до 0,42с

4) от 0,31с до 0,8с

**Решение.** Оценим границы скорости ракеты, если длина линейки  $l_1 = 0,9 \text{ м}$ .

$$l_1 = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \rightarrow v_1 = c \sqrt{1 - \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2} = 0,44c.$$

Аналогично при  $l_2 = 0,5 \text{ м} \rightarrow v_2 = 0,87c$ .

Таким образом, скорость ракеты лежит в интервале от 0,44с до 0,87с.

**Ответ:** 1.

## Часть 2

**В3.** Тело упало на поверхность Земли с высоты 10 м и подпрыгнуло вверх, потеряв 40% своей скорости. На какую высоту поднимется тело после удара? Ответ дайте в метрах и округлите до десятых.

*Решение.* При первом падении у Земли тело имеет скорость  $v = \sqrt{2gh}$ . После удара о Землю оно летит вверх с начальной скоростью  $v' = 0,6\sqrt{2gh}$ .

Применив закон сохранения энергии, находим высоту  $h'$ , на которую теперь поднимется тело:

$$\frac{mv'^2}{2} = mgh',$$

$$h' = \frac{v'^2}{2g} = \frac{0,36 \cdot 2gh}{2g} = 0,36h = 3,6 \text{ м.}$$

*Ответ:* 3,6.

**В4.** К источнику переменной ЭДС с амплитудой 2 В подсоединены резистор сопротивлением 5 Ом, катушка индуктивности с  $\omega L = 10$  Ом и конденсатор ( $\frac{1}{\omega C} = 4$  Ом). Чему равна мощность, выделяющаяся в цепи?

Ответ выразите в ваттах и округлите до сотых.

*Решение.* Мощность, выделяющаяся в цепи переменного тока равна

$$P = I_3 U_3 \cos \varphi.$$

$I_3$  и  $U_3$  — эффективные значения тока и напряжения. Они в  $\sqrt{2}$  раз меньше соответствующих амплитуд,  $\varphi$  — угол фазового сдвига между током и напряжением.

$$I_3 = \frac{U_3}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}},$$

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

$$P = \frac{U_0^2 R}{2\left(R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right)} = 1,28 \text{ Вт.}$$

*Ответ:* 1,28.

**В5.**  $\alpha$ -частица движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 0,83 см. Индукция поля 0,025 Тл. Найдите длину волны де Бройля для этой частицы. Ответ дайте в пм и округлите до десятых.

**Решение.** Длина волны де Бройля связана с импульсом частицы соотношением  $\lambda = \frac{h}{p}$ . Здесь  $h$  — постоянная Планка. Для частицы, движущейся по окружности:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}.$$

Отсюда  $p = mv = qRB$ , а длина волны:

$$\lambda = \frac{h}{qRB} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл} \cdot 0,025 \text{ м}} = 9,9 \cdot 10^{-12} \text{ м}.$$

**Ответ:**  $9,9 \cdot 10^{-12}$ .

### Часть 3

**С1.** Изменится ли температура в комнате, если длительное время держать в ней холодильник с открытой дверцей? Поясните, как вы получили ответ.

**Решение.** Температура в комнате повышается. В холодильнике тепло отбирается у холодной камеры и передается нагревателю, расположенному на задней стенке холодильника. Самопроизвольно в таком направлении тепло не может передаваться. Для его передачи необходимо совершить работу. Эту работу совершает компрессор холодильника, испускающий энергию из электрической цепи. Вот эта энергия и выделяется в комнате, нагревая ее.

**С2.** По рельсам фуникулёра, проложенным с уклоном  $30^\circ$  к горизонту, спускается вагон массой 2 т. Скорость вагона на всём пути равна 10 м/с, время торможения перед остановкой 5 с. Найдите силу натяжения каната при торможении. Коэффициент трения между вагоном и рельсами 0,1.

**Решение.** Ситуация изображена на рис. 41.

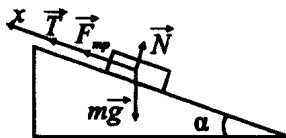


Рис. 41.

Запишем уравнение динамики в процессе торможения в проекциях на оси  $x$  и  $y$ :

$$\begin{aligned} x | \quad & T + F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma, \\ y | \quad & N - mg \cos \alpha = 0. \end{aligned}$$



Из последнего уравнения:  $N = mg \cos \alpha$  и сила трения  $F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha$ .

После подстановки в первое уравнение силы трения и ускорения  $a = \frac{v_0}{\tau}$  получаем для силы натяжения каната:

$$T = m \frac{v_0}{\tau} + mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = 13130 \text{ Н.}$$

*Ответ:* 13130 Н.

**С3.** Определите температуру газа, находящегося в закрытом баллоне, если его давление увеличилось на 0,4% от первоначального при нагревании на 1 К.

*Решение.* Запишем уравнение состояния до нагревания:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$

и после нагревания:

$$1,004pV = \frac{m}{\mu} R(T + 1 \text{ К}).$$

Поделив уравнения почленно, получаем для температуры:

$$T = \frac{1 \text{ К}}{0,004} = 250 \text{ К.}$$

*Ответ:* 250 К.

**С4.** При поочередном замыкании аккумулятора на резисторы 10 Ом и 6 Ом в последних выделялась одинаковая мощность. Найдите внутреннее сопротивление аккумуляторов.

*Решение.* Полезная мощность может быть определена из соотношения:

$$P = I^2 R = \frac{\mathcal{E} R}{(R + r)^2}.$$

Т.к. мощности при нагрузочных резисторах  $R_1$  и  $R_2$  одинаковы:

$$\frac{\mathcal{E}^2 R_1}{(R_1 + r)^2} = \frac{\mathcal{E}^2 R_2}{(R_2 + r)^2}.$$

Отсюда:  $r = \sqrt{R_1 R_2} = 7,7 \text{ Ом.}$

*Ответ:* 7,7 Ом.

**С5.** Предмет в виде отрезка длиной 6 см расположен вдоль главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см. Середина отрезка расположена на расстоянии 15 см от линзы. Определите продольное увеличение предмета.

*Решение.* Края отрезка расположены соответственно на расстояниях 12 см и 18 см от линзы, т.е. дальше фокусного расстояния. Это означает,

что изображение всего отрезка и его краев действительно. Изображение точки, отстоящей от линзы на  $d$ , получается по другую сторону от линзы на расстоянии  $f$  от нее.

По формуле линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

$$f = \frac{d \cdot F}{d - F}.$$

Для одного края ( $d_1 = 12$  см)  $f_1 = 60$  см;

для другого ( $d_2 = 18$  см)  $f_2 = 22,5$  см.

Длина изображения  $f_1 - f_2 = 37,5$  см,

$$\Gamma = \frac{37,5 \text{ см}}{6 \text{ см}} = 6,25.$$

Ответ: 6,25.

**С6.** В боровской теории атома водорода частота излучения при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую описывается соотношением

$$\nu = \frac{k^2 m e^4 2 \pi^2}{h^3} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n'^2} \right).$$

Здесь  $k$  — коэффициент пропорциональности в законе Кулона,  $m$  — масса электрона,  $e$  — его заряд,  $h$  — постоянная Планка,  $n$  и  $n'$  — номера стационарных орбит. Какова минимальная длина волны наблюдается при излучении серии Бальмера?

*Решение.* Минимальная длина волны соответствует максимальной частоте измерения. В серии Бальмера излучение происходит за счет перехода электрона с внешних орбит на вторую орбиту. Максимальна частота, когда

$n' \rightarrow \infty$ ,  $\frac{1}{n'} \rightarrow 0$ , следовательно:

$$\lambda_{\min} = \frac{4ch^3}{k^2 m e^4 2 \pi^2} = 365 \text{ нм}.$$

Ответ: 365 нм.

## Решение варианта №9

### Часть 1

**A7.** Какой минимальной мощностью должен обладать двигатель трамвая массой  $m$ , чтобы трамвай мог подняться вверх по наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha$  с горизонтом, при наличии трения с коэффициентом  $\mu$ , со скоростью  $v$ ?

1)  $mg(\mu \sin \alpha + \cos \alpha)v$

2)  $mg(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)v$

3)  $mg\mu(\sin \alpha + \cos \alpha)v$

4)  $mg\mu(\operatorname{tg} \alpha + \cos \alpha)v$

**Решение.** Мощность можно подсчитать при равномерном движении трамвая как произведение силы тяги двигателя на скорость  $N = F \cdot v$ . Рассмотрим силы, действующие на трамвай (см. рис. 42).

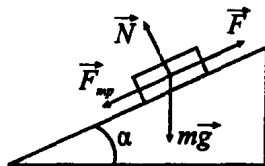


Рис. 42.

$$F = F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha,$$

$$N = mg \cos \alpha.$$

$$F_{\text{тр}} = \mu mg \cos \alpha.$$

$$F = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

$$N = v mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha).$$

**Ответ:** 2.

**А12.** Если сообщить одинаковое количество теплоты двум одинаковым шарам, один из которых подвешен в верхней точке, а другой закреплен в нижней (см. рис. 43), то...

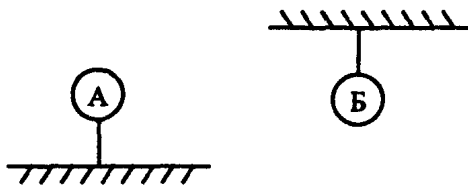


Рис. 43.

1) сильнее нагреется шар А

2) сильнее нагреется шар Б

3) шары нагреются одинаково

4) результат зависит от материала, из которого сделаны шары

**Решение.** Шар А закреплен в нижней точке. При его нагреве и расширении центр масс поднимается. Часть сообщенного тепла идет на работу по подъему центра масс. Шар Б закреплен в верхней точке. При его нагреве и расширении центр масс опускается. На изменение внутренней энергии

шара идет не только переданная шару теплота, но и механическая работа. Таким образом, при сообщении шарам одинакового количества теплоты сильнее нагревается шар Б.

Ответ: 2.

**A19.** В плоский вакуумный конденсатор со скоростью  $v$ , направленной параллельно пластинке, влетает электрон. Конденсатор заряжен, напряженность поля в нем  $E$ . Какой величины необходимо магнитное поле, перпендикулярное электрическому полю и скорости, чтобы электрон не смещался к обкладкам?

- 1)  $\frac{e}{vE}$                       2)  $\frac{E}{ev}$                       3)  $\frac{v}{eE}$                       4)  $\frac{E}{v}$

**Решение.** Чтобы электрон не смещался к обкладкам, электрическая и магнитная силы должны уравновешивать друг друга  $eE = evB$ . Отсюда:

$$B = \frac{E}{v}.$$

Ответ: 4.

**A23.** В теории Бора полная энергия электрона на  $n$ -ой орбите определяется соотношением  $E = -\frac{13,6}{n^2}$  эВ. Какую наименьшую энергию нужно сообщить невозбужденному атому водорода, чтобы спектр излучения содержал лишь одну спектральную линию?

- 1) 13,6 эВ                      2) 12,5 эВ                      3) 10,2 эВ                      4) 7,2 эВ

**Решение.** Чтобы спектр излучения содержал только одну спектральную линию, у электрона должна быть единственная возможность перехода с более высокого уровня на более низкий (со второго на первый). На первом уровне энергия электрона  $-13,6$  эВ. На втором уровне энергия электрона  $-3,4$  эВ. При переходе выделяется энергия

$$\Delta E = -3,4 \text{ эВ} - (-13,6 \text{ эВ}) = 10,2 \text{ эВ}.$$

Ответ: 3.

**A25.** Если ускорение электрона в магнитном поле увеличилось на 25%, то это может означать следующее:

- А. масса электрона уменьшилась на 25 %  
Б. заряд электрона увеличился на 25 %  
В. индукция магнитного поля увеличилась на 25 %  
Г. скорость электрона увеличилась на 25 %

- 1) только А или Б  
2) только В или Г

- 3) только А, или В, или Г  
 4) возможен любой из названных вариантов

**Решение.** Ни заряд, ни масса электрона измениться не могут. Если электрон дополнительно разогнать, его скорость может увеличиться на 25%. Если электрон при этом движется по окружности, его ускорение (центростремительное) тоже возрастает на 25%. Таким образом, возможны два ответа: В или Г.

**Ответ:** 2.

## Часть 2

**В3.** Какую мощность надо развить, чтобы поднять тело массой 5 кг на высоту 10 м за 0,7 с? Ответ выразите в ваттах и округлите до целых. Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение.** Работа, которую надо совершить, идет на увеличение потенциальной и кинетической энергии тела.

$$A = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

Считаем подъем равномерным:

$$v = \frac{h}{\tau}; \quad A = \frac{mh^2}{2\tau^2} + mgh.$$

Соответственно мощность:

$$P = \frac{A}{\tau} = \frac{mh^2}{2\tau^3} + \frac{mgh}{\tau} = 1443 \text{ Вт.}$$

**Ответ:** 1443.

**В4.** Чему будет равен шаг винтовой линии, по которой движется электрон, если он влетел в магнитное поле со скоростью  $10^5$  м/с, индукция поля составляет 0,1 Тл, а угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$  равен  $30^\circ$ ? Ответ выразите в мм и округлите до сотых.

**Решение.** Электрон участвует в двух движениях: равномерном движении по окружности радиусом  $R$  и равномерном движении вдоль магнитного поля. В последнем направлении он проходит путь  $\lambda$  за время, в течение которого он описывает окружность. Это и есть шаг винтовой линии — траектории, по которой в итоге движется электрон. По окружности электрон движется со скоростью  $v \sin \alpha$ . На него действует сила Лоренца, которая удерживает электрон на окружности. Уравнение динамики для этого движения имеет вид:

$$qvB \sin \alpha = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{R}.$$

Отсюда радиус окружности  $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$  и время движения по окружности  $\tau = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{qB}$ .

Вдоль магнитного поля электрон движется со скоростью  $v \cos \alpha$  и

$$\lambda = v \cos \alpha \cdot \tau = \frac{v \cos \alpha \cdot 2\pi m}{qB} = 0,03 \text{ мм.}$$

*Ответ:* 0,03.

**В5.** Какую энергию должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе электрона? Ответ дайте в МэВ и округлите до сотых.

*Решение.* Энергия фотона связана с его массой формулой Эйнштейна:

$$E = mc^2 = 8,19 \cdot 10^{-14} \text{ Дж} = 0,51 \text{ МэВ.}$$

*Ответ:* 0,51.

### Часть 3

**С1.** На гладкой горизонтальной плоскости находится тело массой  $m$ . К телу привязана невесомая нить, перекинута через неподвижный блок, прикрепленный к плоскости. Один раз за эту нить тянут с силой  $F$ , направленной вниз, второй раз к нити привязывают тело, вес которого  $F$ . В каком случае тело массой  $m$  движется с большим ускорением? Поясните, как вы получили ответ.

*Решение.* В первом случае сила  $F$  вызывает ускорение одного тела, а во втором — уже двух (второе тело — это тело, имеющее вес  $F$ ). Сила одинакова, но масса во втором случае больше, поэтому в первом случае тело движется с большим ускорением.

**С2.** С наклонной плоскости длиной 4 м и углом наклона  $30^\circ$  соскальзывает тело массой 2 кг, после чего проходит некоторое расстояние по горизонтали. Коэффициент трения на всем пути 0,05. Найдите расстояние, пройденное телом по горизонтали.

*Решение.* Задачу удобно решать из энергетических соображений. На вершине наклонной плоскости тело обладает потенциальной энергией  $mgh$ , где  $h$  — высота плоскости. К моменту остановки механическая энергия тела становится равной нулю. По закону изменения механической энергии конечная энергия минус начальная равна работе силы трения. Сила трения

на наклонной плоскости  $\mu mg \cos \alpha$ , а на горизонтальной —  $\mu mg$ . Поэтому можем записать:

$$-mgh = -\mu mg \cos \alpha \cdot l - \mu mg S,$$

где  $S$  есть расстояние, пройденное по горизонтали.

$$S = \frac{h - \mu l \cos \alpha}{\mu}.$$

Учитывая, что высота плоскости выражается через ее длину  $h = l \sin \alpha$ :

$$S = \frac{l(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{\mu} = 36,5 \text{ м.}$$

*Ответ:* 36,5 м.

**С3.** В баллон емкостью 12 л поместили 1,5 кг азота при температуре 327°C. Какое давление будет создавать азот в баллоне при температуре 50°C, если 35% азота будет выпущено?

*Решение.* В баллоне остается масса  $m = 0,975$  кг. Для этого газа запишем уравнение состояния:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad \mu = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \quad T = 323 \text{ К.}$$

$$\text{Отсюда } p = \frac{mRT}{\mu V} = 7,8 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

*Ответ:*  $7,8 \cdot 10^6$  Па.

**С4.** Нагреватель электрического чайника состоит из двух нагревательных элементов. При включении одного из них вода закипит через 10 минут, другого — через 15 мин. Через сколько времени закипит вода при включении элементов параллельно друг другу? Считать, что потерь энергии в окружающее пространство нет. Масса воды и ее температура в начале нагрева во всех случаях одинаковы.

*Решение.* Затрачиваемое тепло во всех трех случаях одинаково.

$$Q = \frac{U^2}{R_1} \tau_1; \quad Q = \frac{U^2}{R_2} \tau_2.$$

Из этих уравнений:

$$R_1 = \frac{U^2 \tau_1}{Q}; \quad R_2 = \frac{U^2 \tau_2}{Q}.$$

При параллельном включении нагревательных элементов:

$$Q = \frac{U^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} \tau.$$

Подставив в это выражение найденные  $R_1$  и  $R_2$ , получаем для времени закипания:

$$\tau = \frac{\tau_1 \tau_2}{\tau_1 + \tau_2} = 6 \text{ мин.}$$

Ответ: 6 мин.

С5. Неоновая лампочка включена на 10 мин в сеть переменного синусоидального напряжения с эффективным значением напряжения 120 В и частотой 50 Гц. Найдите время горения лампочки, если она зажигается и гаснет при напряжении 120 В.

Решение. Амплитудное значение поданного напряжения  $U_0 = U_3 \cdot \sqrt{2}$ . Моменты зажигания и погасания неоновой лампы  $t$  находятся из соотношения:

$$U_3 = U_0 \sin \frac{2\pi}{T} t, \quad \sin \frac{2\pi}{T} t = \frac{1}{\sqrt{2}}.$$

В первую половину периода лампа зажжется в момент времени, который определяется из соотношения:

$$\frac{2\pi}{T} t_1 = \frac{\pi}{4} \rightarrow t_1 = \frac{T}{8}.$$

Погаснет она в момент времени  $t_2$ :

$$\frac{2\pi}{T} t_2 = \frac{3\pi}{4} \rightarrow t_2 = \frac{3T}{8}.$$

Время горения лампы в первую половину периода (его длительность  $\frac{T}{2}$ ):

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{T}{4}.$$

Таким образом, половину времени лампа находится в горящем состоянии, а половину времени — в потухшем. Это будет повторяться и в дальнейшем. Поэтому время горения лампы  $\tau$  составляет половину от времени включения:

$$\tau = 5 \text{ мин} = 300 \text{ с.}$$

Ответ: 300 с.

С6. Предполагая, что нуклоны плотно упакованы в ядре с массовым числом  $A$ , можно оценить радиус ядра  $R$ :

$$R = r_0 A^{1/3}, \text{ где } r_0 = 1,2 \text{ фм} \quad (1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м}).$$

Оцените радиус атома серебра  $^{108}_{47}\text{Ag}$ .

Решение. Из приведенной в условии формулы для  $A = 108$  следует:

$$R = 1,2 \text{ фм} \cdot 4,76 = 5,71 \text{ фм.}$$

Ответ: 5,71 фм.



## Решение варианта №10

## Часть 1

А7. В эксперименте исследовалась зависимость разности потенциалов  $\Delta\varphi$  на полюсах источника тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$  от силы тока в цепи  $I$ , собранной по рис. 44А. Какой из графиков рисунка 44Б вероятнее всего будет получен в эксперименте?

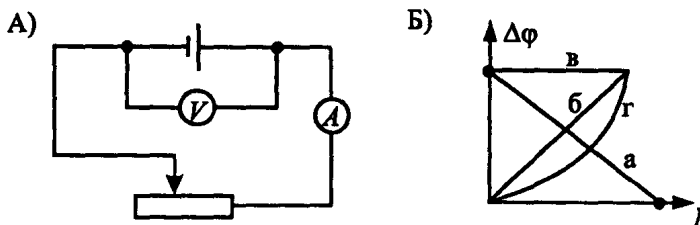


Рис. 44.

- 1) а                      2) б                      3) в                      4) г

*Решение.* Можем написать для ЭДС источника:

$$\mathcal{E} = U + Ir.$$

Отсюда:

$$U = \mathcal{E} - Ir.$$

С ростом силы тока  $I$  в цепи разность потенциалов ( $\Delta\varphi = U$ ) линейно уменьшается.

*Ответ:* 1.

А12. Для изобарного нагрева 2 моль одноатомного идеального газа на  $100^\circ\text{C}$  потребуется...

- 1) 1662 Дж              2) 2324 Дж              3) 4155 Дж              4) 2155 Дж

*Решение.* При изобарном нагреве сообщенное газу тепло тратится на увеличение его внутренней энергии и на совершение работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A.$$

Для одноатомного газа:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T, \quad A = p\Delta V.$$

Выражение для работы газа можно преобразовать. До нагрева уравнение состояния имеет вид:  $pV = \nu RT$ , а после нагрева:  $p(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T)$ .

Если из второго уравнения вычесть почленно первое, то  $p\Delta V = \nu R\Delta T$  и выражение для работы газа приобретает вид:

$$A = \nu R\Delta T,$$

а для количества теплоты:

$$Q = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = 4155 \text{ Дж.}$$

Ответ: 3.

**A19.** По цепи протекает постоянный ток силой 2 А. Параллельно резистору сопротивлением 10 Ом подсоединен конденсатор емкостью 0,5 мкФ (см. рис. 45). Энергия заряженного конденсатора...

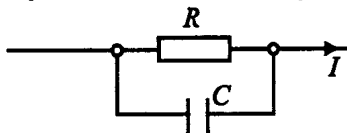


Рис. 45.

- 1)  $10^{-4}$  Дж      2)  $10^{-3}$  Дж      3)  $10^{-2}$  Дж      4)  $10^{-1}$  Дж

**Решение.** Конденсатор и резистор включены параллельно, поэтому напряжения на них одинаковы  $U = IR$ . Энергия конденсатора может быть подсчитана по формуле:

$$W = \frac{cU^2}{2} = \frac{C \cdot I^2 R^2}{2} = 10^{-4} \text{ Дж.}$$

Ответ: 1.

**A23.** По истечении трех периодов полураспада радиоактивного изотопа  ${}^2_1\text{H}$  распадется ядер...

- 1) 33%      2) 66%      3) 87,5%      4) 95%

**Решение.** По истечении первого периода полураспада распадается 50% первоначального количества ядер. По истечении второго периода — 50% оставшихся ядер, т.е. 75% от их первоначального количества. По истечении третьего периода полураспада распадутся 50% оставшихся ядер, (а их осталось 25% от первоначального количества), т.е. распавшимися оказываются 87,5% от первоначального числа ядер.

Ответ: 3.

**A25.** При удалении протона из центра сферы радиусом 15 см, заряд которой 0,1 нКл, на расстояние 30 см от ее поверхности электрическое поле совершает работу...

- 1) 1 эВ      2) 2 эВ      3) 3 эВ      4) 4 эВ

**Решение.** Находясь в центре незаряженной сферы, заряд  $0,1 \text{ нКл}$  имеет энергию, равную нулю, т.к. вместе с ним сфера нейтральна. Когда этот заряд удален из сферы, сфера получает такой же по модулю заряд, но противоположного знака. Энергия вырванного из сферы заряда равна  $q\phi$ , где  $q$  — сам этот заряд, а  $\phi$  — потенциал, созданный заряженной сферой в месте нахождения заряда  $q$ .

$$\phi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{(R+r)} = 2 \text{ В.}$$

Энергия заряда  $W = \phi q = 2 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$ . Эта энергия и равна работе, совершенной электрическим полем.

**Ответ:** 2.

## Часть 2

**В3.** Какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за 20 с, если сила тока в проводнике за это время меняется, как показано на графике (см. рис. 46)?

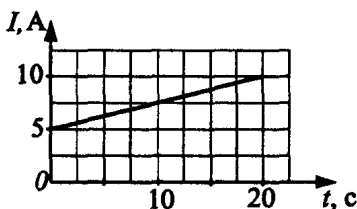


Рис. 46.

**Решение.** Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за некоторое время, равен площади под кривой на графике зависимости тока от времени. Геометрически это трапеция. Её высота 20, а полусумма оснований 7,5. Прошедший заряд 150 Кл.

**Ответ:** 150.

**В4.** Два одинаковых металлических шарика, заряженные разноименными зарядами  $+2q$  и  $-6q$ , находятся на расстоянии 2 м друг от друга. Шарiki приводят в соприкосновение. На какое расстояние надо их развести, чтобы сила взаимодействия осталась по модулю прежней? Ответ дать в метрах с точностью до десятых.

**Решение.** Первоначально сила взаимодействия является силой притяжения. Её модуль равен

$$F_1 = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

После соприкосновения шариков на них оказались заряды  $q' = -2q$ . Сила притяжения стала силой отталкивания, а её модуль стал равен

$$F_2 = k \frac{q'^2}{r'^2}.$$

По условию задачи, модуль силы взаимодействия измениться не должен, поэтому шарики надо расположить на расстоянии

$$r' = 1,155 \text{ м.}$$

В бланк ответа надо занести 1,2.

*Ответ:* 1,2.

**В5.** На экране, находящемся от линзы на расстоянии 20 см, получено четкое изображение осветительного столба за окном. Определите фокусное расстояние линзы.

*Решение.* Поскольку столб находится от линзы далеко ( $d$  — большое по сравнению с фокусным расстоянием линзы), можно считать, что изображение удалено от линзы на расстояние, равное ее фокусному расстоянию  $F = 20$  см. В бланк ответа следует занести 20.

*Ответ:* 20.

### Часть 3

**С1.** Докажите, что крупные капли дождя падают быстрее, чем мелкие. Капли имеют форму шара, силу сопротивления воздуха считать пропорциональной площади поперечного сечения капли.

*Решение.* На падающую каплю действует сила тяжести

$$mg = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g,$$

где  $\rho$  — плотность воды, а  $r$  — радиус капли. Действует также сила сопротивления движению  $F_c$ . Она по условию задачи тем больше, чем больше  $r$ .

$$F_c = k \pi r^2.$$

Ускорение капли

$$a = \frac{mg - F_c}{m} = g - \frac{3k}{4\rho r}.$$

Чем больше радиус капли, тем больше на ускоренном участке её движения ускорение капли, тем большую скорость капля приобретает к тому моменту, когда её скорость становится постоянной.

**С2.** Небольшой кубик, двигаясь со скоростью 5 м/с по гладкой горизонтальной поверхности, попадает на шероховатый участок длиной 5 м, коэффициент трения скольжения которого 0,09. Преодолев этот участок и снова двигаясь по гладкой поверхности, кубик абсолютно неупруго ударяется в шар, масса которого в три раза больше массы кубика. Определите скорость движения кубика вместе с шаром.

*Решение.* На шероховатом участке кубик движется равнозамедленно. Модуль его ускорения равен  $\mu g$ , где  $\mu$  — коэффициент трения. С точки зрения закона изменения механической энергии можно записать:

$$\frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = \mu mgL.$$

Здесь  $V_0$  — начальная скорость кубика, а  $V$  — конечная. Для этой конечной скорости кубика:

$$V = \sqrt{V_0^2 - 2\mu gL}.$$

Теперь применим к соударению кубика с шаром ( $M$  — масса шара) закон сохранения импульса и учтем, что удар абсолютно неупруг:

$$mV = (M + m)V'.$$

Новая скорость тел:

$$V' = \frac{m\sqrt{V_0^2 - 2\mu gL}}{M + m} = \frac{\sqrt{V_0^2 - 2\mu gL}}{3 + 1} = 1 \text{ м/с}.$$

*Ответ:* 1 м/с.

**С3.** Высота водопада 37 м, скорость воды в верхней части 10 м/с. Определите максимально возможную разность температур воды в верхней и нижней частях водопада.

*Решение.* В верхней части водопада некий объём воды, имеющий массу  $m$ , обладает потенциальной и кинетической энергией. Если после падения вода останавливается, вся её механическая энергия переходит в тепло:

$$mgh + \frac{mV^2}{2} = cm\Delta t,$$

здесь  $c$  — удельная теплоёмкость воды.

$$\text{Отсюда } \Delta t = \frac{gh + \frac{v^2}{2}}{c} = 0,1^\circ\text{C}.$$

*Ответ:* 0,1°C.

**С4.** Катушка с поперечным сечением 20 см<sup>2</sup> находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого параллельны оси катушки. Катушка содержит 1000 витков, замкнутых на конденсатор ёмкостью 0,5 мкф.

Индукция магнитного поля изменяется со временем, как показано на графике (см. рис. 47). Определите заряд на конденсаторе в момент времени  $t = 7$  с.

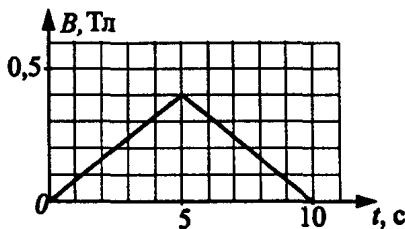


Рис. 47.

**Решение.** Заряд на конденсаторе определим по формуле:

$$q = CU.$$

Напряжение на конденсаторе найдем из закона Фарадея:

$$U = \frac{\Delta\Phi \cdot N}{\Delta t} = \frac{S \cdot \Delta B \cdot N}{\Delta t}.$$

Подставим значение и получим:

$$q = \frac{0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 0,25 \cdot 10^3}{7} = 0,36 \cdot 10^{-7} \text{ Кл.}$$

**Ответ:**  $0,36 \cdot 10^{-7}$  Кл.

**С5.** В соседних вершинах С и D квадрата со стороной 9 см находятся одинаковые по величине разноименные точечные заряды величиной  $-50$  мкКл и  $+50$  мкКл соответственно (см. рис. 48). Положительный точечный заряд величиной  $100$  нКл перемещается из вершины А в центр квадрата, а затем в вершину В. Найдите работу сил электрического поля.

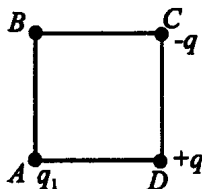


Рис. 48.

**Решение.** Поскольку электрическое поле потенциально, промежуточный перенос заряда несуществен. Надо сразу рассматривать начальную и конечную точки расположения переносимого заряда. Работа переноса заряда равна произведению величины переносимого заряда на разность по-

тенциалов в точках  $A$  и  $B$ . Эту разность потенциалов создают заряды, находящиеся в точках  $C$  и  $D$ .

$$\phi_A = k\frac{q}{a} - k\frac{q}{a\sqrt{2}} = \frac{kq}{a} \left( \frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}} \right).$$

$$\phi_B = k\frac{q}{a\sqrt{2}} - k\frac{q}{a} = \frac{kq}{a} \left( \frac{1-\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right).$$

$$\phi_A - \phi_B = U = \frac{kq}{a} \sqrt{2}(\sqrt{2}-1).$$

Работа переноса заряда  $A = U \cdot q' = \frac{kqq'}{a} \sqrt{2}(\sqrt{2}-1) = 0,292 \text{ Дж}$ .

**Ответ:** 0,292 Дж.

**С6.** Монохроматическое излучение длиной волны 660 нм генерируется лазером мощностью 3 мВт. Сколько фотонов излучается за 1 с?

**Решение.** Мощность лазера можно записать как энергию одного фотона, умноженную на число фотонов  $N$ , испускаемое лазером в секунду:

$$P = \frac{hc}{\lambda} N.$$

Отсюда

$$N = \frac{P\lambda}{hc} = 9,9 \cdot 10^{12} \text{ штук}.$$

**Ответ:**  $9,9 \cdot 10^{12}$ .

## Решение варианта №11

### Часть 1

**A7.** На рисунке 49 приведена зависимость числа нераспавшихся ядер в процессе радиоактивного распада для трех изотопов. Для какого из них период полураспада максимален?

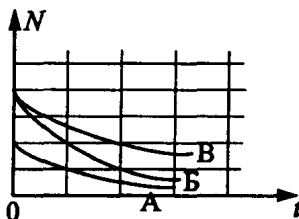


Рис. 49.

1) В

2) Б

3) А

4) у всех одинаков

**Решение.** Период полураспада влияет на крутизну графика. Чем менее круто идет график, тем больше период полураспада.

**Ответ:** 3.

**A12.** При переходе двух молей аргона из состояния А в состояние В масса газа уменьшилась на 20% при постоянном объеме и давлении. При этом температура газа...

- 1) уменьшилась
- 2) увеличилась
- 3) увеличилась в 5 раз
- 4) уменьшилась в 4 раза

**Решение.** Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для состояния А и состояния В:

$$\begin{cases} pV = \frac{m_A}{M} RT_A & (1) \\ pV = \frac{m_B}{M} RT_B. & (2) \end{cases}$$

Разделим второе уравнение на первое:

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{m_A}{m_B}.$$

По условию задачи:

$$\frac{m_A}{m_B} = 1,2.$$

Следовательно, температура газа увеличилась.

**Ответ:** 2.

**A19.** Плоский конденсатор, заполненный диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ , зарядили до энергии 10 Дж и отключили от источника напряжения. Если из такого заряженного конденсатора вынуть диэлектрик, то его энергия станет равной...

- 1) 25 Дж
- 2) 40 Дж
- 3) 10 Дж
- 4) 30 Дж

**Решение.** Энергия заряженного конденсатора в первом случае равна:

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_1}, \text{ где } C_1 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}.$$

Энергия этого же конденсатора во втором случае равна:

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2}, \text{ где } C_2 = \frac{\epsilon_0 S}{d}.$$

Видно, что  $W_2 = 4W_1 = 40$  Дж.

**Ответ:** 2.



**A23.** Электрон движется со скоростью  $2,75 \cdot 10^5$  м/с. Длина соответствующей волны де Бройля равна...

- 1) 42 нм                      2) 36 нм                      3) 31 нм                      4) 26 нм

*Решение.* Импульс электрона связан с его длиной волны формулой

$$p = \frac{h}{\lambda}, \text{ следовательно: } \lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mV} = 26 \text{ нм.}$$

*Ответ:* 4.

**A25.** Зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектронов при внешнем фотоэффекте от длины волны падающего на фотоэлемент света приведена в таблице.

$\lambda$ , нм	323	425	520	618
$E_{\text{кин. макс.}}$ , эВ	2,8	2,9	2,4	0

Величина работы выхода металла равна...

- 1) 4 эВ                      2) 3 эВ                      3) 2 эВ                      4) 1 эВ

*Решение.* Работу выхода можно определить из формулы Эйнштейна для фотоэффекта:

$$A = h\nu - E_k.$$

Рассчитаем энергию падающих фотонов по формуле

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Для трех значений указанных в таблице длин волн получим значения 3,8 эВ; 2,9 эВ и 2,4 эВ. Это дает значение работы выхода 1 эВ.

*Ответ:* 4.

## Часть 2

**B3.** Груз, прикрепленный к нити длиной 0,5 м, вращается в вертикальной плоскости. Определите скорость груза в нижней точке, если верхнюю точку траектории он проходит в состоянии невесомости.

*Решение.* Поскольку в верхней точке груз находится в состоянии невесомости, тогда на него действует только сила тяжести. Запишем уравнение движения груза по окружности в этой точке:

$$\frac{mV^2}{R} = mg.$$

Отсюда можно найти скорость груза:  $V \approx 2,2$  м/с. Считая что движение по окружности происходит с постоянной по модулю скоростью, это и будет ответом.

*Ответ:* 2,2.

**В4.** От поверхности металлической сферы радиусом 0,1 м, имеющей заряд 1 нКл, начинает удаляться протон. Найдите скорость протона на расстоянии 10 см от поверхности сферы. Ответ выразите в км/с, округлив до целых.

*Решение.* Изменение кинетической энергии протона при его движении в электрическом поле заряженной сферы равно изменению его потенциальной энергии. Это позволяет записать:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{kqQ}{R} - \frac{kqQ}{2R}.$$

Здесь  $q$  — заряд сферы,  $Q$  — заряд протона.

Отсюда находим скорость протона:  $V = 95$  км/с.

*Ответ:* 95.

**В5.** Резистор, сопротивление которого  $R = 0,2$  Ом, подключён к двум параллельным проводникам (см. рис. 50), по которым со скоростью  $V = 2$  м/с скользит металлический стержень длиной  $L = 0,5$  м. Величина вектора индукции магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости, в которой расположена схема, равна 0,1 Тл. Найдите заряд на конденсаторе  $C$ , емкость которого 5 мкф.

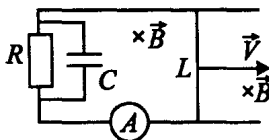


Рис. 50.

*Решение.* На концах проводника, движущегося в магнитном поле, возникает ЭДС индукции:  $\mathcal{E} = BVl$ . Емкость конденсатора по определению равна:  $C = \frac{q}{U}$ . Тогда заряд конденсатора определим по формуле

$$q = CBVl = 500 \text{ нКл}.$$

*Ответ:* 500.

### Часть 3

**С1.** Небольшой кубик находится на наклонной плоскости. Измеряя угол наклона плоскости к горизонту, определяют соответствующее ускорение кубика. Часть полученных результатов приведена в таблице. Используя приведенные данные, оцените приближенное значение коэффициента

трения скольжения для поверхностей кубика и наклонной плоскости. Ответ округлите до десятых.

$\alpha$ (градусы)	25	27	30	32	35	37	40
$a$ , (м/с <sup>2</sup> )	0	0	0	0,04	0,65	1,07	1,68

**Решение.** Найдем ускорение тела, движущегося по наклонной плоскости вниз:

$$g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = a.$$

Отсюда найдем коэффициент трения:

$$\mu = \frac{g \sin \alpha - a}{g \cos \alpha}.$$

Подставив в эту формулу экспериментальные значения угла и ускорения получим среднее значение  $\mu \approx 0,6$ .

**Ответ:** 0,6.

**С2.** Период вертикальных колебаний шарика на невесомой пружине равен  $T_1$ . При укорочении пружины на 25% период колебаний равен  $T_2$ .

Определите отношение  $\frac{T_2}{T_1}$ .

**Решение.** Период колебаний груза на пружине можно рассчитать по формуле  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ . Тогда можем записать:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_1}},$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_2}}.$$

Отношение периодов дает:

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} = \sqrt{\frac{0,75l_1}{l_1}} = 0,86.$$

**Ответ:** 0,86.

**С3.** Объем двух молей гелия с начальной температурой  $T_0$  изобарно увеличивается в 2 раза. Определите минимальное количество тепла, необходимое для этого процесса.

**Решение.** Используем первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A.$$

Поскольку это одноатомный газ, то можем записать:

$$Q = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_0) + p(V_1 - V_0) = \frac{5}{2}\nu R(T_1 - T_0).$$

Из условия изобарности процесса можно получить:

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{T_0}{T_1}.$$

Окончательно:  $Q = 41,6T_0$ .

Ответ:  $41,6T_0$ .

**С4.** Три одноименных заряда величиной  $q$  расположены на прямой на равных расстояниях друг от друга (см. рис. 51), два из них — в вершинах равностороннего треугольника, сторона которого  $a$ . Определите минимальную работу по перемещению заряда, расположенного в середине основания треугольника, в его вершину А. Считать  $a$  равным 10 см, заряды равны по 1 нКл.

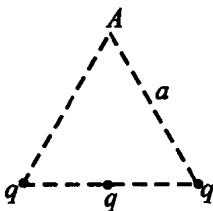


Рис. 51.

**Решение.** Потенциальная энергия системы зарядов в первом случае равна:

$$W_1 = \frac{1}{2} \left[ 2kq^2 \left( \frac{2}{a} + \frac{1}{a} \right) + \frac{2kq^2}{a} \right] = \frac{4kq^2}{a}.$$

Потенциальная энергия системы зарядов во втором случае равна:

$$W_2 = \frac{3kq^2}{a}.$$

Работа равна разности потенциальных энергий:

$$A = \frac{kq^2}{a} = 9 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}.$$

Ответ:  $9 \cdot 10^{-8}$  Дж.

**С5.** Двигатель электровоза, движущегося со скоростью 54 км/ч, развивает силу тяги 4 кН при подводимом напряжении 400 В и коэффициенте полезного действия 75%. Определите силу потребляемого тока.

**Решение.** Коэффициент полезного действия определяется как отношение мощности полезной к мощности затраченной:

$$\eta = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{з}}} = \frac{FV}{IU}.$$

Отсюда находим:

$$I = \frac{FV}{\eta U} = 200 \text{ A.}$$

Ответ: 200 А.

**С6.** Определите импульс, передаваемый лазерным лучом зеркалу за одну секунду при полном отражении. Энергия, излучаемая лазером за время  $t$ , равна  $E$ .

*Решение.* Импульс фотона определяется как  $p = \frac{h}{\lambda}$ , энергия фотона

$$E = \frac{hc}{\lambda}. \text{ Это дает:}$$

$$p = \frac{2E}{ct}.$$

Ответ:  $\frac{2E}{ct}$ .

## Решение варианта №12

### Часть 1

**А7.** На рисунке 52 приведены схемы, стрелки на которых обозначают направление обмена энергией между колебательной системой (КС), источником энергии (ИЭ) и окружающей средой (ОС). Вынужденные колебания отображает схема...

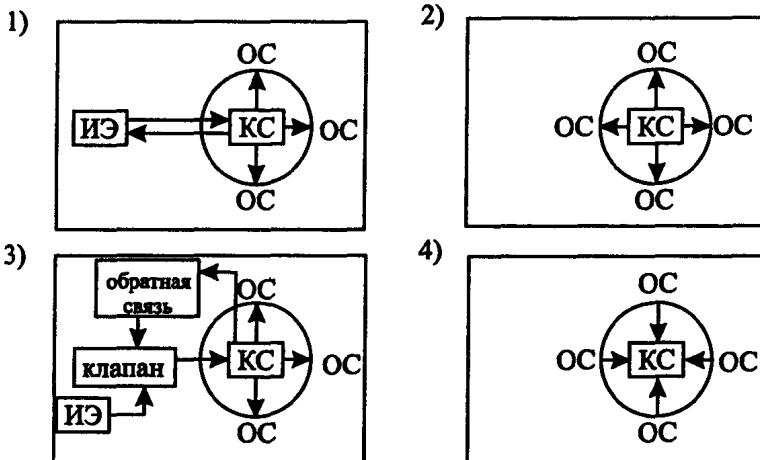


Рис. 52.

1) 1

2) 2

3) 3

4) 4

**Решение.** Картинки 2) и 4) соответствуют изотропному взаимодействию с окружающей средой (ОС). Поэтому это соответствует свободным затухающим колебаниям (КС).

На рисунке 3) есть обратная связь с клапаном регулировки, что соответствует автоколебательной системе.

На рисунке 1) источник энергии (ИЭ) приводит в действие колебательную систему с использованием части энергии против окружающей среды. Следовательно, колебательная система совершает вынужденные колебания.

**Ответ:** 1.

**A12.** В сосуде содержится неон при температуре  $27^\circ\text{C}$ . Внутренняя энергия газа 4,5 Дж. Сколько примерно атомов неона содержится в сосуде?

- 1)  $1,1 \cdot 10^{20}$       2)  $3,2 \cdot 10^{20}$       3)  $7,2 \cdot 10^{20}$       4)  $8,3 \cdot 10^{20}$

**Решение.** Внутренняя энергия

$$U = N \frac{mv^2}{2},$$

где  $N$  — число молекул неона  $Ne$ ;  $m$  — масса одной молекулы неона;  $v$  — средняя квадратичная скорость молекул неона. Т.к. известно, что

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \Rightarrow mv^2 = 3kT,$$

то получим:

$$U = \frac{2}{3} NkT,$$

где  $k$  — постоянная Больцмана;  $T$  — температура газа.

$$N = \frac{2}{3} \frac{U}{kT}.$$

$$N = \frac{2}{3} \frac{4,5 \text{ Дж}}{1,38 \text{ Дж/К} \cdot 300 \text{ К}} \approx 7,25 \cdot 10^{20}.$$

**Ответ:** 3.

**A19.** В магнитное поле с индукцией 0,2 Тл помещен контур, выполненный в форме кругового витка радиусом 3,5 см. Сопротивление витка равно 0,77 Ом. Нормаль к плоскости этого витка совпадает с линиями индукции магнитного поля. При исчезновении магнитного поля через поперечное сечение проводника пройдет заряд...

- 1) 1 мКл      2) 0,5 мКл      3) 250 мКл      4) 100 мКл

**Решение.** По закону электромагнитной индукции Фарадея

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

где

$$\Delta\Phi = \Delta BS. \quad (2)$$

ЭДС возбуждает ток в витке. В соответствии с законом Ома для полной цепи:

$$\mathcal{E} = IR. \quad (3)$$

Подставим (2) и (3) в (1):

$$IR = -\frac{\Delta BS}{\Delta t},$$

или

$$I\Delta t \cdot R = \Delta BS,$$

а т.к.  $I\Delta t = \Delta q$ , то это и есть искомый заряд.

Учтем, что  $S = \pi r^2$ , и получим:

$$\Delta q R = \Delta B \pi r^2.$$

Окончательно:

$$\Delta q = \frac{\pi r^2}{R} \Delta B,$$

т.к.  $\Delta B$  за всё время исчезновения магнитного поля равно  $B$  согласно условию, то и  $\Delta q = q$ , т.е.

$$q = \frac{\pi r^2}{R} B,$$

или

$$q = \frac{3,14 \cdot (3,5)^2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{0,77 \text{ Ом}} \cdot 0,2 \text{ Тл} = 10^{-3} \text{ Кл} = 1 \text{ мКл}.$$

**Ответ:** 1.

**A23.** Радиоактивный изотоп калия  $^{40}_{19}\text{K}$  в результате  $\beta$ -распада превращается в изотоп кальция  $^{40}_{20}\text{Ca}$ . Период полураспада изотопа калия  $^{40}_{19}\text{K}$  равен 1,24 млрд лет. Относительное количество ядер калия (в процентах), которое превратилось в ядра кальция за время существования Земли (равном примерно 6,5 млрд лет), равно...

1) 97,4%

2) 73,6%

3) 26,4%

4) 2,6%

**Решение.** Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 2^{-t/T}.$$

Число распавшихся атомов  $Ka$ :

$$\Delta N = N_0 - N, \text{ или } \Delta N = N_0(1 - 2^{-t/T}).$$

Относительное число распавшихся атомов:

$$\frac{\Delta N}{N} = 1 - 2^{-t/T}.$$

Подставим:

$$\frac{\Delta N}{N} = 1 - 2^{-\frac{6,5}{1,24}} \approx 0,974,$$

или в %:

$$\frac{\Delta N}{N} = 97,4\%.$$

Ответ: 1.

A25. На рисунке 53 приведены: главная оптическая ось тонкой линзы, точка A и её изображение A<sub>1</sub>. Какая линза в этом случае использовалась и где располагался предмет?

A\*

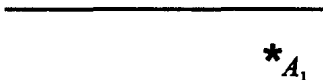


Рис. 53.

- 1) линза собирающая, предмет находился между оптическим центром и фокусом линзы
- 2) линза собирающая, предмет находился между фокусом и двойным фокусом линзы
- 3) линза собирающая, предмет находился за двойным фокусом линзы
- 4) линза рассеивающая, предмет находился на бесконечности

**Решение.** Так как предмет и его изображение лежат по разные стороны главной оптической оси, то изображение действительное, а линза — собирающая.

Сравнивая расстояния от точки A до главной оптической оси и расстояния от точки A' до главной оптической оси, получаем, что изображение уменьшенное и обратное. Следовательно, предмет находился за двойным фокусом линзы.

Ответ: 3.



## Часть 2

**В3.** Космический корабль начал разгон в межпланетном пространстве, включив ракетный двигатель. Из сопла двигателя каждую секунду выбрасывается 3 кг горючего газа со скоростью  $v = 600$  м/с. Определите кинетическую энергию, которую приобретет корабль, пройдя 30 м после включения двигателя. Изменением массы корабля за время разгона пренебречь. Принять, что поля тяготения в пространстве, в котором движется корабль, пренебрежимо малы.

*Решение.* За время разгона корабль массой  $M$  приобретает скорость  $U$ , выбросив при этом  $m$  (кг) газа. Так как изменением массы можно пренебречь, то закон сохранения импульса

$$mV = MU.$$

При этом  $l = \frac{U}{2} \cdot t$ , потому что движение корабля в этом случае равноускоренное. Т.к.  $m = \mu t$ ,  $E_k = \frac{MU^2}{2}$ , то, решая эту систему четырех уравнений, получим:

$$E_k = \mu l V.$$

$$E_k = 3 \text{ кг/с} \cdot 30 \text{ м} \cdot 600 \text{ м/с} = 54000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2} = 54 \text{ кДж}.$$

*Ответ:* 54.

**В4.** Два моля идеального одноатомного газа сначала охладили, а затем нагрели до первоначальной температуры 400 К, увеличив объем газа в три раза. Какое количество теплоты отдал газ на участке 1 — 2 (см. рис. 54)?

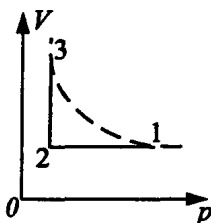


Рис. 54.

*Решение.* 1 → 2 — изохорное охлаждение.  
2 → 3 — изобарное нагревание:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}.$$

Для  $1 \rightarrow 2$  первый закон термодинамики дает, что  $Q_{12} = \Delta U_{12}$ , где  $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \nu \Delta T_2$ .  $T_2$  найдем из изобарного нагревания  $T_2 = \frac{V_2}{V_3} T_3$ , или  $T_2 = \frac{1}{3} T_1$ . Подставив в

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \nu (T_2 - T_1),$$

получим:

$$\Delta U_{12} = Q_{12} = R \nu T_1.$$

$$Q_{12} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 2 \text{ моль} \cdot 400 \text{ К} \approx 6648 \text{ Дж}.$$

Ответ: 6648.

**В5.** Перпендикулярно магнитному полю возбуждено электрическое поле напряженностью 100 кВ/м. Перпендикулярно обоим полям движется заряженная частица с постоянной скоростью 50 км/с. Определите индукцию магнитного поля. Ответ умножьте на  $10^8$ .

*Решение.* Предположим, что заряд  $q > 0$ . Изобразим на рисунке 55 поле  $\vec{B}$ ,  $\vec{E}$  и движущийся заряд.

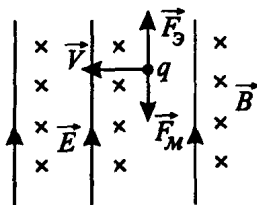


Рис. 55.

Расставим силы, действующие на движущийся заряд со стороны электрического поля  $F_E$  и стороны магнитного поля  $F_M$  (по правилу левой руки). Для того чтобы заряд  $q$  двигался равномерно и прямолинейно, необходимо, чтобы  $F_E = F_M$ ,  $F_E = qE$ , а  $F_M = qvB$ , подставляем и получаем:

$$qE = qvB \Rightarrow B = \frac{E}{v} = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ В/м}}{50 \cdot 10^3 \text{ м/с}} = 2 \text{ Тл}.$$

Ответ: 2.

### Часть 3

**С1.** Докажите закон отражения света за счет упругих столкновений световых корпускул с отражающей поверхностью.

**Решение.** Световые corpusкулы (фотоны или кванты света) абсолютно упругие шарики. При ударе об отражающую поверхность (см. рис. 56)  $p_x$  не изменяется, а  $p_y$  станет равным  $-p_y$ , т.к. удар абсолютно упругий. Поэтому для отскочившей световой corpusкулы с импульсом  $\vec{p}'$  имеем:

$$p'_y = -p_y, p'_x = p_x.$$

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  определяются из соотношений:

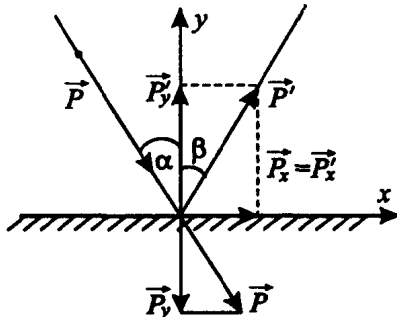


Рис. 56.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_x}{p_y}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{p'_x}{p'_y}.$$

Из полученных соотношений имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = -\operatorname{tg} \beta, \quad \alpha = -\beta,$$

знак « $-$ » указывает на то, что отсчет углов от вертикальной оси « $y$ » происходит в разные стороны.

Следовательно:

1) падающий луч, отраженный луч и нормаль ( $y$  нас ось « $y$ ») лежат в одной плоскости;

2) угол падения ( $\alpha$ ) равен углу отражения ( $\beta$ ).

Что и требовалось доказать.

**С2.** В последнюю секунду свободного падения с высоты 45 м тело прошло путь в  $n$  раз больший, чем в предыдущую. Найдите  $n$ , если начальная скорость тела была равна нулю.

**Решение.** Определим время падения тела (см. рис. 57):

$$H = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 45 \text{ м}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 3 \text{ с.}$$

Путь, пройденный за последнюю (третью) секунду:  $h_3 = H - H_2$ , где  $H_2$  — путь за две секунды:

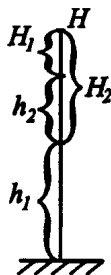


Рис. 57.

$$H_2 = \frac{g \cdot 2^2}{2} = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 4 \text{ с}^2}{2} = 20 \text{ м.}$$

Путь, пройденный за вторую секунду:  $h_2 = H_2 - H_1$ , где  $H_1$  — путь, пройденный за первую секунду падения:

$$H_1 = \frac{g \cdot 1^2}{2} \Rightarrow H_1 = \frac{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 1 \text{ с}^2}{2} = 5 \text{ м.}$$

Из полученных соотношений имеем, что  $h_3 = 25$  м, а  $h_2 = 15$  м. Откуда:

$$n = \frac{25 \text{ м}}{15 \text{ м}} = \frac{5}{3}.$$

Ответ:  $\frac{5}{3}$ .

С3. Шар наполнен гелием при атмосферном давлении  $10^5$  Па. Определите массу одного квадратного метра его оболочки, если шар поднимает сам себя при радиусе 2,7 м. Температура гелия и окружающего воздуха одинаковы и равны  $0^\circ\text{C}$ .

Решение. Условие поднятия шара (см. рис. 58):  $F_{\text{арх}} \geq Mg$ ,

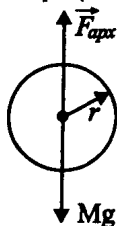


Рис. 58.

где  $M = m_{\text{об}} + m_{\text{He}}$ ,  $m_{\text{об}}$  — масса оболочки,  $m_{\text{He}}$  — масса газа гелия в шаре.

При этом:

$m_{\text{об}} = \sigma \cdot 4\pi r^2$ ;  $m_{\text{He}} = \rho_{\text{He}} V$ ,  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{воз}} V$ ,  
где  $\rho_{\text{He}}$  и  $\rho_{\text{воз}}$  — плотность гелия и воздуха,  $V$  — объем шара.

$$F_{\text{арх}} = Mg \Rightarrow \rho_{\text{воз}} V g = (\sigma \cdot 4\pi r^2 + \rho_{\text{He}} V) g \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{1}{4\pi r^2} V (\rho_{\text{воз}} - \rho_{\text{He}}). \quad (1)$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p = \frac{\rho}{\mu} RT,$$

или

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} \quad \rho_{\text{He}} = \frac{\mu_{\text{He}} p}{RT} \quad \text{и} \quad \rho_{\text{воз}} = \frac{\mu_{\text{воз}} p}{RT}.$$

Учитывая, что  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ , подставим всё это в (1) и получим:

$$\sigma = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \left( \frac{\mu_{\text{воз}} p}{RT} - \frac{\mu_{\text{He}} p}{RT} \right),$$

или

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{1}{3} \frac{pr}{RT} (\mu_{\text{воз}} - \mu_{\text{He}}) = \frac{1}{3} \cdot \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 2,7 \text{ м}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 273 \text{ К}} (29 - 4) \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \approx \\ &\approx 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}. \end{aligned}$$

Ответ:  $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$ .

**С4.** В электрической схеме, изображенной на рисунке 59, ключ К замкнут. ЭДС батарейки  $\mathcal{E} = 12 \text{ В}$ , емкость конденсатора  $C = 0,2 \text{ мкФ}$ . После размыкания ключа К в результате разряда конденсатора на резисторе выделяется количество теплоты  $Q = 10 \text{ мкДж}$ . Найдите отношение внутреннего сопротивления батарейки к сопротивлению резистора  $\frac{r}{R}$ .

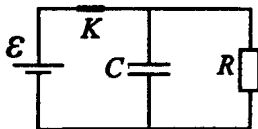


Рис. 59.

**Решение.** По закону Ома для полной цепи:

$$\mathcal{E} = I(r + R). \quad (1)$$

Напряжение на конденсаторе  $U$ . По закону Ома для участка цепи:  $U = IR$ .

При размыкании ключа конденсатор разряжается через сопротивление  $R$  и на нем выделяется тепло, равное энергии, запасенной в конденсаторе, т.е.  $Q = W$ , где  $W = \frac{CU^2}{2}$ .

Если (1) записать  $\mathcal{E} = IR\left(1 + \frac{r}{R}\right)$ , то система трех уравнений легко решается:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = IR\left(1 + \frac{r}{R}\right) \\ U = IR \\ Q = \frac{CU^2}{2} \end{cases} \Rightarrow U = \sqrt{\frac{2Q}{C}} = 10 \text{ В.}$$

Подставив значения в первое уравнение системы, получим:

$$12 = 10\left(1 + \frac{r}{R}\right) \Rightarrow \frac{r}{R} = 0,2 = \frac{1}{5}.$$

Ответ:  $\frac{1}{5}$ .

С5. Медный стержень  $AB$  длиной  $l = 0,4$  м качается на одинаковых тонких шелковых нитях длиной  $L = 0,9$  м в вертикальном магнитном поле индукцией  $B$  (см. рис. 60). При этом стержень движется поступательно, а его скорость всё время перпендикулярна  $AB$ . Максимальный угол отклонения нитей от вертикали  $\alpha = 60^\circ$ . Максимальная ЭДС индукции на концах стержня в процессе движения  $\mathcal{E} = 0,12$  В. Найдите величину индукции магнитного поля  $B$ .

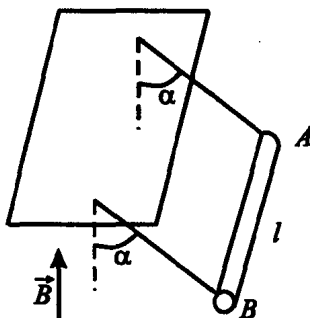


Рис. 60.

**Решение.** ЭДС на концах проводника, движущегося в магнитном поле перпендикулярно силовым линиям  $\vec{B}$ , определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = vBl. \quad (1)$$

Максимальная скорость достигается при прохождении нижней точки (см. рис. 61).

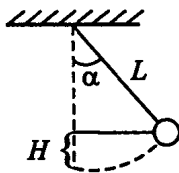


Рис. 61.

Из закона сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = mgH, \text{ или } \frac{mv^2}{2} = mgL(1 - \cos \alpha).$$

$$v^2 = 2gL(1 - \cos \alpha). \quad (2)$$

Из (1)  $\mathcal{E} = vBl \Rightarrow B = \frac{\mathcal{E}}{vl}$ , из (2) подставим значение  $v$ :

$$B = \frac{\mathcal{E}}{l\sqrt{2gL(1 - \cos \alpha)}}.$$

$$B = \frac{0,12 \text{ В}}{0,4 \text{ м} \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,9 \text{ м}(1 - \cos 60^\circ)}} = 0,1 \text{ Тл}.$$

**Ответ:** 0,1 Тл.

**С6.**  $\pi^0$ -мезон распадается на два  $\gamma$ -кванта. Частота одного из образовавшихся  $\gamma$ -квантов в системе отсчета, где первичный  $\pi^0$ -мезон покоится,  $\nu = 1,64 \cdot 10^{22}$  Гц. Найдите массу  $\pi^0$ -мезона.

**Решение.** В соответствии с законом сохранения импульса фотоны разлетаются в противоположные стороны с равными по величине импульсами (см. рис. 62):

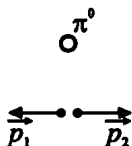


Рис. 62.

$$|\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| = p = \frac{h\nu}{c}.$$

Согласно релятивистскому закону сохранения энергии для такого распада  $\pi^0$ -мезона имеем, что  $mc^2 = 2h\nu$ , откуда:

$$m = \frac{2h\nu}{c^2} = \frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 1,64 \cdot 10^{22} \text{ с}^{-1}}{9 \cdot 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 2,4 \cdot 10^{-28} \text{ кг}.$$

Ответ:  $2,4 \cdot 10^{-28}$  кг.

## Решение варианта №13

### Часть 1

А7. На рисунке 63 приведен график зависимости кинетической энергии колеблющегося тела от времени. Частота колебаний этого тела равна...

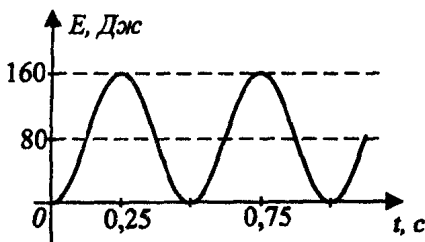


Рис. 63.

1) 0,25 Гц

2) 0,5 Гц

3) 1 Гц

4) 2 Гц

**Решение.** Колебания кинетической энергии

$$\sim \sin^2 \omega t, \sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos \omega t).$$

Следовательно, частота колебаний тела в 2 раза меньше колебаний энергии этого же тела, т.е. частота колебаний тела равна 1 Гц.

Ответ: 3.

А12. Газ, находящийся в цилиндре под поршнем, сжимают. В каком случае над газом совершается бóльшая работа:

А) при медленном сжатии

Б) при быстром?

В каком случае конечная температура ( $T_A$  или  $T_B$ ) выше? Сосуд с газом не теплоизолирован. Конечный объем газа в обоих случаях одинаков.



- 1) работа в случае А больше, чем в случае Б;  $T_A > T_B$
- 2) работа в случае Б больше, чем в случае А;  $T_A > T_B$
- 3) работа в случае Б больше, чем в случае А;  $T_A < T_B$
- 4) работа в случае А больше, чем в случае Б;  $T_A < T_B$

**Решение.** Рассмотрим графики на  $pV$ -диаграмме при сжатии идеального газа (см. рис. 64).

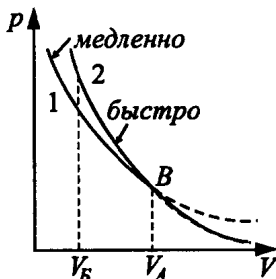


Рис. 64.

На приведенном графике цифра 1 соответствует изотерме, 2 — адиабате. Видно, что при сжатии медленнее, чем по изотерме, температура идеального газа понижается. При сжатии быстрее, чем при изотермическом процессе, температура идеального газа повышается. Работа газа пропорциональна площади под кривой на диаграмме  $pV$ . Так же видно, что при быстром нагреве работа, совершаемая над газом, больше, чем при медленном.

**Ответ:** 3.

**А19.** Через участок цепи (см. рис. 65) течет постоянный ток  $I = 12$  А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.

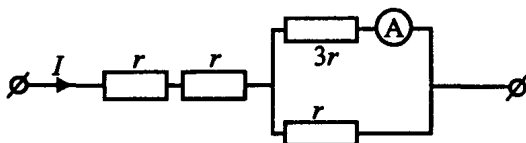


Рис. 65.

- 1) 2 А
- 2) 3 А
- 3) 6 А
- 4) 9 А

**Решение.** Падения напряжения в контуре (см. рис. 66) на сопротивлении  $3r$  и на сопротивлении  $r$  одинаковы.

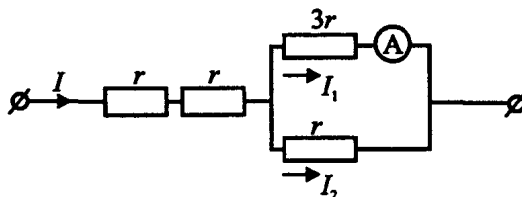


Рис. 66.

$$3rI_1 = rI_2 \Rightarrow I_1 = \frac{1}{3}I_2.$$

Для узла в этой схеме  $I = I_1 + I_2$ , тогда имеем, что  $I_1 = 3 \text{ А}$ .

**Ответ:** 2.

**A23.** В цепочке радиоактивных превращений после нескольких  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов ядро некоторого тяжелого атома превращается в ядро устойчивого атома, у которого число нейтронов на 27 меньше, чем у первоначального ядра. Известно, что число  $\alpha$ -распадов равно числу  $\beta$ -распадов. Общее число распадов равно...

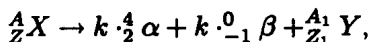
1) 27

2) 18

3) 9

4) 7

**Решение.** Напишем общее уравнение всех ядерных реакций в этой цепочке:



где  ${}^A_ZX$  — искомое ядро тяжелого атома,  ${}^{A_1}_{Z_1}Y$  — ядро устойчивого атома,  $k$  — число  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов.

Закон сохранения барионного заряда (массового числа):

$$A = k \cdot 4 + A_1. \quad (1)$$

Закон сохранения электрического заряда:

$$Z = k \cdot 2 - k + Z_1. \quad (2)$$

Уравнение для числа нейтронов будет очевидно:

$$A - Z = A_1 - Z_1 + 27. \quad (3)$$

Решая линейную систему уравнений (1), (2), (3), получим, что  $k = 9$ .

**Ответ:** 3.

**A25.** В лаборатории исследовалась зависимость напряжения на обкладках конденсатора от заряда этого конденсатора. Результаты измерений представлены в таблице.

$q, \text{ мкКл}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$U, \text{ кВ}$	0,6	1,5	3,0	3,5	3,8

Погрешности измерений величин  $q$  и  $U$  равнялись соответственно 0,1 мкКл и 0,25 кВ. Емкость конденсатора примерно равна...

- 1) 250 пФ                      2) 5 нФ                      3) 240 нФ                      4) 4 мкФ

**Решение.** Если рассчитать значения  $C = \frac{q}{U}$  всем измерениям, получим результаты в пкФ:

$$333; \quad 266; \quad 200; \quad 229; \quad 263.$$

Относительная ошибка в определении  $C$  равна сумме относительных ошибок в определении заряда и напряжения  $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\Delta q}{q} + \frac{\Delta U}{U}$ . Если применить для самого низкого значения  $C$ , равном 200 пФ.

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{0,1}{0,6} = 0,17 \text{ и } \frac{\Delta U}{U} = \frac{0,25}{3} = 0,08.$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 0,17 + 0,08 = 0,25.$$

Откуда следует:

$$\Delta C = 200 \cdot 0,25 = 50 \text{ (пФ)},$$

т.е.

$$C = 200 \text{ пФ} \pm 50 \text{ пФ}.$$

Из всех представленных измерений 240 пФ попадает в область допустимых значений. Следовательно, ответ 240 пФ.

**Ответ:** 1.

## Часть 2

**В3.** С какой высоты падает груз массой 10 кг на невесомую вертикальную пружину жесткостью 1000 Н/м, если максимальная сила давления пружины на пол равна 400 Н? Длина пружины в ненапряженном состоянии 1 м. Высота в метрах отсчитывается от пола.

**Решение.** Высота, с которой падает груз  $m$ , равна  $h$  (см. рис. 67).

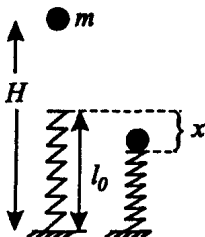


Рис. 67.

Закон сохранения энергии применим для начальной точки и момента, когда пружина максимально сжата и тело в этот момент покоится:

$$mgh = mg(l_0 - x) + \frac{kx^2}{2}, \quad (1)$$

где  $x$  — максимальная деформация пружины. Максимальная сила давления на пол равна силе упругости:

$$kx = F_{\text{Д}} \Rightarrow 400 \text{ Н} = 1000 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot x \Rightarrow \\ \Rightarrow x = 0,4 \text{ м.}$$

Тогда

$$h = (l_0 - x) + \frac{k}{2mg} x^2,$$

или

$$h = (1 - 0,4) + \frac{1000}{2 \cdot 10 \cdot 10} 0,4^2 = 1,4 \text{ м.}$$

Ответ: 1,4.

**В4.** В герметически закрытом сосуде в воде плавает кусок льда массой  $M = 0,1 \text{ кг}$ , в который вмерзла дробинка массой  $m = 5 \text{ г}$ . Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы дробинка начала тонуть? (Ответ дайте в кДж с точностью до 1 кДж.)

*Решение.* Для того чтобы лед с дробинкой начал тонуть, необходимо растопить часть льда  $\Delta M$ , а для оставшегося льда с дробинкой должно выполняться условие:

$$(M - \Delta M + m)g = \frac{M - \Delta M}{\rho_{\text{л}}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g,$$

где  $\frac{M - \Delta M}{\rho_{\text{л}}}$  — объем льда с дробинкой (в этом случае пренебрегаем объемом дробинки по сравнению с объемом льда),  $\rho_{\text{л}}$  — плотность льда,  $\rho_{\text{в}}$  — плотность воды. Из этого уравнения легко находим:

$$\Delta M = M - \frac{m\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}.$$

Для того чтобы растопить  $\Delta M$  льда, находящегося при  $0^\circ\text{C}$ , необходимо подвести количество тепла  $Q = \lambda \Delta M$ .

$$Q = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} \cdot 0,555 \text{ кг} = 18,15 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 18,2 \text{ кДж.}$$

Ответ: 18.

**В5.** В катушке с индуктивностью  $6 \text{ мГн}$  при равномерном увеличении силы тока на  $40 \text{ А}$  возникла ЭДС самоиндукции  $8 \text{ В}$ . Сколько миллисекунд длилось увеличение тока?

*Решение.* ЭДС самоиндукции определяется выражением

$$\mathcal{E} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Откуда

$$\Delta t = \frac{L \Delta I}{\mathcal{E}}.$$

Знак «—» можно опустить, т.к. он согласно правилу Ленца говорит о направлении тока самоиндукции.

$$\Delta t = \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 40 \text{ А}}{8 \text{ В}} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 30 \text{ мс}.$$

*Ответ:* 30.

### Часть 3

**C1.** Отдельная икринка лягушки прозрачна, оболочка её состоит из студенистого вещества; внутри икринки находится тёмный зародыш. Ранней весной в солнечные дни, когда температура воды в водоёмах близка к  $0^\circ\text{C}$ , икра на ощупь кажется тёплой. Измерения показывают, что температура её может достигать  $30^\circ\text{C}$ .

1) Как можно объяснить это явление?

2) Приведите подобные примеры, встречающиеся в быту или в природе.

*Решение.* 1) Черный зародыш внутри икринки поглощает солнечную энергию, которая доходит до него. Студенистое вещество, окружающее зародыш, является теплоизолятором для теплового излучения зародыша.

2) Например, одежда темных цветов лучше поглощает солнечное излучение и летом в темной одежде жарче. Весной грязный снег тает быстрее, чем чистый.

**C2.** Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки  $A$  (см. рис. 68). В точке  $B$  наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом  $R$ . Если в точке  $A$  начальная скорость шайбы превосходит  $4 \text{ м/с}$ , то в точке  $B$  шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости  $AB = L = 1 \text{ м}$ , угол  $\alpha = 30^\circ$ . Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой  $\mu = 0,2$ . Найдите внешний радиус трубы  $R$ .

*Решение.* Согласно теореме об излучении энергии работа силы трения на пути  $L$  равна разности энергии тела в точке  $A$  и в точке  $B$ :

$$\mu L m g \cos \alpha = \frac{mv_A^2}{2} - \left( \frac{mv_B^2}{2} - mgL \sin \alpha \right).$$

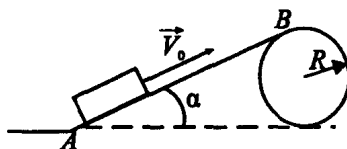


Рис. 68.

В точке  $B$  условием отрыва будет равенство нулю реакции опоры. В этом случае центростремительное ускорение в точке  $B$  равно составляющей ускорения силы тяжести на радиус вращения, проведенный в точку  $B$  (см. рис. 69).

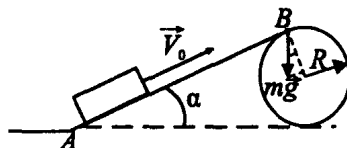


Рис. 69.

$$\frac{v_B^2}{R} = g \cos \alpha \Rightarrow v^2 = gR \cos \alpha.$$

Решая совместно эти уравнения, получим:

$$R = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha} - 2L(\mu + \operatorname{tg} \alpha),$$

или

$$R = \frac{4^2}{10 \cdot \cos 30^\circ} - 2 \cdot 1(0,2 + \operatorname{tg} 30^\circ) = 0,3 \text{ м.}$$

Ответ: 0,3 м.

**С3.** Вертикально расположенный замкнутый цилиндрический сосуд высотой 50 см разделен подвижным поршнем весом 110 Н на две части, каждая из которых содержит по 0,022 моля идеального газа (см. рис. 70). При какой температуре поршень будет находиться на высоте 20 см от дна сосуда? Толщиной поршня можно пренебречь.

**Решение.** Уравнение Клапейрона-Менделеева для верхней и нижней частей цилиндра (см. рис. 71):

$$(1): p_1 V_1 = \nu RT,$$

$$(2): p_2 V_2 = \nu RT.$$

Причем:

$$(3): V_1 = S(H - h),$$

$$(4): V_2 = Sh_1,$$

где  $S$  — сечение поршня. Условие равновесия поршня

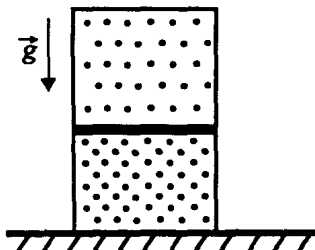


Рис. 70.

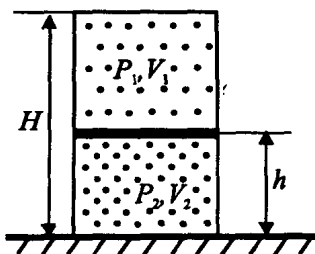


Рис. 71.

$$(5) : \quad p_1 + P = p_2 S.$$

Решая полученную систему пяти уравнений, получим:

$$T = \frac{P}{\nu \cdot R} \frac{h(H-h)}{H-2h},$$

или

$$T = \frac{110 \cdot 0,2 \cdot 0,3}{0,022 \cdot 8,31 \cdot 0,1} = 361 \text{ K}.$$

Ответ: 361 K.

**С4.** Положительно заряженная пылинка, имеющая массу  $10^{-8}$  г, влетает в электрическое поле конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рис. 72). Минимальная скорость, с которой пылинка должна влететь в конденсатор, чтобы затем пролететь его насквозь, равна 30 м/с. Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряженность электрического поля внутри конденсатора 500 кВ/м. Чему равен заряд частицы? Силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.

**Решение.** Пылинка совершает сложное движение: вдоль оси  $x$  движется равномерно, вдоль оси  $y$  равноускоренно под действием кулоновской силы (см. рис. 73):

$$F_y = qE: \quad (1)$$

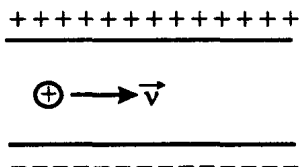


Рис. 72.

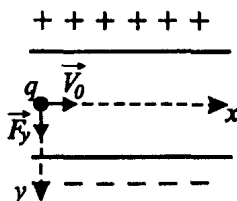


Рис. 73.

Из второго закона Ньютона  $ma = Eq$  следует:

$$a = \frac{Eq}{m}. \quad (2)$$

Вдоль оси  $y$  пылинка пролетает:

$$\frac{d}{2} = \frac{at^2}{2}. \quad (3)$$

Вдоль оси  $x$  пылинка пролетает расстояние

$$l = v_0 t. \quad (4)$$

Решив эту систему 4-х уравнений относительно  $q$ , получим:

$$q = \frac{mv^2 d}{l^2 E} = \frac{10^{-11} \text{ кг} \cdot 900 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot 10^{-2} \text{ м}}{10^{-2} \text{ м}^2 \cdot 5 \cdot 10^5 \text{ В/м}} = 1,8 \cdot 10^{-11} \text{ Кл}.$$

Ответ: 18 пКл.

**С5.** Между краями двух хорошо отшлифованных тонких плоских стеклянных пластинок помещена тонкая проволочка, противоположные концы пластинок плотно прижаты друг к другу (см. рис. 74). Расстояние от проволочки до линии соприкосновения пластинок равно 20 см. На верхнюю пластинку нормально к ее поверхности падает монохроматический пучок света длиной волны 600 нм. Определите диаметр проволочки, если на 1 см длины клина уместается 10 интерференционных полос.

**Решение.** Условие максимума интерференции в таком клинке при нормальном падении лучей света  $2dn = m\lambda$ , где  $n$  — показатель преломления тонкого клинка (в этой задаче это воздух, заключенный между стеклянными —



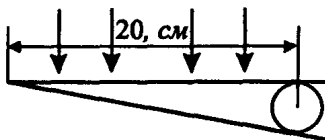


Рис. 74.

ми пластинами,  $n = 1$ ),  $b$  — толщина клинка, удовлетворяющая условию интерференции,  $m$  — порядок интерференции (см. рис. 75).

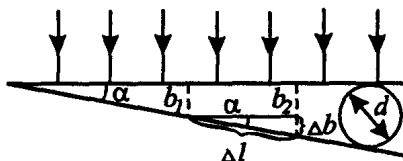


Рис. 75.

Пусть  $b_1$  — толщина воздушного клинка, соответствующая  $m$  порядку интерференции,  $b_2$  — толщина клинка, соответствующая следующему порядку интерференции.

$$\begin{cases} 2b_2 = (m+1)\lambda \\ 2b_1 = m\lambda \end{cases}$$

$$2(b_2 - b_1) = \lambda, \quad b_2 - b_1 = \Delta b,$$

или

$$2\Delta b = \lambda, \quad \Delta b = \frac{\lambda}{2},$$

где  $\Delta l = \frac{1}{k}$  — ширина интерференционной полосы. Т.к. угол  $\alpha$  очень мал, то очевидно  $\Delta b = \alpha \cdot \Delta l$ , или  $l \cdot \alpha = d$ . Из этих двух уравнений следует, что

$$d = \frac{\Delta b}{\Delta l} \cdot l,$$

или

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot \Delta l} \cdot l = \frac{600 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ м}} \cdot 0,2 \text{ м} = 600 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0,06 \text{ мм}.$$

Ответ: 0,06 мм.

**С6.** Электроны, вылетевшие с катода фотоэлемента (с работой выхода  $A$ ) под действием света горизонтально в северном направлении, попадают в электрическое и магнитное поля. Электрическое поле направлено горизонтально на запад, а магнитное — вертикально вверх (см. рис. 76). Какой должна быть работа выхода, чтобы в момент попадания самых быстрых

электронов в область полей действующая на них сила была направлена на восток? Частота падающего на фотоэлемент света  $6,2 \cdot 10^{14}$  Гц, напряженность электрического поля 300 В/м, индукция магнитного поля 0,001 Тл.

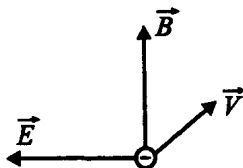


Рис. 76.

**Решение.** На рисунке 77 расставлены силы, действующие на электрон со стороны электрического поля  $F_E$  и магнитного поля  $F_L$ .

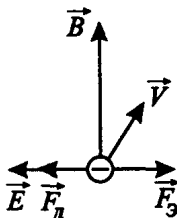


Рис. 77.

Для того чтобы электрон полетел на восток (вправо), необходимо  $F_E > F_L$ . Модуль сил:  $F_E = eE$ ,  $F_L = evB$  подставим в неравенство и получим:

$$eE > evB \Rightarrow v < \frac{E}{B}.$$

Фотоэлектроны, рождающиеся под действием света, удовлетворяют формуле Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

или

$$A = h\nu - \frac{mv^2}{2}.$$

Т.е.

$$A \geq h\nu - \frac{mE^2}{2B^2}.$$

$$A \geq 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 6,2 \cdot 10^{14} \text{ Гц} - \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^4 \text{ В}^2}{2 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} \cdot \text{м}^2} =$$

$$= 3,7 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 2,3 \text{ эВ}.$$

Ответ: 2,3 эВ.

## Решение варианта №14

### Часть 1

**A7.** Электрическая лампа подвешена на шнуре и оттянута горизонтальной оттяжкой (см. рис. 78). Найдите силу натяжения шнура  $AB$ , если масса лампы 1 кг, а угол  $\alpha = 60^\circ$ .

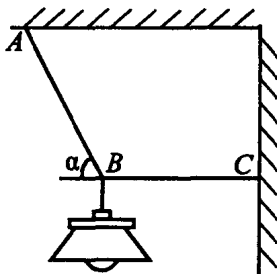


Рис. 78.

1) 0,5 Н

2) 1 Н

3) 20 Н

4) 11,5 Н

**Решение.** По условию равновесия точки  $B$  сила тяжести лампы уравновешивается проекцией силы натяжения шнура  $AB$ :

$$mg = F \sin \alpha.$$

$$\text{Отсюда: } F = \frac{mg}{\sin \alpha} = 11,5 \text{ Н}.$$

Ответ: 4.

**A12.** В сосуде постоянного объема находится идеальный газ, массу которого изменяют. На диаграмме (см. рис. 79) показан процесс изменения состояния газа. В какой из точек диаграммы масса газа наибольшая?

1)  $A$

2)  $B$

3)  $C$

4)  $D$

**Решение.** Из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

выразим давление:

$$p = \frac{mR}{MV} T.$$

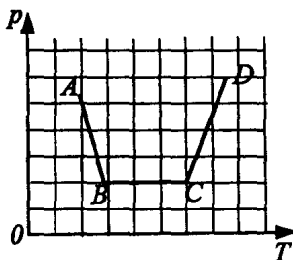


Рис. 79.

Видно, что коэффициент пропорциональности в этой зависимости прямо пропорционален массе газа  $m$ . Следовательно, наибольшая масса газа будет в точке С.

Ответ: 1.

A19. Какое явление наблюдается в опыте Эрстеда?

- 1) взаимодействие двух параллельных проводников
- 2) взаимодействие двух магнитных стрелок
- 3) поворот магнитной стрелки вблизи проводника при пропускании по нему тока
- 4) возникновение электрического тока в катушке при вдвигании в нее магнита

Решение. В опыте Эрстеда было обнаружено появление магнитного поля вблизи проводника с током. Это было выяснено с помощью магнитной стрелки.

Ответ: 3.

A23. На рисунке 80 представлен график зависимости силы фототока в фотоэлементе от приложенного к нему напряжения. Если начать уменьшать частоту падающего на катод света (при той же интенсивности света), то...

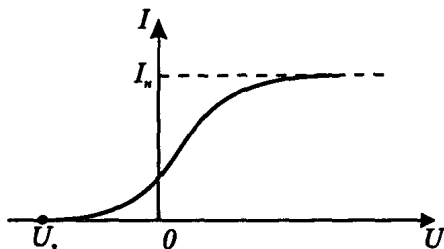


Рис. 80.

- 1) нижняя часть графика, соответствующая запирающему напряжению, сместится влево
- 2) нижняя часть графика, соответствующая запирающему напряжению, сместится вправо
- 3) верхняя часть графика, показывающая силу тока насыщения, сместится вверх
- 4) верхняя часть графика, показывающая силу тока насыщения, сместится вниз

**Решение.** Запишем формулу Эйнштейна для фотоэффекта через задерживающий потенциал:

$$h\nu = A + eU_3.$$

Здесь  $e$  — заряд электрона,  $U_3$  — задерживающий потенциал. При уменьшении частоты падающего света  $U_3$  будет по модулю уменьшаться и нижняя часть графика сместится вправо.

**Ответ:** 2.

**A25.** В таблице приведены значения энергии для первых четырех энергетических уровней атома водорода:

Номер уровня	Энергия, $10^{19}$ Дж
1	-21,8
2	-5,3
3	-2,4
4	-1,3

Излучение с наибольшей частотой, наблюдаемое как отдельная линия в спектре испускания водорода, может быть получено при переходе между этими энергетическими уровнями...

- 1) с  $n = 1$  на  $n = 4$
- 2) с  $n = 3$  на  $n = 4$
- 3) с  $n = 4$  на  $n = 3$
- 4) с  $n = 4$  на  $n = 1$

**Решение.** Энергия излучаемого фотона определяется формулой  $E = h\nu$ . Согласно постулатам Бора  $h\nu = E_m - E_n$ , следовательно, наибольшей частоте соответствует наибольшая разность энергий уровней. Эта линия соответствует переходу с  $n = 4$  на  $n = 1$ .

**Ответ:** 4.

## Часть 2

**B3.** Пуля вылетает из ствола в горизонтальном направлении со скоростью 800 м/с. На сколько см снизится пуля при попадании в щит, расположенный на расстоянии 400 м от места выстрела? Ответ округлите до сотых.

**Решение.** В горизонтальном направлении движение пули равномерное и, следовательно, время ее движения до щита определится как расстояние, деленное на скорость:

$$t = \frac{S}{v} = 0,5 \text{ с.}$$

В вертикальном направлении движение пули является свободным падением, и, следовательно, высоту снижения определим как:

$$h = \frac{gt^2}{2} = 1,25 \text{ м.}$$

**Ответ:** 125.

**В4.** Какова разница в массе воздуха, заполняющего помещение объемом  $50 \text{ м}^3$ , зимой и летом, если летом температура помещения достигает  $40^\circ\text{C}$ , а зимой падает до  $0^\circ\text{C}$ ? Давление нормальное. Ответ округлите до десятых.

**Решение.** Запишем уравнение Менделеева-Клапейрона для воздуха в комнате летом:

$$pV = \frac{m_{\text{л}}}{M} RT_{\text{л}}.$$

Запишем это же уравнение для воздуха в комнате зимой:

$$pV = \frac{m_{\text{з}}}{M} RT_{\text{з}}.$$

Разность масс воздуха зимой и летом определится как:

$$m_{\text{з}} - m_{\text{л}} = \frac{pVM}{R} \left( \frac{1}{T_{\text{з}}} - \frac{1}{T_{\text{л}}} \right) \approx 8,2 \text{ кг.}$$

**Ответ:** 8,2.

**В5.** Через сколько времени после момента прохождения нулевого значения мгновенное значение силы переменного тока промышленной частоты равно его действующему значению? Ответ округлите до десятых.

**Решение.** Зависимость силы переменного тока от времени имеет вид:

$$I = I_0 \sin \omega t.$$

Действующее значение силы тока связано с амплитудным значением силы тока соотношением:

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Тогда можем записать:

$$\frac{I_0}{\sqrt{2}} = I_0 \sin \omega t.$$

Отсюда следует условие:

$$\omega t = \frac{\pi}{4}.$$

Поскольку  $\omega = 2\pi\nu$ , и если считать  $\nu = 50$  Гц, то получаем ответ:

$$t = \frac{1}{8\nu} = 2,5 \text{ мс.}$$

Ответ: 2,5.

### Часть 3

**С1.** Как с помощью телевизора с электронно-лучевой трубкой определить полюса постоянного немаркированного полосового магнита?

*Решение.* На центр экрана телевизора попадают электроны, летящие горизонтально перпендикулярно ему. За пределами магнита образовано магнитное поле, направленное от северного к южному полюсу (см. рис. 81).

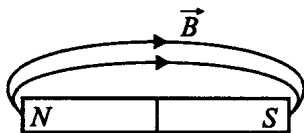


Рис. 81.

Необходимо поднести магнит в горизонтальной плоскости параллельно экрану. Тогда если изображение в центре экрана сместится вниз, то слева расположен северный полюс магнита. Если изображение сместится вверх, то слева расположен южный магнитный полюс.

**С2.** Шар массой 1 кг, подвешенный на нити длиной 90 см, отводят от положения равновесия на угол  $60^\circ$  и отпускают. В момент прохождения шаром положения равновесия в него попадает пуля массой 10 г, летящая навстречу шару. Она пробивает его и продолжает двигаться горизонтально. Определите изменение скорости пули в результате попадания в шар, если он, продолжая движение в прежнем направлении, отклоняется на угол  $39^\circ$ . (Массу шара считать неизменной, диаметр шара — пренебрежимо малым по сравнению с длиной нити,  $\cos(39^\circ) = 0,777$ .)

*Решение.* Сделаем чертеж к этой задаче (см. рис. 82).

Из чертежа видно, что:

$$H = l(1 - \cos \alpha),$$

$$h = l(1 - \cos \beta).$$

Закон сохранения энергии дает:

$$V_{ш1} = \sqrt{2gH}, \quad V_{ш2} = \sqrt{2gh}.$$

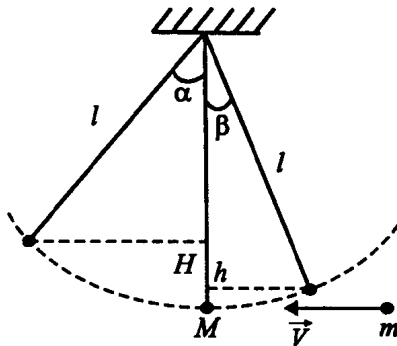


Рис. 82.

Закон сохранения импульса в проекциях на направление движения пули дает:

$$MV_{ш1} - MV_{п1} = MV_{ш2} - MV_{п2}.$$

Решив систему, получим изменение скорости полета пули:

$$V_{п1} - V_{п2} = \frac{M}{m} \sqrt{2gl}(\sqrt{1 - \cos \alpha} \sqrt{1 - \cos \beta}).$$

. В результате получим:  $V_{п1} - V_{п2} = 100$  м/с.

Ответ: 100 м/с.

С3. Какое количество теплоты было получено или отдано одноатомным идеальным газом при переходе из состояния 1 в состояние 3, если на рисунке 83 представлен график зависимости давления от объема?

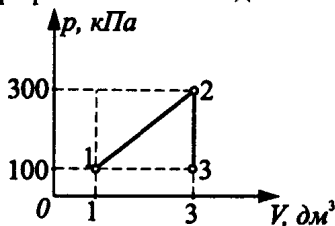


Рис. 83.

Решение. На участке 1–2–3 работа равна площади трапеции  $A = 400$  Дж. Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = 300 \text{ Дж}.$$

Тогда

$$Q = 400 \text{ Дж} + 300 \text{ Дж} = 700 \text{ Дж}.$$

Ответ: 700 Дж.



**С4.** К однородному медному цилиндрическому проводнику длиной 10 м приложили разность потенциалов 1 В. Определите промежуток времени, в течение которого температура проводника повысится на 10 К. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление меди  $1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .)

*Решение.* По закону сохранения энергии работа электрического тока равна количеству теплоты, которое идет на нагрев проводника:

$$\frac{U^2}{R} \cdot t = c \cdot m \cdot \Delta t.$$

Отсюда найдем промежуток времени нагрева проводника:

$$t = \frac{c \rho_m \rho_{\Sigma} \cdot l^2 \cdot \Delta t}{U^2},$$

здесь  $\rho_m$  — плотность меди,  $\rho_{\Sigma}$  — удельное сопротивление меди в  $\text{Ом} \cdot \text{м}$ .

Расчет дает:  $t \approx 57,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}$ .

*Ответ:* 57,5 мкс.

**С5.** Сила тока в катушке уменьшилась с 12 до 8 А. При этом энергия магнитного поля катушки уменьшилась на 2,0 Дж. Какова индуктивность катушки? Какова энергия ее магнитного поля в обоих случаях?

*Решение.* Энергия магнитного поля катушки определяется по формуле

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Следовательно, для двух наших случаев можем записать:

$$W_1 = \frac{LI_1^2}{2}.$$

$$W_2 = \frac{LI_2^2}{2}.$$

Тогда индуктивность катушки определится следующим образом:

$$L = \frac{2(W_1 - W_2)}{I_1^2 - I_2^2} = 0,05 \text{ Гн}.$$

*Ответ:* 0,05 Гн.

**С6.** Позитронием называется образование из электрона и позитрона, обращавшихся вокруг их общего центра масс. Определите расстояние между частицами и энергию позитрония в основном состоянии.

*Решение.* Запишем уравнение движения частицы:

$$\frac{ke^2}{4r^2} = \frac{mv^2}{r}.$$

Условие квантования орбит:

$$mvr = \frac{h}{2\pi}$$

дает скорость вращения по орбите:

$$v = \frac{h}{2\pi mr}$$

Тогда получим расстояние:

$$r = \frac{h^2}{k\pi^2 me^2} = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Энергию посчитаем следующим образом:

$$W = -\frac{ke^2}{2r} + \frac{2 \cdot mv^2}{2} = -\frac{ke^2}{2r} + \frac{ke^2}{r} = \frac{ke^2}{2r} = 5,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Ответ:  $r = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ,  $W = 5,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

## Решение варианта №15

### Часть 1

**A7.** Ученик исследовал зависимость силы упругости пружины от ее деформации и полученные результаты внес в таблицу:

Сила упругости, $F$ , Н	0	0,5	1	1,5	2	2,5
Деформация пружины, $x$ , м	0	0,02	0,04	0,06	0,06	0,1

Определите потенциальную энергию пружины при ее растяжении на 5 см.

- 1) 312 Дж                      2) 1 Дж                      3) 0,03 Дж                      4) 0,062 Дж

**Решение.** Значение потенциальной энергии пружины определяется по формуле:

$$E = \frac{kx^2}{2}.$$

Жесткость пружины находим из закона Гука:  $F = kx$ ,  $k = \frac{F}{x}$ . Значения

$F$  и  $x$  выбираем из таблицы. Получаем:

$$k = 25 \text{ Н/м, } = 0,03 \text{ Дж.}$$

Ответ: 3.

**A12.** Определите плотность воздуха при нормальных условиях, считая молярную массу воздуха равной 29 г/моль.

- 1)  $12,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$                       2)  $0,128 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$                       3)  $1,28 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$                       4)  $0,0128 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

**Решение.** Нормальные условия даны в справочных материалах: давление  $10^5$  Па, температура 273 К. Согласно уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

$$\frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}.$$

Плотность вещества по определению:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{pM}{RT}.$$

Подставляя численные значения, получаем:  $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

**Ответ:** 3.

**A19.** В колебательном контуре радиоприемника сила тока меняется по синусоидальному закону:  $I = 0,12 \sin(4 \cdot 10^5 \pi t)$ . Индуктивность катушки равна 20 мГн. Определите емкость конденсатора.

- 1) 31 пФ                      2) 317 нФ                      3) 49,6 нФ                      4) 49,6 мкФ

**Решение.** Емкость конденсатора можно определить с помощью формулы Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad C = \frac{T^2}{4\pi^2 L}.$$

Значение периода колебаний из формулы взаимосвязи периода и циклической частоты:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Из уравнения колебаний силы тока видно, что циклическая частота

$$\omega = 4 \cdot 10^5 \pi \text{ Гц}.$$

Подставляя численные значения в формулы периода и емкости, получаем в итоге:  $C = 31$  пФ.

**Ответ:** 1.

**A23.** Период полураспада радиоактивного изотопа равен 2 месяцам. За какое время число ядер этого изотопа уменьшится в 16 раз?

- 1) 4 месяца                      2) 16 месяцев                      3) 2 месяца                      4) 8 месяцев

**Решение.** Число ядер уменьшается в 16 раз за время, равное 4 периодам полураспада:

$$16 = 2^4.$$

4 периода полураспада составят 8 месяцев.

**Ответ:** 4.

**A25.** Ученице дано задание исследовать зависимость количества теплоты, необходимого для нагревания тела, от рода вещества (см. рис. 84). Какой набор металлических цилиндров ей нужно выбрать?

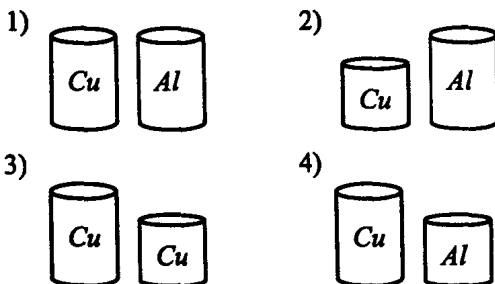


Рис. 84.

1) 1

2) 2

3) 3

4) 4

**Решение.** Для определения зависимости количества теплоты от рода вещества необходимо выбрать цилиндры одинаковой массы, изготовленные из разного вещества.

**Ответ:** 2.

## Часть 2

**B3.** С балкона высотой 5 м бросают мяч массой 200 г со скоростью, направленной под углом  $60^\circ$  к горизонту и равной 2 м/с. Чему равна кинетическая энергия мяча в момент удара о землю?

**Решение.** По закону сохранения энергии:

$$mgh + \frac{mv^2}{2} = E_k.$$

Подставляя численные значения, получаем  $E_k = 10,4$  Дж. Значение угла, под которым был брошен мяч, является «лишним данным».

**Ответ:** 10,4.

**B4.** В закрытом сосуде находится идеальный одноатомный газ, молекулы которого имеют среднюю кинетическую энергию  $8 \cdot 10^{-21}$  Дж. Определите концентрацию молекул газа, если он находится в сосуде под давлением 0,4 МПа. Ответ умножьте на  $10^{24}$ .

**Решение.** По основному уравнению МКТ идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v^2.$$

Выражение для средней кинетической энергии молекулы имеет вид:

$$E_k = \frac{m_0 v^2}{2}.$$

Решая совместно эти уравнения, получаем:

$$p = \frac{2}{3} n E_k, \quad n = \frac{3p}{2E_k}.$$

Подставляя численные значения, находим:  $n = 75 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$ .

*Ответ:* 75.

**В5.** Проводники с сопротивлениями 10 Ом и 4 Ом соединены последовательно. Какова мощность тока в проводнике с сопротивлением 4 Ом, если напряжение на концах первого проводника равно 15 В?

*Решение.* По закону Ома для участка цепи:

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

При последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова. Мощность тока можно определить по формуле:

$$P = I^2 R.$$

Подставляя численные значения, получаем значение мощности:

$$p = 9 \text{ Вт}.$$

*Ответ:* 9.

### Часть 3

**С1.** Героям сказки «Волшебник Изумрудного города» при входе в город надевали очки с зелеными стеклами, и им «всё, что находилось в городе, казалось зеленым». Какие цвета на самом деле должны были увидеть посетители Изумрудного города? Ответ поясните.

*Решение.* Черный и зеленый. Зеленые стекла пропускают лучи только зеленого цвета. Предметы, имеющие другие цвета, отражают только лучи своего цвета, поэтому в зеленых очках они покажутся черными. Белые предметы отражают все цвета спектра, поэтому они будут казаться зелеными.

**С2.** Сколько времени длятся сутки на планете, если на экваторе все тела невесомы? Плотность вещества планеты  $6670 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

*Решение.* Условием невесомости является равенство центростремительного ускорения ускорению свободного падения на поверхности планеты:

$$a = \frac{v^2}{R}, \quad g = \frac{GM}{R^2}.$$

Линейная скорость точек на экваторе связана с периодом вращения планеты по формуле:

$$v = \frac{2\pi R}{T}.$$

Массу планеты выражаем через объем, а объем планеты принимаем за объем шара:

$$m = \rho V, \quad V = \frac{4}{3}\pi R^3.$$

После алгебраических преобразований формул получаем выражение для периода вращения планеты (это и есть длительность суток):

$$T = \frac{3\pi}{(\rho G)^{1/2}}.$$

Подставляя численные значения, получаем:

$$T = 1412 \text{ с, или } T = 23,5 \text{ мин.}$$

*Ответ:* 23,5 мин.

**С3.** В цилиндре под поршнем, который может скользить без трения, находится кислород. Сосуд с газом нагревают таким образом, что его абсолютная температура и объем увеличились в 1,5 раза. В ходе опыта обнаружилось, что поршень имел небольшую трещину и кислород просачивался через нее так, что давление под поршнем не изменилось. Как при этом изменилась внутренняя энергия кислорода?

*Решение.* Внутренняя энергия идеального газа пропорциональна его температуре и количеству вещества:

$$U = \frac{3}{2}\nu RT.$$

По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT.$$

Следовательно, внутренняя энергия газа пропорциональна  $pV$ , а так как это произведение увеличилось в 1,5 раза, то и внутренняя энергия увеличилась в 1,5 раза.

*Ответ:* увеличилась в 1,5 раза.

**С4.** Проволочная рамка, имеющая сопротивление 8 Ом, ограничивает площадь  $20 \text{ м}^2$ . Рамку медленно поворачивают вокруг оси, перпендикулярной вектору магнитной индукции, так, что проекция этого вектора меняется от  $-5 \text{ мТл}$  до  $5 \text{ мТл}$ . Какой заряд протечет по рамке во время ее поворота вокруг оси?

**Решение.** По закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

По определению магнитного потока:

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

по закону Ома:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R}$ , по определению силы тока:  $I = \frac{q}{\Delta t}$ .

Решая совместно эти уравнения, получаем:

$$q = \frac{\Delta S}{R}.$$

Переводя в систему СИ:  $20 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ,  $5 \text{ мТл} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$  и подставляя численные значения, получаем:  $q = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 2,5 \text{ мкКл}$ .

**Ответ:** 2,5 мкКл.

**С5.** В пасмурную погоду, когда солнечный свет полностью рассеивают облака, на плоту длиной 3 м и шириной 2 м рыбак ловит рыбу. Тень от плота имеет форму пирамиды, так как рассеянный свет равномерно со всех сторон освещает плот. Какова глубина тени, если показатель преломления воды равен 1,33?

**Решение.** По закону преломления света:

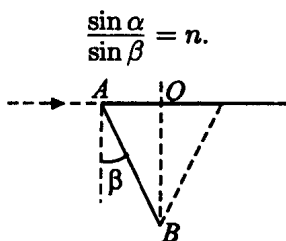


Рис. 85.

Так как  $\sin \alpha = 1$ , то  $\sin \beta = \frac{1}{n}$ .

Согласно рисунку 85 глубина тени  $OB$  может быть найдена из прямоугольного треугольника  $OAB$ :  $OB = OA \operatorname{tg} \beta$ . По правилам тригонометрии можно заменить  $\operatorname{ctg} \beta$  через  $\sin \beta$ :

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}}{\sin \beta}.$$

Расстояние  $OA$  равно половине наименьшей стороны плота:  $OA = 1 \text{ м}$ . Проведя математические вычисления, получаем:  $OB = 0,88 \text{ м} = 88 \text{ см}$ .

**Ответ:** 88 см.

**С6.** В микроволновую печь кладут литровый пакет с молоком, чтобы разогреть его от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . Печь дает электромагнитное излучение с длиной волны  $3,4 \cdot 10^{-7}$  м и за 1 с испускает примерно  $10^{21}$  фотонов. Сколько времени будет длиться нагревание молока, если считать, что излучение полностью поглощается молоком, его удельную теплоемкость принять равной удельной теплоемкости воды, теплоемкостью пакета можно пренебречь? Плотность молока равна  $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

*Решение.* По закону сохранения энергии количество теплоты, необходимое для нагревания молока, будет равно общей энергии фотонов, испущенных за время  $t$ :

$$Q = E, \quad Q = cm\Delta t, \quad E = h\nu Nt.$$

Массу молока находим через плотность и объем:  $m = \rho V$ , частоту излучения — через скорость света и длину волны:  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ .

После алгебраических преобразований формул получаем:

$$t = \frac{c\rho V \Delta t \lambda}{hcN}.$$

Переводя  $1 \text{ л} = 0,001 \text{ м}^3$  и подставляя численные значения, получаем:  
 $t = 148,6 \text{ с} = 2,5 \text{ мин.}$

*Ответ:* 2,5 мин.

## Решение варианта №16

### Часть 1

**A7.** Девочка везет санки массой  $m$  за веревочку, как показано на рисунке 86. Коэффициент трения между санками и снегом равен  $\mu$ . Чему равен модуль силы трения?



Рис. 86.

- 1)  $\mu mg$     2)  $\mu F \cos \alpha$     3)  $\mu(mg - F \sin \alpha)$     4)  $\mu(mg - F \cos \alpha)$

*Решение.* По определению силы трения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

так как приложенная к санкам сила направлена под углом к горизонту, то реакция опоры уменьшается на величину  $F \sin \alpha$ :



$$N = mg - F \sin \alpha.$$

Получаем выражение для силы трения:

$$F_{\text{тр}} = \mu(mg - F \sin \alpha).$$

Ответ: 3.

**A12.** В изобарном процессе одноатомный газ получил некоторое количество теплоты  $Q$ . Какая часть из этого количества теплоты пошла на совершение работы газа?

- 1) 20%                      2) 40%                      3) 60%                      4) 100%

Решение. По 1-му закону термодинамики:

$$Q = \Delta U + A.$$

В изобарном процессе работу можно рассчитать по формуле:

$$A = \nu RT.$$

Изменение внутренней энергии определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu RT.$$

Следовательно, количество теплоты можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{5}{2} \nu RT = \frac{5}{2} A,$$

$$A = \frac{2}{5} Q = 0,4Q.$$

Ответ: 2.

**A19.** В антенне радиопередатчика сила тока меняется по закону косинуса:  $I = 0,15 \cos(4 \cdot 10^5 \pi t)$  (мА). Найдите длину излучаемой волны.

- 1) 3 км                      2) 3 м                      3) 1,5 км                      4) 1,5 м

Решение. По формуле взаимосвязи длины волны и частоты:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}.$$

Частоту можно определить через циклическую частоту, которая равна  $4 \cdot 10^5 \pi$  Гц, как видно из уравнения силы тока:

$$\omega = 2\pi\nu.$$

Проведя необходимые вычисления, получаем:  $\lambda = 1500 \text{ м} = 1,5 \text{ км}$ .

Ответ: 3.

**A23.** Работа выхода электронов для вещества равна 1,5 эВ. При освещении монохроматическим светом данного вещества максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов 3,5 эВ. Какова частота падающего света?

- 1)  $1,2 \cdot 10^{15}$  Гц      2)  $6,6 \cdot 10^{15}$  Гц  
 3)  $6,6 \cdot 10^{-34}$  Гц      4)  $4,8 \cdot 10^{-34}$  Гц

**Решение.** По уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + E_k,$$

$$\nu = \frac{A + E_k}{h}.$$

Переводим в систему СИ: эВ =  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. Проводя необходимые вычисления, получаем:  $\nu = 1,2 \cdot 10^{15}$  Гц.

**Ответ:** 1.

**A25.** В трех закрытых пробирках находятся различные жидкости одинаковой массы. Их начинают нагревать с одинаковой скоростью подачи тепла. Изменения температур жидкостей с течением времени показаны на графике (см. рис. 87). У какой из жидкостей самая большая удельная теплоемкость?

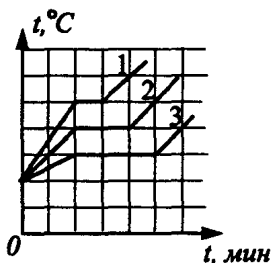


Рис. 87.

- 1) 1      2) 2      3) 3      4) одинакова у всех трех

**Решение.** По формуле для расчета количества теплоты, необходимого для нагревания тела:

$$Q = cm\Delta t, \quad c = \frac{Q}{m\Delta t}.$$

Так как скорость подачи тепла одинакова для всех тел, то одинаковым будет и количество теплоты. Удельная теплоемкость обратно пропорциональна разности температур. По графику видно, что минимальная разность температур у третьего тела, следовательно, его удельная теплоемкость наибольшая.

**Ответ:** 3.

## Часть 2

**В3.** На соревнованиях по метанию диска спортсмен бросает его под углом  $45^\circ$  к горизонту. На какую максимальную высоту поднимется диск, если через 2 с его скорость будет направлена горизонтально?

*Решение.* Максимальную высоту поднятия диска можно определить по формуле:

$$y = v_{oy}t - \frac{gt^2}{2}.$$

Начальную проекцию скорости на ось  $Oy$  определяем по формуле:

$$v_y = v_{oy} - gt.$$

Скорость направлена горизонтально в верхней точке траектории, где  $v_y = 0$ . Решая уравнения совместно и подставляя значение времени 2 с, получаем  $y = 20$  м.

*Ответ:* 20.

**В4.** В калориметр положили 500 г льда при температуре  $-10^\circ\text{C}$ , а затем малыми порциями добавляют воду при  $0^\circ\text{C}$ . Какова масса добавленной воды, если в конце процесса температура в калориметре стала равна  $0^\circ\text{C}$ ? Ответ запишите в граммах и округлите до целых.

*Решение.* По уравнению теплового баланса количество теплоты, необходимое для нагревания льда до  $0^\circ\text{C}$ , равно количеству теплоты, отданному при кристаллизации воды:

$$cm\Delta t = \lambda m_{\text{в}}.$$

Выражаем массу воды:

$$m_{\text{в}} = \frac{cm\Delta t}{\lambda}.$$

Переведя численные данные в СИ и проведя вычисления, получаем:  $m_{\text{в}} = 0,0318 \text{ кг} = 32 \text{ г}$ .

*Ответ:* 32.

**В5.** Электрическая цепь состоит из источника тока с ЭДС 12 В и резистора сопротивлением 5 Ом. Определите работу сторонних сил источника тока за полминуты, если внутреннее сопротивление источника тока равно 1 Ом.

*Решение.* По закону Ома для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{(R + r)},$$

по определению силы тока:

$$I = \frac{q}{\Delta t}, \quad q = I \Delta t,$$

по определению ЭДС:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}, \quad A_{\text{ст}} = \mathcal{E} q.$$

Решая совместно эти уравнения, получаем:

$$A_{\text{ст}} = \frac{\mathcal{E}^2 t}{(R + r)}.$$

Подставляя численные значения, получаем:  $A_{\text{ст}} = 720$  Дж.

Ответ: 720.

### Часть 3

**C1.** На белую хлопчатобумажную ткань попала капля воды. Почему мокрое пятно нам кажется более темным, чем остальная скатерть?

*Решение.* Свет, падая на поверхность мокрого пятна, отражается не полностью, а частично проходит вглубь ткани, преломляясь в воде. Так как количество отраженного света уменьшилось, то пятно кажется темнее, чем соседние участки ткани белого цвета.

**C2.** Кирпич падает с высоты 2 м. На половине пути в него попадает горизонтально летящий кусок пластилина, имеющий массу в 10 раз меньшую, чем масса кирпича, и мгновенно к нему прилипает. Скорость пластилина перед ударом равна 1 м/с. Найдите модуль скорости кирпича в момент удара о землю.

*Решение.* По закону сохранения импульса векторная сумма импульсов тел не меняется. Так как векторы направлены перпендикулярно друг другу, то суммарный импульс находим по теореме Пифагора:

$$(mv)^2 + (MU)^2 = (m + M)^2 V^2.$$

Скорость кирпича перед ударом  $U$  находим из закона сохранения энергии:

$$Mgh = \frac{MU^2}{2}, \quad U = \sqrt{2gh}, \quad h = 1 \text{ м.}$$

По закону сохранения энергии:

$$\frac{(m + M)V^2}{2} + (m + M)gh = \frac{(m + M)V_{\text{к}}^2}{2}.$$

Учитывая, что  $M = 10m$ ,  $h = 1$  м, и проведя алгебраические преобразования, получаем:

$$V_{\text{к}} = \frac{(v^2 + 221gh)^{1/2}}{11}, \quad H = 2 \text{ м.}$$

Подставляя численные значения, находим:  $V_K = 6 \text{ м/с}$ .

Ответ: 6 м/с.

**С3.** Определите плотность смеси из равных масс гелия и азота при давлении 0,5 атм и температуре 300 К. Молярная масса гелия 4 г/моль, молярная масса азота 28 г/моль.

*Решение.* По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT.$$

Количество вещества смеси будет равно:

$$\nu = \frac{m_a}{M_a} + \frac{m_r}{M_r}.$$

Так как массы газов одинаковы, то можно вынести за скобки  $m$  и записать:

$$pV = \frac{m \left( \frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_r} \right)}{RT}.$$

Для смеси газов плотность равна:

$$\rho = \frac{2m}{V}.$$

Решая эти уравнения совместно, получаем:

$$\rho = \frac{2p \left( \frac{1}{M_a} + \frac{1}{M_r} \right)}{RT}.$$

Переводим в систему СИ:

$$0,5 \text{ атм} = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad 4 \text{ г/моль} = 0,004 \text{ кг/моль},$$

$$28 \text{ г/моль} = 0,028 \text{ кг/моль}.$$

Подставляя численные значения в формулу плотности, получаем:

$$\rho = 0,14 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответ:  $0,14 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

**С4.** Три одинаковых шарика массой по 10 г удерживают в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см. Шарик имеет одинаковый заряд по 1 мкКл. Определите скорости шариков через большой промежуток времени после того, как их перестанут удерживать.

*Решение.* По закону сохранения и превращения энергии потенциальная энергия взаимодействия шариков через большой промежуток времени превратится в их кинетическую энергию:

$$\frac{3kq^2}{R} = \frac{3mv^2}{2}.$$

Выражаем из этой формулы скорость:

$$v = \left( \frac{2kq^2}{Rm} \right)^{1/2}.$$

Переводя в систему СИ:  $10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг}$ ,  $10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$ ,  $1 \text{ мкКл} = 10^{-6} \text{ Кл}$  и подставляя численные значения, получаем:  $v = 4,24 \text{ м/с}$ .

Ответ:  $4,24 \text{ м/с}$ .

**С5.** Высота пламени свечи  $3 \text{ см}$ . Линза дает на экране изображение этого пламени высотой  $9 \text{ см}$ . Свечу отодвигают от линзы на  $1,5 \text{ см}$ , а затем для получения резкого изображения передвигают экран и получают изображение пламени высотой  $6 \text{ см}$ . Определите оптическую силу линзы.

Решение. По определению увеличения линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

В первом случае  $\Gamma = 3$ , во втором случае  $\Gamma = 2$ .  $f_1 = 3d_1$ ,  $f_2 = 2d_2$ . По формуле тонкой линзы:

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = D,$$

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{3d_1} = D,$$

$$\frac{1}{(d_1 + 0,015)} + \frac{1}{2(d_1 + 0,015)} = D.$$

После совместного решения уравнений получаем:  $D = 0,11 \text{ дптр}$ .

Ответ:  $0,11 \text{ дптр}$ .

**С6.** Серебряный шарик радиусом  $2 \text{ см}$  освещают ультрафиолетовым светом с длиной волны  $200 \text{ нм}$ . Благодаря явлению фотоэффекта на шарике появляется электрический заряд. Определите максимальный заряд шарика, если работа выхода электрона для серебра равна  $4,3 \text{ эВ}$ .

Решение. Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + E_k.$$

Частоту выражаем через длину волны и скорость света:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Кинетическую энергию электронов можно определить через запирающий потенциал:

$$E_k = e\varphi, \quad \varphi = \frac{kq}{R}.$$

После совместного решения уравнений получаем выражение для заряда:

$$q = \frac{\left(\frac{hc}{\lambda} - A\right)R}{ek}.$$

Переводя в систему СИ:  $2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$ ,  $200 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ,  $4,3 \text{ эВ} = 6,88 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ . Подставляя численные значения, получаем:

$$q = 0,42 \cdot 10^{-11} \text{ Кл} = 4,2 \text{ пКл}.$$

Ответ: 4,2 пКл.

## Решение варианта №17

### Часть 1

**A7.** Пластилиновый шар массой  $100 \text{ г}$  со скоростью  $3 \text{ м/с}$  налетает на неподвижный шар массой  $0,2 \text{ кг}$ , висящий на нити. Какова полная механическая энергия возникших колебаний?

- 1)  $0,15 \text{ Дж}$                       2)  $1 \text{ Дж}$                       3)  $0,3 \text{ Дж}$                       4)  $0,2 \text{ Дж}$

Решение. По закону сохранения импульса:

$$mv = (m + M)V, \quad V = \frac{mv}{m + M}.$$

Полная механическая энергия возникших колебаний численно равна максимальной кинетической энергии шаров после удара:

$$E_k = \frac{(m + M)V^2}{2}.$$

Переводя в систему СИ  $100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$  и проводя вычисления, получаем:

$$E_k = 0,15 \text{ Дж}.$$

Ответ: 1.

**A12.** Сосуд с азотом при нормальных условиях движется со скоростью  $38,6 \text{ м/с}$ . Как изменится температура азота при внезапной остановке сосуда? Удельная теплоемкость азота при постоянном объеме равна  $745 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

- 1) увеличится на  $1 \text{ К}$                       2) уменьшится на  $1 \text{ К}$   
3) не изменится                      4) увеличится на  $2 \text{ К}$

**Решение.** По закону сохранения и превращения энергии кинетическая энергия сосуда с азотом превратится в количество теплоты, которое нагреет азот:

$$E_k = Q,$$

$$\frac{mv^2}{2} = cm\Delta t,$$

$$\Delta t = \frac{v^2}{2c}.$$

Подставляя численные значения, получаем:  $\Delta t = 0,99 \approx 1$  К.

**Ответ:** 1.

**A19.** Квадратную рамку стороной 10 см, находящуюся в магнитном поле индукцией 50 мТл, поворачивают вокруг оси  $Ox$  на угол  $90^\circ$  так, как показано на рисунке 88. Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке, если время поворота составило 0,1 с.

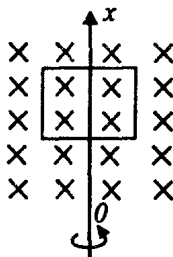


Рис. 88.

1) 50 мВ

2) 5 мВ

3) 500 мВ

4) 0,5 мВ

**Решение.** По закону электромагнитной индукции:

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

По определению магнитного потока:

$$\Delta\Phi = \Delta(S \cos \alpha), \quad S = a^2.$$

При повороте на  $90^\circ$  магнитный поток меняется за счет изменения  $\cos \alpha$  от 1 до 0. Поэтому:

$$\mathcal{E} = \frac{Ba^2}{\Delta t}.$$

Переводя в систему СИ  $10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$  и  $50 \text{ мТл} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$  и подставляя эти значения в формулу, получаем:  $\mathcal{E} = 5 \text{ мВ}$ .

**Ответ:** 2.



**A23.** При переходе атома из возбужденного состояния в основное атом приобрел импульс  $2 \cdot 10^{-26} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . Какова энергия кванта излучения?

- 1)  $1,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$       2)  $6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$   
 3)  $2 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$       4)  $2 \cdot 10^{-26} \text{ Дж}$

**Решение.** По закону сохранения импульса импульс атома численно равен импульсу фотона:

$$p = \frac{h\nu}{c}.$$

По формуле Планка:

$$E = h\nu.$$

После алгебраических преобразований получаем:

$$E = pc.$$

Подставляя значение импульса и скорости света, находим:

$$E = 6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}.$$

**Ответ:** 2.

**A25.** На лабораторной работе ученик исследовал зависимость силы тока в проводнике от напряжения, приложенного к его концам. Какая из приведенных ниже электрических схем будет соответствовать цели эксперимента (см. рис. 89)?

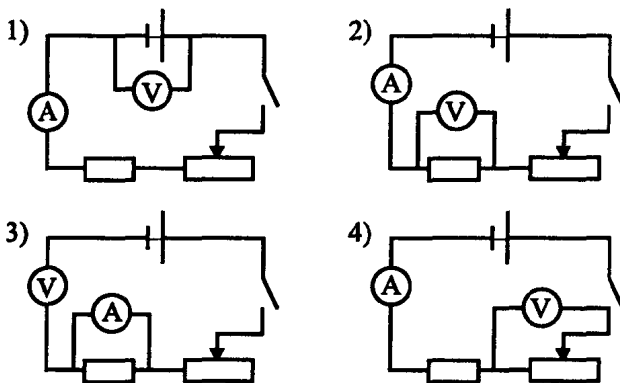


Рис. 89.

- 1) 1      2) 2      3) 3      4) 4

**Решение.** Для исследования зависимости силы тока в проводнике от напряжения, приложенного к его концам, в электрической схеме вольтметр

должен быть подключен параллельно резистору, а амперметр — последовательно.

*Ответ:* 2.

## Часть 2

**В3.** Пуля, летящая со скоростью 100 м/с, пробивает доску толщиной 2 см и движется дальше со скоростью в 2,5 раза меньше начальной. Какова сила сопротивления доски, если масса пули 8 г? Ответ запишите в кН и округлите до десятых.

*Решение.* По теореме о кинетической энергии работа сил сопротивления равна:

$$\begin{aligned} -FS &= \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}, \\ F &= \frac{\left(\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\right)}{S}. \end{aligned}$$

Переводя в систему СИ 2 см = 0,02 м, 8 г =  $8 \cdot 10^{-3}$  кг, учитывая, что  $v = 40$  м/с и подставляя численные значения, получаем:  $F = 1,7$  кН.

*Ответ:* 1,7.

**В4.** В сосуде под поршнем находится азот массой 280 г при температуре 300 К. Какую работу совершает газ, если при нагревании сосуда его объем увеличивается вдвое? Ответ округлите до целых.

*Решение.* Так как газ находится в сосуде под поршнем, то процесс, протекающий в газе, будет изобарным. Поэтому работу можно рассчитать по формуле:

$$A = \nu RT, \quad \nu = \frac{m_a}{M_a}.$$

В изобарном процессе при увеличении объема вдвое температура тоже увеличится вдвое и станет равна 600 К. Переводя в систему СИ 280 г = 0,28 кг и учитывая, что  $M_a = 0,028$  кг/моль, получаем:  $A = 25$  кДж.

*Ответ:* 25.

**В5.** Определите длину волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью 4 Мм/с. Ответ округлите до десятых.

*Решение.* Длина волны де Бройля определяется по формуле:

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

$$\lambda = \frac{h}{mv}.$$

Подставляя значение постоянной Планка, массы электрона и переводя в систему СИ  $4 \text{ Мм/с} = 4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ , получаем:  $\lambda = 0,2 \text{ нм}$ .

Ответ: 0,2.

### Часть 3

С1. Планета движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце, как показано на рисунке 90. В какой точке траектории планеты ее скорость будет максимальной и в какой — минимальной? Ответ поясните.

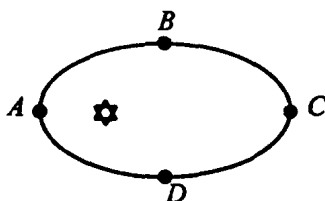


Рис. 90.

Решение. Максимальная скорость в точке А, минимальная — в точке С. При движении по кривой в поле тяготения линейная скорость обратно пропорциональна радиусу кривизны траектории:  $v = \left(\frac{GM}{R}\right)^{-1/2}$ .

С2. Грузы массами  $m_1 = 3 \text{ кг}$  и  $m_2 = 5 \text{ кг}$  подвешены с помощью системы невесомых блоков и невесомой нити, как показано на рисунке 91. Определите ускорение, с которым движется первый груз.

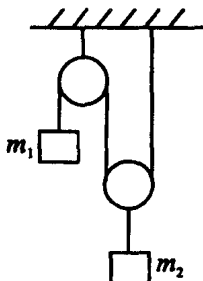


Рис. 91.

**Решение.** По второму закону Ньютона для первого груза:

$$m_1g - T = m_1a,$$

для второго груза:

$$m_2g - 2T = -\frac{1}{2}m_2a.$$

Ускорение первого груза в 2 раза больше, чем второго, так как второй груз подвешен на подвижном блоке. Натяжение нити для 2-го груза равно  $2T$ , так как он висит на двух нитях. Решая совместно систему уравнений, получаем:

$$a = \frac{2m_1g - m_2g}{2m_1 + \frac{1}{2}m_2}.$$

Подставляя численные значения, находим  $a = 1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

**Ответ:**  $1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

**С3.** В горизонтально расположенном цилиндре находится 2 моль гелия, закрытого поршнем, который удерживается упором и может скользить только в сторону сжатия газа. По поршню ударяют молотком с силой 640 Н. На какое расстояние сместится поршень, если температура гелия к моменту его остановки возрастает на 3,2 К? Считать, что за время движения поршня гелий не успевает обменяться теплом с сосудом и поршнем. Атмосферное давление не учитывать.

**Решение.** По закону сохранения и превращения энергии работа, совершенная над поршнем, будет равна увеличению внутренней энергии газа:

$$A = \Delta U,$$

$$FS = \frac{3}{2}\nu R\Delta T.$$

$$S = \frac{3\nu R\Delta T}{2F}.$$

Подставляя численные значения, получаем:  $S = 0,12 \text{ м} = 12 \text{ см}$ .

**Ответ:** 12 см.

**С4.** Медный проводник сечением  $10 \text{ мм}^2$  подвешен на тонких проводах в однородном вертикальном магнитном поле (см. рис. 92). При пропускании через проводник тока 0,4 А он отклоняется на угол  $30^\circ$  от вертикали. Определите индукцию магнитного поля.

**Решение.** По условию равновесия:

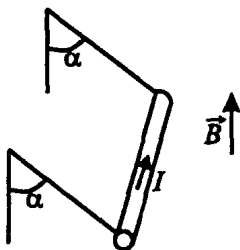


Рис. 92.

$$T \sin \alpha = BIl, \quad T \cos \alpha = mg.$$

Решая эти уравнения совместно, получаем:

$$B = \frac{mg \operatorname{tg} \alpha}{Il}.$$

Массу проводника находим через плотность и объем, объем проводника равен объему цилиндра:

$$m = \rho V = \rho Sl.$$

Подставляя в выражение для  $B$ , получаем:

$$B = \frac{\rho S g \operatorname{tg} \alpha}{I}.$$

Переводя в систему СИ  $10 \text{ мм}^2 = 10^{-5} \text{ м}^2$  и подставляя численные значения, находим:  $B = 1,3 \text{ Тл}$ .

*Ответ:* 1,3 Тл.

**С5.** Два электрона летят по прямой навстречу друг другу. Когда они находились на расстоянии 1 м друг от друга, их скорости были равны 10 м/с. На какое минимальное расстояние они сблизятся?

*Решение.* По закону сохранения и превращения энергии кинетическая энергия электронов превратится в потенциальную энергию их электростатического взаимодействия:

$$\frac{2mv^2}{2} + \frac{kq^2}{r} = \frac{kq^2}{R},$$

$$R = \frac{kq^2}{mv^2 + \frac{kq^2}{r}}.$$

Подставляя значения массы, заряда электрона и коэффициента  $k$  в законе Кулона, получаем:  $R = 0,72 \text{ м} = 72 \text{ см}$ .

*Ответ:* 72 см.

**С6.** В начальный момент времени атом находился в состоянии с энер-

гией  $E_1 = 5$  эВ. На атом налетает электрон и получает от столкновения дополнительную энергию. При этом атом переходит в состояние с энергией  $E_0 = -8,5$  эВ. Импульс электрона после столкновения с покоящимся атомом оказывается равным  $1,2 \cdot 10^{-24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$ . Испускания света при взаимодействии электрона с атомом не происходит. Определите кинетическую энергию электрона после столкновения.

**Решение.** По закону сохранения импульса импульс электрона численно будет равен импульсу атома, так как атом до столкновения был в состоянии покоя.

По закону сохранения и превращения энергии:

$$E_{\text{к1}} + E_1 = E_{\text{к2}} + E_0,$$

$$E_{\text{к1}} = E_{\text{к2}} + E_0 - E_1.$$

Кинетическую энергию электрона после столкновения можно определить через импульс:

$$E_{\text{к2}} = \frac{mv^2}{2}, \quad p = mv,$$

$$E_{\text{к2}} = \frac{p^2}{2m}.$$

Значения энергии атома в 1-м и 0-м состоянии берем из рисунка:

$$E_1 = -5 \text{ эВ}, \quad E_0 = -8,5 \text{ эВ}, \quad 1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

Подставляя численные значения, получаем:  $E_{\text{к1}} = 2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

**Ответ:**  $2,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

## Решение варианта №18

### Часть 1

**A7.** Материальная точка массой 11 кг движется равномерно по окружности со скоростью 1 м/с. Изменение ее импульса за пять периодов равно...

1)  $11 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

2)  $55 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

3)  $1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

4)  $0 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$

**Решение.** Через пять периодов вектор импульса будет иметь те же величину и направление, что и в начале движения. Следовательно, импульс не изменится.

**Ответ:** 4.

**A12.** На спиртовку поставили стерилизатор с 500 г воды при  $20^{\circ}\text{C}$  и сняли через 30 минут. Сколько воды за это время успело выкипеть, если в спиртовке ежеминутно сгорает 2 г спирта? КПД спиртовки 40%.

- 1) 0,118 г                      2) 0,238 г                      3) 0,159 г                      4) 0,204 г

*Решение.* Запишем уравнение теплового баланса. Оно устанавливает равенство энергии, которое пошло непосредственно на нагревание воды до температуры кипения и последующего испарения.

$$\eta qMt = cm\Delta T + L\Delta m,$$

$$\Delta m = \frac{\eta qMt - cm\Delta T}{L},$$

где

$$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}; \quad q = 29 \text{ МДж/кг}; \quad c = 4,2 \cdot 10^3;$$

$$L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}; \quad \Delta T = 80 \text{ К}.$$

$$\Delta m = 0,230 \text{ кг}.$$

*Ответ:* 2.

**A19.** Тысяча одинаковых наэлектризованных дождевых капель слилась в одну. Во сколько раз увеличилась энергия капли по сравнению с общей энергией тысячи капель?

- 1) в 1000                      2) в 100                      3) в 10                      4) в 33

*Решение.* Энергия одной дождевой капли:

$$W = k \frac{q^2}{r}.$$

Общая энергия капель воды:

$$W_1 = 1000W = 1000 \cdot k \frac{q^2}{r}.$$

Радиус капли после слияния найдем из равенства объемов 1000 капель и объема капли после слияния:

$$\frac{4}{3}\pi R^3 = 1000 \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \Rightarrow R = 10r.$$

Энергия новой капли:

$$W_2 = k \frac{10^6 q^2}{10r},$$

$$\frac{W_2}{W_1} = 100.$$

*Ответ:* 2.

**A23.** Электрон и протон движутся с одинаковыми скоростями. Какая из частиц в этом случае обладает большей длиной волны?

- 1) электрон  
2) протон

- 3) длины волн одинаковы  
4) электроны и протоны нельзя характеризовать длиной волны

*Решение.* Длина волны де Бройля определяется из соотношения:

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

Т.к. масса электрона много меньше массы протона, то электрон обладает большей длиной волны.

*Ответ:* 1.

**A25.** Какова сила притяжения, действующая со стороны незаряженной металлической пластины на отрицательный заряд  $q$ , находящийся на расстоянии  $r$  от пластины?

- 1)  $k \frac{q^2}{4r^2}$                       2)  $k \frac{q^2}{8r^2}$                       3)  $k \frac{q^2}{r^2}$                       4) 0

*Решение.* Взаимодействие отрицательного заряда и незаряженной пластины возникает в результате электризации пластины, заряд которой станет равным по модулю, но противоположным по знаку заряду  $q$ . Взаимодействие заряженной плоскости с отрицательным зарядом  $q$  можно заменить взаимодействием двух точечных противоположных по знаку зарядов, находящихся на расстоянии  $2r$  друг от друга. Тогда по закону Кулона сила взаимодействия плоскости и заряда:

$$F = k \frac{q^2}{4r^2}.$$

*Ответ:* 1.

## Часть 2

**B3.** Для измерения массы тела  $M$  используется однородный стержень массой 2 кг и гири массой 1 кг. Тело неизвестной массы было положено на один конец стержня, гиря — на другой. Опыт показал, что стержень с грузом и гирей находятся в равновесии, если точка опоры находится на расстоянии 25 см от гири и на расстоянии 25 см от взвешиваемого тела. Какова масса тела  $M$ ?

*Решение.* Условие равновесия стержня определяется из условия равенства нулю суммы моментов всех сил относительно оси, проходящей через точку опоры. (В общем случае выбор оси произволен.)

Из условия задачи следует, что длина стержня равна 30 см. Тогда

$$m_r \cdot 25 + m_c \cdot 5 = M \cdot 5 \Rightarrow M = 7 \text{ кг}.$$

*Ответ:* 7.



**В4.** В вершинах (точках 1 и 2) равностороннего треугольника со стороной  $L$  помещены заряды  $q$  и  $-2q$ . Каковы направление и модуль вектора напряженности электрического поля в точке 3, являющейся третьей вершиной этого треугольника? Известно, что точечный заряд  $q$  создает на расстоянии  $L$  электрическое поле напряженностью  $E = 10$  мВ/м.

*Решение.* Сделав рисунок (см. рис. 93), найдем равнодействующую на пруженностей, создаваемой двумя зарядами. Применив теорему косинусов, получим:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \varphi} = \sqrt{E^2 + 4E^2 - 2E \cdot 2E \cos 60^\circ} = 17,3 \text{ мВ/м.}$$

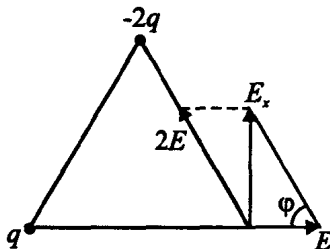


Рис. 93.

*Ответ:* 17,3.

**В5.** Светящаяся точка со скоростью  $0,2$  м/с движется по окружности вокруг главной оптической оси собирающей линзы в плоскости, параллельной плоскости линзы и отстающей от нее на расстояние в  $1,8$  раза больше фокусного расстояния линзы. Какова скорость изображения?

*Решение.* Если источник движется по окружности вокруг главной оптической оси, то изображение также вращается вокруг главной оптической оси с той же угловой скоростью, но по окружности другого радиуса. Поскольку угловая скорость вращения не меняется, то можем записать:

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}.$$

Найдем  $R_2$  из подобия треугольников:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{f}{d}.$$

Воспользуемся формулой для тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Учтем, что  $d = 1,8F$ . Тогда:

$$\frac{1}{f} = \frac{4}{9F}, \quad V_2 = \frac{V_1}{R_1} \cdot R_2 = 0,25 \text{ м/с.}$$

Ответ: 0,25.

### Часть 3

**С1.** Почему климат островов умереннее и ровнее, чем климат материков?

*Решение.* Теплоемкость воды морей и океанов огромна, колебания температуры воздуха в прибрежной полосе смягчаются (выравниваются) поглощением и выделением тепла водой.

**С2.** Небольшая шайба массой  $m = 100$  г соскальзывает по наклонной плоскости, плавно переходя в дугу окружности, плоскость которой вертикальна. Найдите работу сил сопротивления, если точка начала соскальзывания и точка отрыва от окружности расположены на высотах  $H = 2,6$  м и  $h = 0,4$  м над ее центром, как показано на рис 94.

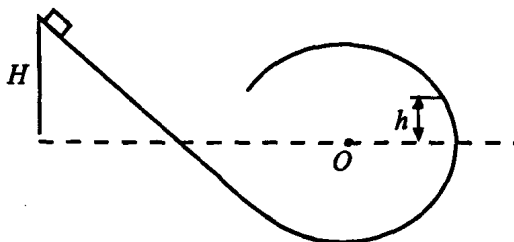


Рис. 94.

*Решение.* Задачу можно решить, воспользовавшись законом изменения механической энергии, считая систему отсчета, относительно которой покоится наклонная плоскость, инерциальной.

$$A = mgH - mgh - m\frac{v^2}{2}.$$

В точке отрыва на шайбу действует центростремительная сила:

$$m\frac{v^2}{2} = mg \sin \alpha.$$

При этом  $r \sin \alpha = h$ , тогда  $m\frac{v^2}{2} = \frac{mgh}{2}$ .

$$A = mgH - mgh - \frac{mgh}{2} = mg\left(H - \frac{3}{2}h\right) = 2 \text{ Дж.}$$

Ответ: 2 Дж.

С3. Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 2 \text{ м}^3$  разделен теплоизолированной перегородкой на две равные части. В одной находится 2 моль He, а в другой — такое же количество моль Ar. Температура гелия  $T_1 = 300 \text{ К}$ , а температура аргона  $T_2 = 600 \text{ К}$ . Определите парциальное давление аргона в сосуде после удаления перегородки.

*Решение.* После удаления перегородки температура газов во всем объеме станет одинаковой и равной  $T$ . Парциальное давление аргона определяется на основании закона Дальтона из уравнения Клапейрона-Менделеева:

$$pV = \nu RT.$$

Температуре системы после удаления перегородки находим из закона сохранения энергии:

$$\frac{3}{2}\nu R(T_1 + T_2) = 2\nu \frac{3}{2}RT.$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}.$$

Получаем:

$$p = \frac{\nu R(T_1 + T_2)}{2V} \Rightarrow p = 3735 \text{ Па}.$$

*Ответ:* 3735 Па.

С4. Точечный заряд  $q = 10 \text{ пКл}$  создает на расстоянии  $R$  электрическое поле с потенциалом  $\varphi_1 = 1 \text{ В}$ . Три концентрические сферы с радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  несут равномерно распределенные по их поверхности заряды  $q_1 = +2q$ ,  $q_2$  и  $q_3 = -2q$  соответственно (см. рис. 95). Значение потенциала в точке А, отстоящей от сферы на расстоянии  $R_A = 2,5R$  от центра сфер,  $\varphi_2 = 2,6$ . Чему равна величина заряда  $q_2$ ?

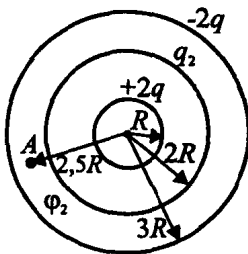


Рис. 95.

*Решение.* Запишем принцип суперпозиции для потенциалов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3,$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  — потенциалы, создаваемые соответствующими сферами. Из условия задачи следует:

$$\varphi_0 = K \frac{q}{R}.$$

Тогда

$$\varphi_2 = K \left( \frac{2q + q_2}{2,5R} + \frac{-2q}{3R} \right) = K \frac{q + 3q_2}{7,5R}; \quad \frac{K}{R} = \frac{\varphi_1}{q}.$$

$$\varphi_2 = q \frac{7,5\varphi_2 - \varphi_1}{3\varphi_1} = 62 \text{ пКл}.$$

Ответ: 62 пКл.

С5. В процессе колебаний в идеальном колебательном контуре в момент времени  $t$  заряд на конденсаторе  $q = 4 \cdot 10^{-9}$  Кл, а сила тока в катушке  $I = 3$  мА. Период колебаний  $T = 6,3 \cdot 10^{-6}$  с. Найдите амплитуду колебаний заряда.

Решение. В идеальном контуре энергия колебаний сохраняется:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{LI^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C}.$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad q_m^2 = q^2 + LC I^2.$$

Окончательно имеем:

$$q_m = \sqrt{q^2 + \frac{I^2 T^2}{4\pi^2}} = 5,0 \text{ нКл}.$$

Ответ: 5,0 нКл.

С6. Сколько электронов покинет металлический шар емкостью  $C$  за счет фотоэффекта, если на него падает свет с длиной волны  $\lambda$  меньше критической, а работа выхода из металла  $A$ ? Заряд электрона  $e$ .

Решение. Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h \frac{c}{\lambda} = A + eU.$$

Заряд шара  $Q = CU$ . Тогда число электронов  $N = \frac{Q}{e}$ . Теперь

$$U = \left( h \frac{c}{\lambda} - A \right) \frac{1}{e}, \quad Q = C \left( h \frac{c}{\lambda} - A \right) \frac{1}{e}.$$

$$N = \left( h \frac{c}{\lambda} - A \right) \frac{C}{e^2}.$$

Ответ:  $\left( h \frac{c}{\lambda} - A \right) \frac{C}{e^2}$ .

## Решение варианта №19

## Часть 1

А7. В момент начала наблюдения расстояние между двумя телами равно 6,9 м. Первое тело движется из состояния покоя с ускорением  $0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Второе движется вслед за ним, имея начальную скорость 2 м/с и ускорение  $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Напишите уравнение  $x = x(t)$  в системе отсчета, в которой при  $t = 0$  координаты тел принимают значения, соответственно равные  $x_1 = 6,9$ ,  $x_2 = 0$ .

1)  $x_1 = 6,9 + 0,1t^2$ ;  $x_2 = 2t + 0,2t^2$

2)  $x_1 = 6,9 + 0,2t^2$ ;  $x_2 = 2t + 0,4t^2$

3)  $x_1 = 0,1t^2$ ;  $x_2 = 0,6 + 2t + 0,2t^2$

4)  $x_1 = 6,9 + 0,4t^2$ ;  $x_2 = 2t + 0,1t^2$

*Решение.* Координата любого движущегося тела меняется по закону:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Применительно к настоящей задаче подставим соответствующие значения в уравнение и получим:

$$x_1 = 6,9 + 0,1t^2;$$

$$x_2 = 2t + 0,2t^2.$$

*Ответ:* 1.

А12. При какой температуре находился газ в закрытом сосуде, если при нагревании его на 140 К давление возросло в 1,5 раза?

1) 7°C

2) 290 К

3) 10°C

4) 300 К

*Решение.* Запишем уравнение Клапейрона-Менделеева для двух состояний газа:

$$p_1 V = \nu R T; \quad p_2 V = \nu R (T + \Delta).$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T}{T + \Delta T}.$$

Находим  $T = 280 \text{ К} = 7^\circ\text{С}$ .

*Ответ:* 1.

А19. Два резистора с сопротивлениями  $R_1 = 16 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 24 \text{ Ом}$ , соединенные последовательно друг с другом, подключены к источнику с ЭДС

12 В и внутренним сопротивлением  $r = 2$  Ом. На сопротивлении  $R_1$  выделяется мощность  $P_1$ , а на сопротивлении  $R_2$  — мощность  $P_2$ . Отношение  $\frac{P_1}{P_2}$  равно...

- 1) 0,67                      2) 0,88                      3) 1,41                      4) 0,35

*Решение.* По цепи идет

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + r}.$$

Мощность:

$$P_1 = I^2 R_1, \quad P_2 = I^2 R_2.$$

Следовательно:

$$\frac{P_1}{P_2} = 0,67.$$

*Ответ:* 1.

**A23.** Максимальная длина волны света, вызывающего фотоэффект с поверхности металлической пластины, равна 0,5 мкм. Если на эту пластину подать задерживающий потенциал, равный 2 В, то фотоэффект начнется при минимальной частоте света, равной...

- 1)  $5 \cdot 10^{14}$  Гц                      2)  $1,1 \cdot 10^{15}$  Гц  
3)  $3,3 \cdot 10^{15}$  Гц                      4)  $2,2 \cdot 10^{15}$  Гц

*Решение.* Из уравнения Эйнштейна найдем эту длину волны:

$$h\nu = h \frac{c}{\lambda_0} + eU.$$

$$\nu = \frac{h \frac{c}{\lambda_0} + eU}{h} = 1,1 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

*Ответ:* 2.

**A25.** Пластилиновый шар, имеющий скорость  $v_0 = 2$  м/с, налетает на такой же шар, расположенный на краю стола, и через 0,5 с шары оказываются на полу. Дальность полета равна...

- 1) ответить нельзя, т.к. неизвестна высота стола  $H$   
2) 1 м  
3) 2 м  
4) 0,5 м

*Решение.* В результате неупругого удара шары приобретут скорость, которую найдем из закона сохранения импульса. Время падения и движения их вперед одно и то же.

$$mv = 2mu \Rightarrow u = \frac{v}{2}.$$

Дальность полета  $L = ut = 0,5$  м.

Ответ: 4.

## Часть 2

**В3.** Два шара массами 1 кг и 2 кг скреплены невесомым стержнем. Центр первого шара отстоит от центра второго шара на расстояние 90 см. На каком расстоянии от центра более легкого шара находится центр тяжести системы?

*Решение.* Центр тяжести системы найдем из условия равновесия системы относительно центра тяжести. Будем считать, что расстояние от 1-го шара до центра масс равно  $x$ . Тогда расстояние от центра второго шара до центра масс равно  $(90 - x)$ . Запишем уравнение равновесия системы:

$$m_1 \cdot x = m_2(90 - x) \Rightarrow x = 60 \text{ см.}$$

Ответ: 60.

**В4.** Плоский конденсатор с пластинами размером  $16 \times 16$  см и расстоянием между ними 4 мм присоединен к полюсам батареи с ЭДС, равной 240 В. В пространство между пластинами с постоянной скоростью 3 мм/с вдвигают стеклянную пластинку толщиной 4 мм. Какой ток пойдет по цепи? Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 7$ .

*Решение.* За время выдвижения диэлектрической пластинки по цепи пройдет заряд:

$$q = (C_2 - C_1)U = \frac{\epsilon_0 S}{d}(\epsilon - 1)U.$$

Время выдвижения  $t = \frac{L}{v}$ . Теперь найдем величину силы тока:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{\epsilon_0 S}{d}(\epsilon - 1)U \frac{v}{L} = 1,52 \text{ нА.}$$

Ответ: 1,52.

**В5.** В рассеивающей линзе построено мнимое, уменьшенное в 5 раз изображение предмета. Если расстояние от предмета до линзы равно 1 м, то ее оптическая сила равна...

*Решение.* Из формулы линзы имеем:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = -\frac{1}{F}.$$

Из условия задачи следует:

$$\frac{d}{f} = \frac{h}{H} = \frac{1}{5}.$$

Оптическая сила рассеивающей линзы:

$$-\frac{1}{F} = D = -4 \text{ дптр.}$$

Ответ:  $-4$ .

### Часть 3

**С1.** Два маленьких шарика с одноименными зарядами подвешены на изолирующих нитях одинаковой длины  $L$  в одной точке. Что произойдет с шариками в условиях невесомости?

*Решение.* В условиях невесомости на шарiki будут действовать только электрические силы отталкивания; шарiki разойдутся на расстояние, равное  $2L$ .

**С2.** Два катера тянут баржу. Скорости катеров  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$ , угол между канатами  $\alpha$ . С какой скоростью движется баржа, если векторы  $\vec{V}_1$  и  $\vec{V}_2$  в данный момент времени направлены вдоль канатов (рис. 96)?

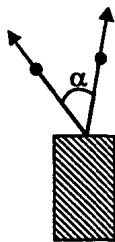


Рис. 96.

*Решение.* Сделаем чертеж к этой задаче (см. рис. 97).

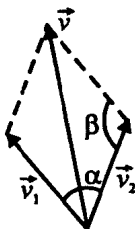


Рис. 97.



По теореме косинусов можем записать:

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha}.$$

Ответ:  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 \cdot v_2 \cdot \cos \alpha}$ .

**С3.** Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 2 \text{ м}^3$  разделен теплоизолированной перегородкой на две равные части. Атомы гелия могут свободно проникать через поры в перегородке, а атомы аргона — нет. В начальный момент в одной части сосуда находится  $\nu_{\text{He}} = 2$  моль гелия, а в другой части  $\nu_{\text{Ar}} = 1$  моль аргона. Температура  $T_{\text{He}} = 300 \text{ К}$ , а температура аргона  $T_{\text{Ar}} = 600 \text{ К}$ . Определите температуру гелия после установившегося равновесия в системе.

**Решение.** Воспользуемся законом сохранения энергии и условием равновесия в системе:

$$\frac{3}{2}R(\nu_{\text{He}} \cdot T_{\text{He}} + \nu_{\text{Ar}} \cdot T_{\text{Ar}}) = (\nu_{\text{He}} + \nu_{\text{Ar}})\frac{3}{2}RT.$$

$$\frac{\nu_{\text{He}} \cdot T_{\text{He}} + \nu_{\text{Ar}} \cdot T_{\text{Ar}}}{\nu_{\text{He}} + \nu_{\text{Ar}}} = 400 \text{ К}.$$

Ответ: 400 К.

**С4.** Точечный заряд  $q$  создает на расстоянии  $R$  электрическое поле напряженностью  $E_1 = 63 \text{ В/м}$ . Три концентрические сферы радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  несут равномерно распределенные по поверхностям заряды  $q_1 = -q$ ,  $q_2 = -q$  и  $q_3 = +q$  соответственно (см. рис. 98). Чему равно значение напряженности поля в точке А, отстоящей от центра сфер на расстоянии  $2,5R$ ?

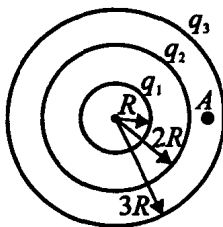


Рис. 98.

**Решение.** Значение напряженности в точке А найдем по следующей формуле:

$$E_A = -\frac{k \cdot 2q}{(2,5R)^2} = -\frac{E_1 \cdot 2}{(2,5)^2} = -20 \text{ В/м}.$$

Ответ:  $-20 \text{ В/м}$ .

С5. Заряженный шарик влетает в область магнитного поля  $B = 0,2$  Тл, имея скорость  $V = 1000$  м/с, перпендикулярную вектору магнитной индукции. Какой путь он пройдет к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ ? Масса шарика  $m = 0,01$  г, заряд  $q = 500$  мкКл.

*Решение.* Движение шарика в магнитном поле описывается уравнением:

$$qvB = \frac{mv^2}{R}.$$

Откуда следует:

$$v = \frac{BqR}{m}.$$

Период движения частицы по окружности находится из соотношения:

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Путь, который пройдет шарик к тому моменту, когда вектор его скорости повернется на  $1^\circ$ :

$$S = v \cdot \frac{T}{360} = \frac{V\pi m}{qB180} = 1,75 \text{ м}.$$

*Ответ:* 1,75 м.

С6. Сколько электронов покинет металлический шар радиусом  $R$  за счет фотоэффекта, если на него падает свет с частотой  $\nu$ , меньше критической, а работа выхода из металла  $A$ ? Заряд электрона  $e$ .

*Решение.* Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта найдем напряжение на металлическом шаре:

$$h\nu = A + eU.$$

Емкость металлического шара  $C = 4\pi\epsilon_0 R$ . Заряд на шаре найдем:

$$Q = CU = 4\pi\epsilon_0 R \cdot \left( \frac{h\nu - A}{e} \right).$$

Теперь число электронов:

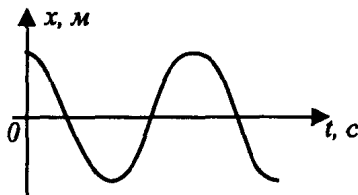
$$N = \frac{Q}{e} = \frac{4\pi\epsilon_0 R}{e^2} (h\nu - A).$$

*Ответ:*  $\frac{4\pi\epsilon_0 R}{e^2} (h\nu - A)$ .

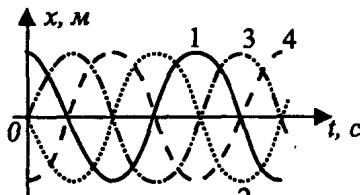
## Решение варианта №20

## Часть 1

А7. На рисунке 99А представлен график некоторого колебания. Какой из графиков на рисунке 99Б представляет колебание, происходящее в противофазе с колебаниями на рисунке 99А?



А



Б

Рис. 99.

- 1) 4                      2) 3                      3) 2                      4) 1

**Решение.** График колебания, происходящего в противофазе к исходному, является симметрично отраженным относительно оси  $Ot$  (времени).

Следовательно, это график 4, что соответствует ответу 1.

**Ответ:** 1.

А12. 10 моль одноатомного идеального газа сначала охладдили, уменьшив давление в 3 раза, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К (см. рис. 100). Какое количество теплоты получил газ на участке 2 – 3?

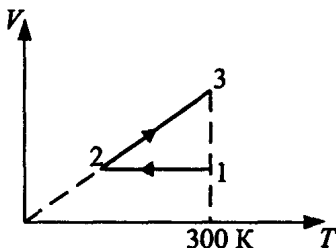


Рис. 100.

- 1) 11500 Дж            2) 72500 Дж            3) 64000 Дж            4) 41550 Дж

**Решение.** 1 – 2 — соответствует изохорному охлаждению:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_2}{p_1} \cdot T_1 = \frac{1}{3} \cdot 300 \text{ К} = 100 \text{ К}.$$

2 – 3 — соответствует изобарному нагреванию:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_3}{T_3}.$$

Количество теплоты:

$$Q_{23} = \Delta U + A = \frac{3}{2}\nu R\Delta T_{23} + p_2\Delta V_{23} \quad (1)$$

в соответствии с I-м законом термодинамики.

Так  $\Delta T_{23} = T_3 - T_2 = T_1 - T_2$ , аналогично

$$p_2\Delta V_{13} = p_2V_3 - p_2V_2. \quad (2).$$

Из уравнения Клапейрона-Менделеева  $p_2V_2 = \nu RT_2$ ,  $p_2V_3 = \nu RT_3$ .

Подставив в (2), получим:

$$p_2\Delta V_{23} = \nu R(T_3 - T_2),$$

подставим в (1):

$$Q_{23} = \nu R(T_3 - T_2)\left(\frac{3}{2} + 1\right) = \frac{5}{2}\nu R(T_1 - T_2).$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \cdot 10 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} (300 \text{ К} - 100 \text{ К}) = 41550 \text{ Дж}.$$

Ответ: 4.

**A19.** Электрическая цепь состоит из источника тока и внешнего резистора. На рисунке 101 показан график зависимости силы тока в цепи от сопротивления резистора. ЭДС источника тока равна...

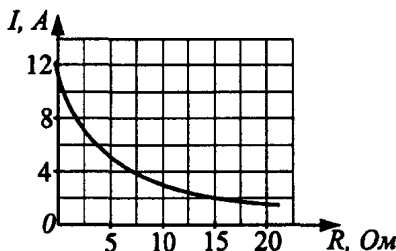


Рис. 101.

1) 15 В

2) 20 В

3) 25 В

4) 30 В

**Решение.** Выпишем отдельные точки графика:

1) для  $R_1 = 2,5 \text{ Ом}$ ,  $I_1 = 6 \text{ А}$ .

2) для  $R_1 = 5 \text{ Ом}$ ,  $I_1 = 4 \text{ А}$ .

По закону Ома для полной цепи:

$$\mathcal{E} = I_1(R_1 + r), \quad (1)$$

или

$$\mathcal{E} = I_2(R_2 + r). \quad (2)$$

Решая эту систему двух уравнений, получим:

$$\mathcal{E} = \frac{R_2 - R_1}{I_1 - I_2} \cdot I_1 \cdot I_2,$$

или

$$\mathcal{E} = \frac{5 \text{ Ом} - 2,5 \text{ Ом}}{6 \text{ А} - 4 \text{ А}} \cdot 6 \text{ А} \cdot 4 \text{ А} = 30 \text{ В}.$$

**Ответ:** 4.

**А23.** На рисунке 102 представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой из отмеченных стрелками переходов между энергетическими уровнями сопровождается поглощением кванта с минимальной длиной волны?

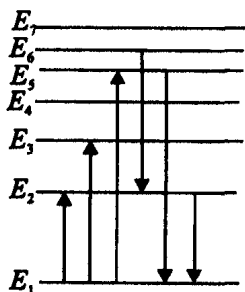


Рис. 102.

- 1) с уровня  $E_1$  на уровень  $E_5$
- 2) с уровня  $E_6$  на уровень  $E_2$
- 3) с уровня  $E_1$  на уровень  $E_2$
- 4) с уровня  $E_2$  на уровень  $E_1$

**Решение.** При поглощении кванта атом переходит из основного состояния в возбужденное, т.е. с низкого на более высокий уровень.

Кванту с минимальной длиной волны соответствует максимальная энергия.

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{2\pi\hbar c}{\lambda}.$$

Следовательно, это переход с  $E_1$  на  $E_5$ .

**Ответ:** 1.

**А25.** При исследовании зависимости заряда на обкладках конденсатора от приложенного напряжения был получен изображенный на рисунке 103 график. Согласно этому графику емкость конденсатора равна...

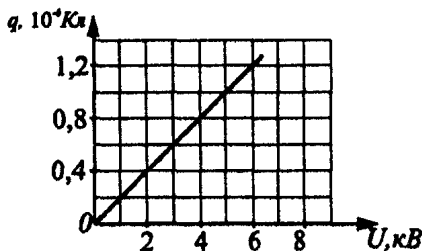


Рис. 103.

1) 200 пФ

2) 200 нФ

3) 200 мкФ

4) 5 Ф

**Решение.** Согласно формуле  $q = CU$  следует, что  $C = \frac{q}{U}$ . Возьмём любую точку графика, например,  $U = 5$  кВ и  $q = 1 \cdot 10^{-6}$  Кл, тогда

$$C = \frac{1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}}{5 \cdot 10^3 \text{ В}} = 0,2 \cdot 10^{-9} \text{ Ф} = 200 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 200 \text{ пФ}.$$

**Ответ:** 1.

### Часть 2

**В3.** На стоящую на гладкой горизонтальной поверхности тележку с некоторой высоты прыгает человек массой 70 кг. Проекция скорости человека на горизонтальное направление перед соприкосновением с тележкой 1,5 м/с. Скорость тележки с человеком после прыжка составила 0,5 м/с. Чему равна масса тележки?

**Решение.** Так как вертикальная составляющая импульса человека передаётся земле, то она гасится, и в этой задаче сохраняется  $x$ -овая составляющая импульса (см. рис. 104):

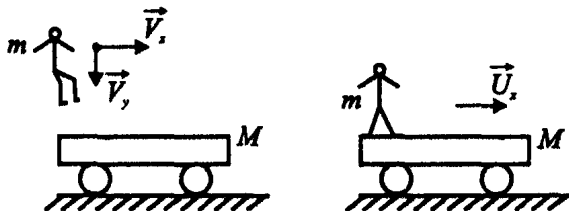


Рис. 104.

$$mV_x = (M + m)U.$$

Решая это уравнение, получим, что

$$M = \frac{V_x - U_x}{U_x} \cdot m.$$

$$M = \frac{1,5 \text{ м/с} - 0,5 \text{ м/с}}{0,5 \text{ м/с}} \cdot 70 \text{ кг} = 140 \text{ кг}.$$

Ответ: 140.

**В4.** В сосуд с водой опущена трубка. По трубке через воду пропускают пар при температуре  $100^\circ\text{C}$ . Вначале масса воды увеличивается, но в некоторый момент масса воды перестает увеличиваться, хотя пар по-прежнему пропускают. Первоначальная масса воды 230 г, а ее первоначальная температура  $0^\circ\text{C}$ . На сколько граммов увеличилась масса воды?

*Решение.* Масса воды перестанет увеличиваться, когда вся вода прогреется до  $100^\circ\text{C}$  и теплообмен с паром прекратится. Вода массой  $m$  получила тепло за счет тепла, отданного паром при его конденсации.

Тепло, отданное паром

$$Q_{\text{отд}} = L \cdot \Delta m,$$

где  $\Delta m$  — масса сконденсированного пара.

Тепло, полученное водой

$$Q_{\text{пол}} = cm \cdot (t - t_0).$$

Так как  $Q_{\text{отд}} = Q_{\text{пол}}$ :

$$cm \cdot (t - t_0) = L \cdot \Delta m,$$

$$\Delta m = \frac{cm \cdot (t - t_0)}{L}.$$

$$\Delta m = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 0,23 \text{ кг} \cdot 100 \text{ К}}{2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 42 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 42 \text{ г}.$$

Р! Ответ: 42.

**В5.** Для определения периода дифракционной решетки на нее направили световой пучок через красный светофильтр, пропускающий лучи с длиной волны 750 нм. Каков период решетки (в мкм), если на экране, отстоящем от решетки на 1 м, расстояние между спектрами первого порядка равно 15 см?

*Решение.* Условие главных максимумов для дифракционной решетки:

$$d \sin \phi = k\lambda.$$

Первый порядок соответствует  $k = \pm 1$ , расстояние между дифракционными линиями, соответствующими  $k = -1$  и  $k = +1$ , по условию равно  $l$  (см. рис. 105).

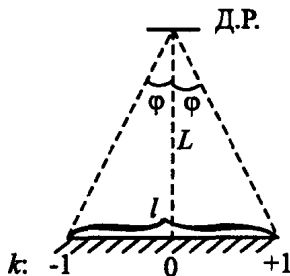


Рис. 105.

Тогда

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{l/2}{L} = \frac{0,075 \text{ м}}{1 \text{ м}} = 0,075 < 0,1,$$

в силу малости значения  $\operatorname{tg} \phi$  можно положить, что  $\operatorname{tg} \phi \approx \sin \phi$ , т.е.

$$d \cdot \frac{l}{2L} = \lambda \Rightarrow d = \frac{2L\lambda}{l}.$$

$$d = \frac{2 \cdot 1 \text{ м} \cdot 750 \cdot 10^{-9} \text{ м}}{15 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 100 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 10 \text{ мкм}.$$

Ответ: 10.

### Часть 3

С1. Принципиальная схема электрической цепи приведена на рисунке 106. Цепь состоит из источника тока с отличным от нуля внутренним сопротивлением, резистора, реостата и идеальных измерительных приборов: амперметра и вольтметра. Используя законы постоянного тока, проанализируйте приведенную схему и выясните, как будут изменяться показания приборов при перемещении движка реостата влево.

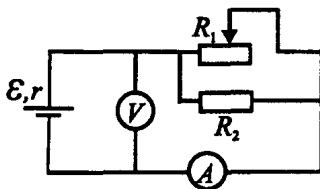


Рис. 106.

**Решение.** Так как амперметр и вольтметр идеальны, то сопротивление амперметра равно 0, а вольтметра — бесконечно большое.



При перемещении движка влево сопротивление реостата уменьшается, соответственно уменьшается и общее сопротивление внешней цепи:

$$\frac{1}{R_{\text{вн}}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1}.$$

В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока, текущего через амперметр  $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{вн}}} + r$ , увеличивается. Показания вольтметра демонстрируют напряжение на зажимах источника, т.е.  $U = R_{\text{вн}} - Ir$ , и т.к.  $I$  увеличивается при перемещении движка реостата влево, то показания вольтметра уменьшаются.

**С2.** Радиус орбиты, по которой движется спутник планеты, равен 9400 км, а его период обращения равен 7 ч 40 мин. Найдите массу планеты.

*Решение.* Сила гравитационного притяжения планеты заставляет вращаться спутник по круговой орбите. Соответственно уравнение динамики вращательного движения будет

$$\frac{mV^2}{r} = G \frac{mM}{r^2}. \quad (1)$$

Период вращения определяется по формуле

$$T = \frac{2\pi r}{V}. \quad (2)$$

Решая эту систему, получим:

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}.$$

$$M = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 9,4^3 \cdot 10^{18} \text{ м}^3}{2,75^2 \cdot 10^8 \text{ с} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}} = 6,47 \cdot 10^{23} \text{ кг}.$$

*Ответ:*  $6,47 \cdot 10^{23} \text{ кг}$ .

**С3.** В цилиндре под подвижным поршнем находится одноатомный идеальный газ. При проведении эксперимента газ расширяли и нагревали так, что его объем увеличился в 6 раз, абсолютная температура повысилась в 1,5 раза, а давление уменьшилось в 2 раза. При проверке опыта выяснилось, что поршень неплотно прилегал к стенкам цилиндра и газ мог просачиваться сквозь зазор. Во сколько раз изменилась внутренняя энергия газа в цилиндре?

*Решение.* Внутренняя энергия идеального газа

$$U = N \frac{mV^2}{2}, \quad (1)$$

где  $N$  — число молекул,  $m$  — масса одной молекулы,  $V$  — средняя квадратичная скорость молекул.

Связь абсолютной температуры и среднеквадратичной скорости:

$$V^2 = \frac{3kT}{m}, \quad (2)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана. Так как  $N = \nu N_A$ , где  $N_A$  — число Авагадро,  $\nu$  — число молей,  $N_A \cdot k = R$  — универсальная газовая постоянная. Подставив всё в (1), получим:

$$U = \frac{3}{2} \nu RT,$$

но  $\nu RT = pV$ , тогда  $U = \frac{3}{2} pV$ .

Следовательно,

$$U_1 = \frac{3}{2} p_1 V_2 \quad \text{и} \quad U_2 = \frac{3}{2} p_2 V_2,$$

тогда

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\frac{3}{2} p_2 V_2}{\frac{3}{2} p_1 V_1} = \frac{p_2}{p_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{2} \cdot 6 = 3.$$

Энергия увеличится в 3 раза.

*Ответ:* Энергия увеличится в 3 раза.

**С4.** Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноименно заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии  $d = 5$  см друг от друга. Напряженность поля между пластинами  $E = 10^4$  В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом  $q = 10^{-5}$  Кл и массой  $m = 10$  г. После того, как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснется одной из пластин?

*Решение.* Заряд  $q$  массой  $m$  находится в электрическом и гравитационном полях (см. рис. 107). Его полная энергия равна сумме гравитационной и электрической энергий:

$$W_{\text{гр}} = mgy,$$

где  $y$  — расстояние, которое пролетит заряд вдоль оси  $y$  до соприкосновения с отрицательно заряженной пластиной.

$$W_{\text{эл}} = q \cdot E \frac{d}{2}.$$

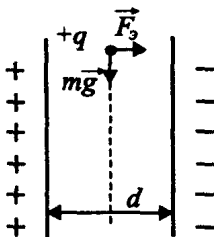


Рис. 107.

При соприкосновении с пластиной скорость заряда равна  $V$ .

Тогда закон сохранения энергии

$$mgy + q \cdot E \frac{d}{2} = \frac{mV^2}{2}, \quad (1)$$

где

$$y = \frac{gt^2}{2}, \quad (2)$$

где  $t$  — время движения до соприкосновения.

$$\frac{d}{2} = \frac{a_x t^2}{2}, \quad (3)$$

где  $a_x$  — ускорение, которое приобретает заряд под действием силы электрического поля  $F_{эл} = qE$ , т.е.

$$ma_x = qE \Rightarrow a_x = \frac{qE}{m}. \quad (4)$$

Поделив (2) на (3), получим:

$$y = \frac{g}{2a_x} d, \quad (5)$$

подставим (5) в (1):

$$mg \frac{g}{2a_x} d + q \frac{Ed}{2} = \frac{mV^2}{2},$$

$$V^2 = \frac{g^2 d}{a_x} + \frac{qEd}{m} = \frac{qEd}{m} \left( \frac{g^2 m}{a_x E q} + 1 \right).$$

Подставим (4) в это уравнение:

$$V^2 = \frac{qEd}{m} \left( \frac{g^2 m^2}{E^2 q^2} + 1 \right)$$

$$V = \sqrt{\frac{qEd}{m} \left( \frac{g^2 m^2}{E^2 q^2} + 1 \right)} =$$

$$= \left( \frac{10^{-5} \text{ Кл} \cdot 10^4 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{0,01 \text{ кг} \cdot \text{м}} \left( \left( \frac{10^{-2} \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2}{10^{-5} \text{ Кл} \cdot 10^4 \text{ В/м}} \right)^2 + 1 \right) \right)^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \sqrt{0,5 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 1 \text{ м/с}.$$

Ответ: 1 м/с.

**С5.** Пациенту ввели внутривенно некоторый объем радиоактивного раствора общей активностью  $a_0 = 3100$  распадов в секунду. Через  $t = 6$  ч 20 мин активность 1 см<sup>3</sup> крови станет  $a = 0,41$  распадов в секунду. Каков период полураспада радиоактивного изотопа в растворе, если общий объем крови пациента  $V = 6$  л?

*Решение.* Активность 1 см<sup>3</sup> крови со временем меняется по закону

$$a = a_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}, \quad (1)$$

где  $a_0$  — начальная активность препарата 1 см<sup>3</sup>, т.е.

$$a_0 = \frac{A_0}{V}. \quad (2)$$

Прологарифмируем уравнение (1) по основанию 2:

$$\log_2 \frac{a}{a_0} = -\frac{t}{T} \Rightarrow T = -\frac{t}{\log_2 \frac{a}{a_0}},$$

перейдем к десятичному основанию:

$$T = -\frac{t \lg 2}{\lg \frac{a}{a_0}}.$$

Подставив в это уравнение (2), окончательно получим:

$$T = -\frac{t \lg 2}{\lg \frac{a \cdot V}{A_0}} = -\frac{6,33 \text{ ч} \cdot \lg 2}{\lg \frac{0,41 \text{ П/с} \cdot 6000}{3100 \text{ П/с}}} = -\frac{6,33 \text{ ч} \cdot \lg 2}{\lg 0,794} = 18,9 \text{ ч}.$$

Ответ: 18,9 ч.

**С6.** Электрон в атоме водорода перешел из основного состояния в возбужденное, получив энергию 12,75 эВ. Какова наибольшая длина волны, которую может излучить атом водорода из этого состояния? Энергия электрона в основном состоянии атома водорода равна (−13,6 эВ); постоянная Ридберга  $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ .

*Решение.* Как известно,  $\Delta E = E_n - E_1$ .

$$E_n = \Delta E + E_1 = 12,7 \text{ эВ} - 13,6 \text{ эВ} = 0,85 \text{ эВ}.$$

Из теории Бора

$$E_n = \frac{E_1}{n} \Rightarrow n^2 = \frac{E_1}{E_n}.$$

$$n^2 = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{-0,85 \text{ эВ}} = 16 \Rightarrow n = 4.$$

Полученной энергии ( $\Delta E$ ) достаточно, чтобы атом перешел в возбужденное состояние, соответствующее четвертому уровню. Изобразим диаграмму уровней (см. рис. 108):

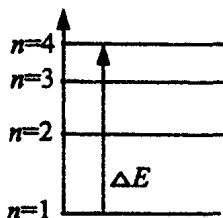


Рис. 108.

Тогда очевидно, чтобы атом излучил квант света с максимальной длиной волны, энергия кванта должна быть минимальна. Из приведенной диаграммы уровней очевидно, что это соответствует переходу с  $n = 4$  на  $n = 3$ .

$$\Delta E_{43} = E_4 - E_3 = E_1 \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{3^2} \right) = -13,6 \text{ эВ} \left( \frac{1}{16} - \frac{1}{9} \right) = 0,66 \text{ эВ}.$$

Но  $\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$  согласно гипотезе Планка, откуда  $\lambda = \frac{hc}{\Delta E}$ .

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,66 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 1,88 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1,88 \text{ мкм}.$$

Ответ: 1,88 мкм.

Учебное издание

Под редакцией *Л.М. Монастырского*

**ФИЗИКА. РЕШЕБНИК.  
ПОДГОТОВКА К ЕГЭ–2010**

**Учебно-методическое пособие**

Художественное оформление,  
разработка серии: *И. Лойкова*  
Компьютерная верстка: *Г. Безуглова*  
Корректор: *Н. Пимонова*

Подписано в печать с оригинал-макета 29.09.2009.

Формат 60х84  $\frac{1}{16}$ . Бумага типографская.

Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 9.

Тираж 10 000 экз. Заказ № 355.

Издательство «ЛЕГИОН-М»

Для писем: 344000, г. Ростов-на-Дону, а/я 550

Отпечатано в соответствии с качеством  
предоставленных диапозитивов в ЗАО «Полиграфобъединение»  
347900, г. Таганрог, ул. Лесная биржа, 6 В