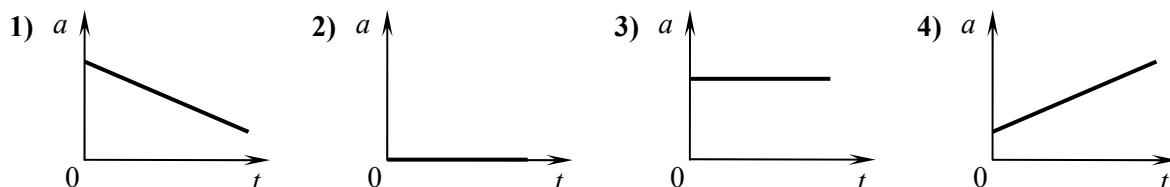


# Единый государственный экзамен по физике, 2003 год демонстрационная версия

## Часть А

**А1.** На рисунках изображены графики зависимости модуля ускорения от времени движения. Какой из графиков соответствует равномерному прямолинейному движению?



**Решение.** При равномерном прямолинейном движении ускорение равно нулю.

Правильный ответ: 2.

**А2.** Ракетный двигатель первой отечественной экспериментальной ракеты на жидком топливе имел силу тяги 660 Н. Стартовая масса ракеты была равна 30 кг. Какое ускорение приобретала ракета во время старта?

- 1)  $12 \text{ м/с}^2$                       2)  $32 \text{ м/с}^2$                       3)  $10 \text{ м/с}^2$                       4)  $22 \text{ м/с}^2$

**Решение.** На ракету действуют две силы: сила тяжести ( $mg$ ), направленная вниз, и сила тяги ( $F$ ), направленная вверх. По второму закону Ньютона:

$$a = (F - mg) / m = F / m - g = 660 \text{ Н} / 30 \text{ кг} - 10 \text{ м/с}^2 = 12 \text{ м/с}^2 .$$

Правильный ответ: 1.

**А3.** При увеличении в 3 раза расстояния между центрами шарообразных тел сила гравитационного притяжения

- 1) увеличивается в 3 раза                      2) уменьшается в 3 раза  
3) увеличивается в 9 раз                      4) уменьшается в 9 раз

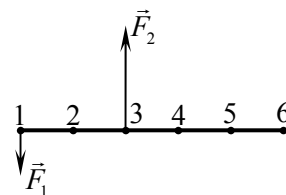
**Решение.** Сила гравитационного притяжения двух шарообразных тел равна

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} .$$

При увеличении в 3 раза расстояния между их центрами сила гравитационного притяжения уменьшается в 9 раз.

Правильный ответ: 4.

**А4.** На рисунке изображен тонкий невесомый стержень, к которому в точках 1 и 3 приложены силы  $F_1 = 100 \text{ Н}$  и  $F_2 = 300 \text{ Н}$ . В какой точке надо расположить ось вращения, чтобы стержень находился в равновесии?



- 1) в точке 2                      2) в точке 6                      3) в точке 4                      4) в точке 5

**Решение.** Условием равновесия стержня является равенство  $F_1l_1 = F_2l_2$ , где  $l_1$  и  $l_2$  — расстояния от оси вращения до точек приложения сил. Поскольку вторая сила в 3 раза больше первой, точка её приложения должна располагаться в 3 раза ближе к оси вращения. Значит, ось вращения расположена либо в точке 2,5, либо в точке 4. Если ось вращения находится в точке 2,5, то силы вращают стержень в одном направлении и не уравновешивают друг друга. При расположении оси вращения в точке 4 силы вращают стержень в разных направлениях, уравновешивая друг друга.

Правильный ответ: 3.

**A5.** Мальчик подбросил футбольный мяч массой 0,4 кг на высоту 3 м. Насколько изменилась потенциальная энергия мяча?

- 1) 4 Дж                      2) 12 Дж                      3) 1,2 Дж                      4) 7,5 Дж

**Решение.** Изменение потенциальной энергии равно  $\Delta E_p = mgh = 0,4 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 3 \text{ м} = 12 \text{ Дж}$ .

Правильный ответ: 2.

**A6.** При гармонических колебаниях вдоль оси  $Ox$  координата тела изменяется по закону  $x = 0,9 \cdot \cos 5t$  (м). Какова амплитуда колебаний?

- 1) 5 м                      2) 4,5 м                      3) 0,9 м                      4) 0,18 м

**Решение.** В общем виде при гармонических колебаниях координата тела изменяется по закону  $x = A \cos \omega t$ , где  $A$  — амплитуда колебаний,  $\omega$  — циклическая частота колебаний. Амплитуда колебаний равна 0,9 м.

Правильный ответ: 3.

**A7.** Человеческое ухо может воспринимать звуки частотой от 20 до 20000 Гц. Какой диапазон длин волн соответствует интервалу слышимости звуковых колебаний? Скорость звука в воздухе примите равной 340 м/с.

- 1) от 20 до 20000 м                      2) от 6800 до 6800000 м  
3) от 0,06 до 58,8 м                      4) от 0,017 до 17 м

**Решение.** Длина волны  $\lambda$  связана с частотой колебаний  $\nu$  соотношением  $\lambda = v/\nu$ , где  $v$  — скорость распространения волны. Минимальная длина волны слышимых звуковых колебаний равна

$$\lambda_{\min} = \frac{340 \text{ м/с}}{20000 \text{ Гц}} = 0,017 \text{ м},$$

а максимальная длина волны слышимых звуковых колебаний равна

$$\lambda_{\max} = \frac{340 \text{ м/с}}{20 \text{ Гц}} = 17 \text{ м}.$$

Правильный ответ: 4.

**A8.** Диффузия происходит быстрее при повышении температуры вещества, потому что

- 1) увеличивается скорость движения частиц  
2) увеличивается взаимодействие частиц  
3) тело при нагревании расширяется  
4) уменьшается скорость движения частиц

**Решение.** При повышении температуры диффузия происходит быстрее за счёт увеличения скорости движения частиц.

Правильный ответ: 1.

**A9.** При неизменной концентрации частиц идеального газа средняя кинетическая энергия теплового движения его молекул увеличилась в 3 раза. При этом давление газа

- 1) уменьшилось в 3 раза
- 2) увеличилось в 3 раза
- 3) увеличилось 9 раз
- 4) не изменилось

**Решение.** Согласно основному уравнению молекулярно-кинетической теории давление идеального газа  $p$  связано с концентрацией  $n$  и средней кинетической энергией движения его молекул  $\bar{E}$  соотношением:

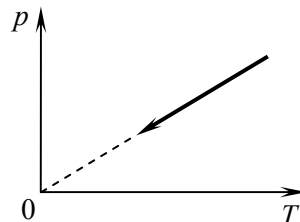
$$p = \frac{3}{2} n \bar{E}.$$

При неизменной концентрации частиц и увеличении в 3 раза их средней кинетической энергии давление увеличивается в 3 раза.

Правильный ответ: 2.

**A10.** На рисунке изображён график зависимости давления газа на стенки сосуда от температуры. Какой процесс изменения состояния газа изображён?

- 1) изобарное нагревание
- 2) изохорное охлаждение
- 3) изотермическое сжатие
- 4) изохорное нагревание



**Решение.** На рисунке изображён изохорный процесс, который шёл в сторону уменьшения температуры. Значит, на рисунке изображено изохорное охлаждение.

Правильный ответ: 2.

**A11.** При охлаждении твёрдого тела массой  $m$  температура тела понизилась на  $\Delta T$ . По какой из приводимых ниже формул следует рассчитывать количество отданной телом теплоты  $Q$ ?  $c$  — удельная теплоёмкость вещества.

- 1)  $c \cdot m \cdot \Delta T$
- 2)  $\frac{m \cdot \Delta T}{c}$
- 3)  $\frac{c \cdot m}{\Delta T}$
- 4)  $\frac{m}{c \cdot \Delta T}$

**Решение.** Количество отданной телом теплоты рассчитывают по формуле  $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ .

Правильный ответ: 1.

**A12.** Внутренняя энергия идеального газа при его охлаждении

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) увеличивается или уменьшается в зависимости от изменения объёма
- 4) не изменяется

**Решение.** Внутренняя энергия идеального газа равна  $U = C_V T$ , где  $C_V$  — теплоёмкость газа при постоянном объёме,  $T$  — его температура. Теплоёмкость идеального газа не зависит от температуры. При уменьшении температуры внутренняя энергия идеального газа уменьшается.

Правильный ответ: 2.

**A13.** Температура кипения воды зависит от

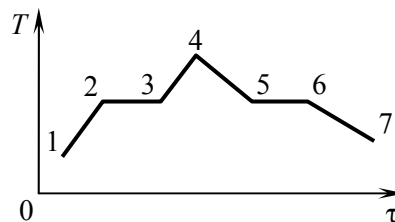
- 1) мощности нагревателя
- 2) вещества сосуда, в котором нагревается вода
- 3) атмосферного давления
- 4) начальной температуры воды

**Решение.** Кипение жидкости происходит при температуре, при которой давление насыщенного пара становится равным внешнему давлению. Значит, температура кипения воды зависит от атмосферного давления.

Правильный ответ: 3.

**A14.** На рисунке изображён график плавления и кристаллизации нафталина. Какая из точек соответствует началу отвердевания вещества?

- 1) точка 2
- 2) точка 4
- 3) точка 5
- 4) точка 6



**Решение.** Отвердевание — переход из жидкого состояния в твёрдое при охлаждении. Охлаждению соответствует часть графика 4–7. В процессе отвердевания температура вещества остаётся постоянной, этому соответствует часть графика 5–6. Точка 5 соответствует началу отвердевания вещества.

Правильный ответ: 3.

**A15.** Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов, если расстояние между ними увеличить в  $n$  раз?

- 1) увеличится в  $n$  раз
- 2) уменьшится в  $n$  раз
- 3) увеличится в  $n^2$  раз
- 4) уменьшится в  $n^2$  раз

**Решение.** Сила кулоновского взаимодействия двух точечных неподвижных зарядов равна

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2},$$

где  $k$  — постоянная величина,  $q_1$  и  $q_2$  — величины зарядов,  $R$  — расстояние между ними. Если расстояние между ними увеличить в  $n$  раз, то сила уменьшится в  $n^2$  раз.

Правильный ответ: 4.

**A16.** Если площадь поперечного сечения однородного цилиндрического проводника и электрическое напряжение на его концах увеличатся в 2 раза, то сила тока, протекающая по нему,

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

**Решение.** Сила тока, протекающая по проводнику равна  $I = U/R$ , где  $U$  — напряжение на его концах,  $R$  — его сопротивление, равное  $R = \rho l/S$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление материала проводника,  $l$  — его длина,  $S$  — площадь поперечного сечения. Таким образом, сила тока равна  $I = US/\rho l$ . При увеличении в 2 раза напряжения на его концах проводника и площади его поперечного сечения сила тока, протекающая по нему, увеличивается в 4 раза.

Правильный ответ: 3.

**A17.** Как изменится мощность, потребляемая электрической лампой, если, не изменяя её электрическое сопротивление, уменьшить напряжение на ней в 3 раза?

- 1) уменьшится в 3 раза
- 2) уменьшится в 9 раз
- 3) не изменится
- 4) увеличится в 9 раз

**Решение.** Потребляемая мощность равна  $W = U^2 / R$ , где  $U$  — напряжение,  $R$  — сопротивление. При неизменном сопротивлении и уменьшении напряжения в 3 раза, потребляемая мощность уменьшается в 9 раз.

Правильный ответ: 2.

**A18.** Что нужно сделать для того, чтобы изменить полюса магнитного поля катушки с током?

- 1) уменьшить силу тока
- 2) изменить направление тока в катушке
- 3) отключить источник тока
- 4) увеличить силу тока

**Решение.** При изменении направления тока в катушке полюса образуемого ею магнитного поля меняются местами.

Правильный ответ: 2.

**A19.** Изменится ли электроёмкость конденсатора, если заряд на его обкладках увеличить в  $n$  раз?

- 1) увеличится в  $n$  раз
- 2) уменьшится в  $n$  раз
- 3) не изменится
- 4) увеличится в  $n^2$  раз

**Решение.** Электроёмкость конденсатора не зависит от заряда на его обкладках.

Правильный ответ: 3.

**A20.** Колебательный контур радиоприёмника настроен на радиостанцию, передающую на волне 100 м. Как нужно изменить ёмкость конденсатора колебательного контура, чтобы он был настроен на волну 25 м? Индуктивность катушки считать неизменной.

- 1) увеличить в 4 раза
- 2) уменьшить в 4 раза
- 3) увеличить в 16 раз
- 4) уменьшить в 16 раз

**Решение.** Резонансная частота колебательного контура равна

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где  $C$  — ёмкость конденсатора,  $L$  — индуктивность катушки. Контур настроен на длину волны

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

где  $c$  — скорость света. Чтобы настроить радиоприёмник на вчетверо меньшую длину волны, надо уменьшить ёмкость конденсатора в 16 раз.

Правильный ответ: 4.



**A26.** Неподвижная лодка вместе с находящимся в ней охотником имеет массу 250 кг. Охотник выстреливает из охотничьего ружья в горизонтальном направлении. Какую скорость получит лодка после выстрела? Масса пули 8 г, а её скорость при вылете равна 700 м/с.

- 1) 22,4 м/с                      2) 0,05 м/с                      3) 0,02 м/с                      4) 700 м/с

**Решение.** По закону сохранения импульса скорость лодки будет равна

$$v_l = \frac{m_n v_n}{m_l} = \frac{0,008 \text{ кг} \cdot 700 \text{ м/с}}{250 \text{ кг}} = 0,0224 \text{ м/с}.$$

Правильный ответ: 3.

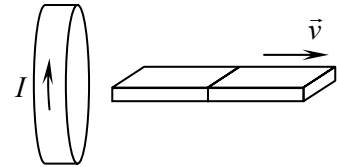
**A27.** Тепловая машина с КПД 40 % получает за цикл от нагревателя 100 Дж. Какое количество теплоты машина отдаёт за цикл холодильнику?

- 1) 40 Дж                      2) 60 Дж                      3) 100 Дж                      4) 160 Дж

**Решение.** КПД тепловой машины равен  $\eta = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}$ . Количество теплоты, отданное за цикл холодильнику, равно  $Q_x = Q_n(1 - \eta) = 100 \text{ Дж} \cdot (1 - 0,4) = 60 \text{ Дж}$ .

Правильный ответ: 2.

**A28.** Магнит выводят из кольца так, как показано на рисунке. Какой полюс магнита ближе к кольцу?

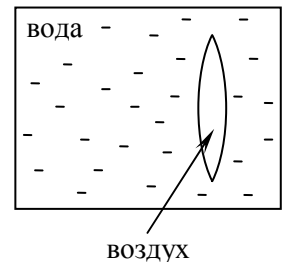


- 1) северный                      2) южный  
3) отрицательный                      4) положительный

**Решение.** Магнитное поле, создаваемое индукционным током, внутри кольца направлено справа налево. Кольцо можно считать магнитом, у которого северный полюс находится слева. По правилу Ленца этот магнит должен препятствовать удалению движущегося магнита и, значит, притягивать его. Таким образом, у движущегося магнита северный полюс тоже слева.

Правильный ответ: 1.

**A29.** Линзу, изготовленную из двух тонких сферических стекол одинакового радиуса, между которыми находится воздух (воздушная линза), опустили в воду (см. рис.). Как действует эта линза?



- 1) как собирающая линза  
2) как рассеивающая линза  
3) она не изменяет хода луча  
4) может действовать и как собирающая, и как рассеивающая линза

**Решение.** Поскольку коэффициент преломления воздуха меньше коэффициента преломления воды, воздушная линза является рассеивающей.

Правильный ответ: 2.

**A30.** Какова энергия связи ядра изотопа натрия  ${}_{11}^{23}\text{Na}$ ? Масса ядра равна 22,9898 а. е. м. Ответ округлите до целых.

- 1)  $3 \cdot 10^{11}$  Дж                      2)  $3 \cdot 10^{-11}$  Дж                      3)  $2 \cdot 10^{-14}$  Дж                      4) 253 Дж

**Решение.** Ядро изотопа натрия  ${}_{11}^{23}\text{Na}$  состоит из 11 протонов и 12 нейтронов. Дефект масс равен  $\Delta m = 11m_p + 12m_n - m_{\text{Na}} = (11 \cdot 1,007 + 12 \cdot 1,008 - 22,9898) \text{ а. е. м.} = 0,1832 \text{ а. е. м.}$  Энергия связи равна  $E = 0,1832 \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 0,1832 \cdot 931,5 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 3 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}.$

Правильный ответ: 2.

## Часть В

**В1.** Шарик, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания на гладкой горизонтальной плоскости с амплитудой 10 см. Насколько сместится шарик от положения равновесия за время, в течение которого его кинетическая энергия уменьшится вдвое? Ответ выразите в сантиметрах и округлите до целых?

**Решение.** В положении равновесия система обладает только кинетической энергией, а при максимальном отклонении — только потенциальной. По закону сохранения энергии в тот момент времени, когда кинетическая энергия уменьшится вдвое, потенциальная энергия также будет равна половине максимальной:

$$\frac{kx^2}{2} = \frac{1}{2} \left( \frac{kA^2}{2} \right).$$

Откуда получаем:

$$x = \frac{A}{\sqrt{2}} = \frac{10 \text{ см}}{\sqrt{2}} = 7 \text{ см}.$$

Ответ: 7.

**В2.** Какое количество теплоты выделится при изобарном охлаждении 80 г гелия с 200 °С до 100 °С? Ответ выразите в килоджоулях (кДж) и округлите до целых?

**Решение.** Гелий — одноатомный газ с молярной массой равной  $M = 4 \text{ г/моль}$ . В 80 г гелия содержится 20 моль. Удельная теплоёмкость гелия при постоянном давлении равна  $c_p = 5R/2$ .

При охлаждении выделится

$$Q = c_p \nu \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \cdot 20 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 100 \text{ К} = 42 \text{ кДж}.$$

Ответ: 42.

**В3.** Замкнутый проводник сопротивлением  $R = 3 \text{ Ом}$  находится в магнитном поле. В результате изменения этого поля магнитный поток, пронизывающий контур, возрос с  $\Phi_1 = 0,002 \text{ Вб}$  до  $\Phi_2 = 0,005 \text{ Вб}$ . Какой заряд прошел через поперечное сечение проводника? Ответ выразите в милликулонах (мКл).

**Решение.** При изменении магнитного потока в замкнутом проводнике возникает ЭДС, равная  $\varepsilon = \Delta\Phi / \Delta t$ . Под действием этой ЭДС в контуре течёт ток  $I = \varepsilon / R$ , и за время  $\Delta t$  через поперечное сечение проводника пройдёт заряд

$$q = I \cdot \Delta t = \frac{\varepsilon}{R} \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{0,005 \text{ Вб} - 0,002 \text{ Вб}}{3 \text{ Ом}} = 1 \text{ мКл}.$$

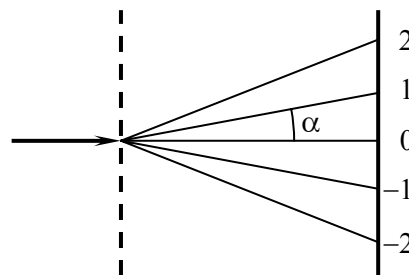
Ответ: 1.

**В4.** Выполняя экспериментальное задание, ученик должен был определить период дифракционной решётки. С этой целью он направил световой пучок на дифракционную решётку через красный светофильтр, который пропускает свет длиной волны 0,76 мкм. Дифракционная решётка находилась от экрана на расстоянии 1 м. На экране расстояние между спектрами первого порядка получилось равным 15,2 см. Какое значение периода дифракционной решётки было получено учеником? Ответ выразите в микрометрах (мкм). (При малых углах  $\sin \varphi \approx \text{tg } \varphi$ .)



**Решение.** Обозначим расстояние от дифракционной решётки до экрана  $R = 1$  м. Углы отклонения связаны с постоянной решётки и длиной волны света равенством  $d \sin \alpha_n = n\lambda$ . Для первого порядка имеем:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}.$$



Расстояние между спектрами первого порядка на экране равно

$$\Delta x = 2R \operatorname{tg} \alpha \cong 2R \sin \alpha = \frac{2R\lambda}{d}.$$

Откуда

$$d = \frac{2R\lambda}{\Delta x} = \frac{2 \cdot 1 \text{ м} \cdot 0,76 \text{ мкм}}{0,152 \text{ м}} = 10 \text{ мкм}.$$

Ответ: 10.

**В5.** Определите энергию, выделившуюся при протекании следующей реакции:  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$ . Ответ выразите в пикоджоулях (пДж) и округлите до целых.

**Решение.** Пользуясь табличными данными энергии покоя ядер элементов, участвующих в реакции, определим выделившуюся энергию:

$$\begin{aligned} \Delta E &= E_{{}^7_3\text{Li}} + E_{{}^1_1\text{H}} - 2E_{{}^4_2\text{He}} = 6535,4 \text{ МэВ} + 938,3 \text{ МэВ} - 2 \cdot 3728,4 \text{ МэВ} = \\ &= 17,9 \text{ МэВ} = 17,9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 3 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} = 3 \text{ пДж}. \end{aligned}$$

Ответ: 3.

## Часть С

**С1.** Тележка массой 0,8 кг движется по инерции со скоростью 2,5 м/с. На тележку с высоты 50 см вертикально падает кусок пластилина массой 0,2 кг и прилипает к ней. Рассчитайте энергию, которая перешла во внутреннюю при этом ударе.

**Решение.** В момент удара скорость пластилина равна  $v_{nl} = \sqrt{gh} = \sqrt{10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м}} = 2,24 \text{ м/с}$  и направлена вертикально вниз. Эта скорость была полностью погашена силой реакции опоры. Во внутреннюю энергию перешла вся кинетическая энергия упавшего куска пластилина:

$$Q_1 = \frac{m_{nl} v_{nl}^2}{2} = m_{nl} gh = 0,2 \text{ кг} \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м} = 1 \text{ Дж}.$$

В момент прилипания куска пластилина к тележке силы трения уравнивали горизонтальные составляющие их скоростей. Во внутреннюю энергию перешла часть кинетической энергии тележки. Используя закон сохранения импульса, определим скорость тележки с пластилином после соударения:

$$m_m v_m = (m_m + m_{nl}) v_0 \Leftrightarrow v_0 = \frac{m_m v_m}{(m_m + m_{nl})} = \frac{0,8 \text{ кг} \cdot 2,5 \text{ м/с}}{0,8 \text{ кг} + 0,2 \text{ кг}} = 2 \text{ м/с}.$$

Во внутреннюю энергию перешло

$$Q_2 = \frac{m_m v_m^2}{2} - \frac{(m_m + m_{nl}) v_0^2}{2} = \frac{0,8 \text{ кг} \cdot (2,5 \text{ м/с})^2}{2} - \frac{(0,8 \text{ кг} + 0,2 \text{ кг}) \cdot (2 \text{ м/с})^2}{2} = 0,5 \text{ Дж}.$$

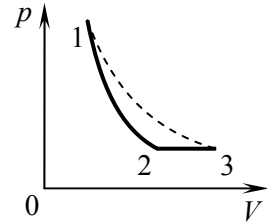
В итоге, энергия, которая перешла во внутреннюю при этом ударе равна

$$Q = Q_1 + Q_2 = 1 \text{ Дж} + 0,5 \text{ Дж} = 1,5 \text{ Дж}.$$

Ответ: 1,5 Дж.

**С2.** Некоторое количество гелия расширяется: сначала адиабатно, а затем изобарно. Конечная температура газа равна начальной. При адиабатном расширении газ совершил работу, равную 4,5 кДж. Какова работа газа за весь процесс?

**Решение.** Изобразим процессы на диаграмме (см. рис.). 1–2 — адиабатическое расширение, 2–3 — изобарное расширение. По условию, температуры в точках 1 и 3 равны; работа, совершённая газом в процессе 1–2, равна  $A_{12} = 4,5 \text{ кДж}$ . Гелий — одноатомный газ, поэтому его теплоёмкость при постоянном объёме равна  $C_V = 3\nu R/2$ , где  $\nu$  — количество вещества газа. Воспользовавшись первым началом термодинамики для процесса 1–2, получаем:



$$0 = \Delta U_{12} + A_{12} \Leftrightarrow \Delta U_{12} = -A_{12} \Leftrightarrow C_V(T_2 - T_1) = -A_{12} \Leftrightarrow T_1 - T_2 = \frac{2A_{12}}{3\nu R}.$$

Работу газа в процессе 2–3 можно определить по формуле  $A_{23} = p_2(V_3 - V_2)$ . Используя уравнение Менделеева — Клапейрона и равенство  $T_1 = T_3$ , получаем:

$$A_{23} = p_2V_3 - p_2V_2 = \nu RT_3 - \nu RT_2 = \nu R(T_1 - T_2) = \frac{2}{3} A_{12}.$$

Работа газа за весь процесс равна

$$A = A_{12} + A_{23} = \frac{5}{3} A_{12} = \frac{5}{3} \cdot 4,5 \text{ кДж} = 7,5 \text{ кДж}.$$

Ответ: 7,5 кДж.

**С3.** Маленький заряженный шарик массой 50 г, имеющий заряд 1 мкКл, движется с высоты 0,5 м по наклонной плоскости с углом наклона  $30^\circ$ . В вершине прямого угла, образованного высотой и горизонталью, находится неподвижный заряд 7,4 мкКл. Какова скорость шарика у основания наклонной плоскости, если его начальная скорость равна нулю? Трением пренебречь.

**Решение.** Маленький шарик находится в поле тяжести Земли и в электростатическом поле, создаваемым вторым зарядом. Оба поля являются потенциальными, поэтому для определения скорости шарика можно воспользоваться законом сохранения энергии. В начальном положении шарик находится на высоте  $h = 0,5 \text{ м}$  и на расстоянии  $r_1 = h$  от второго заряда. В конечном положении шарик находится на нулевой высоте и на расстоянии  $r_2 = h \cdot \text{ctg } 30^\circ$  от второго заряда. Таким образом:

$$\begin{aligned} mgh + \frac{kq_1q_2}{r_1} &= \frac{mv^2}{2} + \frac{kq_1q_2}{r_2} \Leftrightarrow v = \sqrt{2gh + \frac{2kq_1q_2}{m} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = \sqrt{2gh + \frac{2kq_1q_2(1 - \text{tg } 30^\circ)}{mh}} = \\ &= \sqrt{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2 \cdot 0,5 \text{ м} + \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \cdot 7,4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} \cdot (1 - \text{tg } 30^\circ)}{0,05 \text{ кг} \cdot 0,5 \text{ м}}} = 3,5 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

Ответ: 3,5 м/с.

**С4.** При облучении металла светом с длиной волны 245 нм наблюдается фотоэффект. Работа выхода электрона из металла равна 2,4 эВ. Рассчитайте величину напряжения, которое нужно приложить к металлу, чтобы уменьшить максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов в 2 раза.

**Решение.** Длина волны ( $\lambda$ ) падающего света связана с его частотой ( $\nu$ ) равенством  $\lambda \cdot \nu = c$ , где  $c$  — скорость света. Используя формулу Эйнштейна для фотоэффекта, определим кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow \frac{mv^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}}.$$

Работа электрического поля равна  $A = |e|U$ . Работа должна быть такой, чтобы уменьшить максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов в 2 раза:

$$\begin{aligned} \frac{mv^2}{2} &= \frac{m(v/2)^2}{2} + A \Leftrightarrow A = \frac{3}{4} \cdot \frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow |e|U = \frac{3}{4} \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right) \Leftrightarrow U = \frac{3}{4|e|} \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right) = \\ &= \frac{3}{4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} \left( \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{245 \cdot 10^{-9} \text{ м}} - 2,4 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \right) = 2 \text{ В}. \end{aligned}$$

Ответ: 2 В.

**С5.** Вакуумный диод, у которого анод (положительный электрод) и катод (отрицательный электрод) — параллельные пластины, работает в режиме, когда между током и напряжением выполняется соотношение  $I = aU^{3/2}$  (где  $a$  — некоторая постоянная величина). Во сколько раз увеличится сила, действующая на анод вследствие удара электронов, если напряжение на диоде увеличить в два раза? Начальную скорость вылетающих электронов считать равной нулю.

**Решение.** При увеличении напряжения в два раза сила тока возрастёт в  $2^{3/2}$  раз. Во столько же раз увеличится число электронов, ударяющихся в единицу времени об анод. Вместе с этим в два раза возрастут работа электрического поля в диоде и, как следствие, кинетическая энергия ударяющихся электронов. Скорость частиц увеличится в  $\sqrt{2}$  раз, во столько же раз увеличится передаваемый импульс и сила давления отдельных электронов. Таким образом, действующая на анод сила возрастёт в  $2^{3/2} \cdot 2^{1/2} = 4$  раза.

Ответ: в 4 раза.