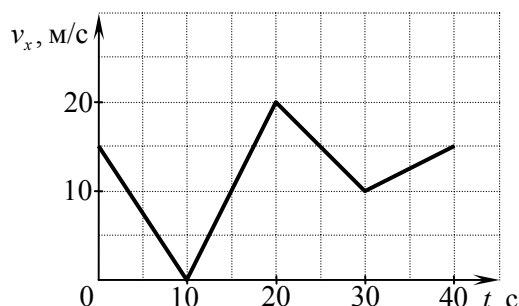


# Единый государственный экзамен по физике, 2007 год демонстрационная версия

## Часть А

**А1.** Автомобиль движется по прямой улице. На графике представлена зависимость скорости автомобиля от времени. Модуль ускорения максимален в интервале времени

- 1) от 0 с до 10 с      2) от 10 с до 20 с  
3) от 20 с до 30 с    4) от 30 с до 40 с



**Решение.** Из графика видно, что в каждом интервале времени автомобиль двигался с постоянным ускорением, из которых максимальное, равное  $20 \text{ м/с} / 10 \text{ с} = 2 \text{ м/с}^2$ , было от 10 с до 20 с.

Правильный ответ: 2.

**А2.** Две материальные точки движутся по окружностям радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , причём  $R_2 = 2R_1$ . При условии равенства линейных скоростей точек их центростремительные ускорения связаны соотношением

- 1)  $a_1 = 2a_2$                       2)  $a_1 = a_2$                       3)  $a_1 = \frac{1}{2}a_2$                       4)  $a_1 = 4a_2$

**Решение.** При равных линейных скоростях центростремительное ускорение обратно пропорционально радиусу окружности. Поскольку  $R_2 = 2R_1$ , значит,  $a_1 = 2a_2$ .

Правильный ответ: 1.

**А3.** Парашютист спускается вертикально с постоянной скоростью 2 м/с. Систему отсчёта, связанную с Землёй, считать инерциальной. В этом случае

- 1) вес парашютиста равен нулю  
2) сила тяжести, действующая на парашютиста, равна нулю  
3) сумма всех сил, приложенных к парашютисту, равна нулю  
4) сумма всех сил, действующих на парашютиста, постоянна и не равна нулю

**Решение.** Поскольку парашютист движется с постоянной скоростью в инерциальной системе отсчёта, то по первому закону Ньютона сумма всех сил, приложенных к парашютисту, равна нулю.

Правильный ответ: 3.

**A4.** Для измерения жёсткости пружины ученик собрал установку (рис. 1), и подвесил к пружине груз массой 0,1 кг (рис. 2). Какова жёсткость пружины?

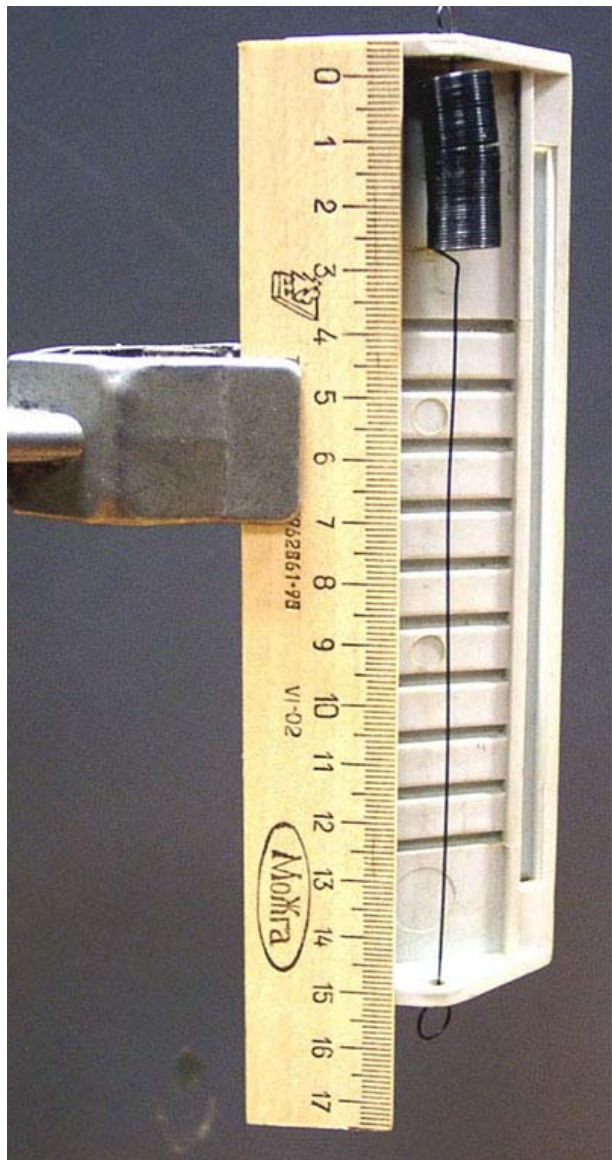


Рис. 1

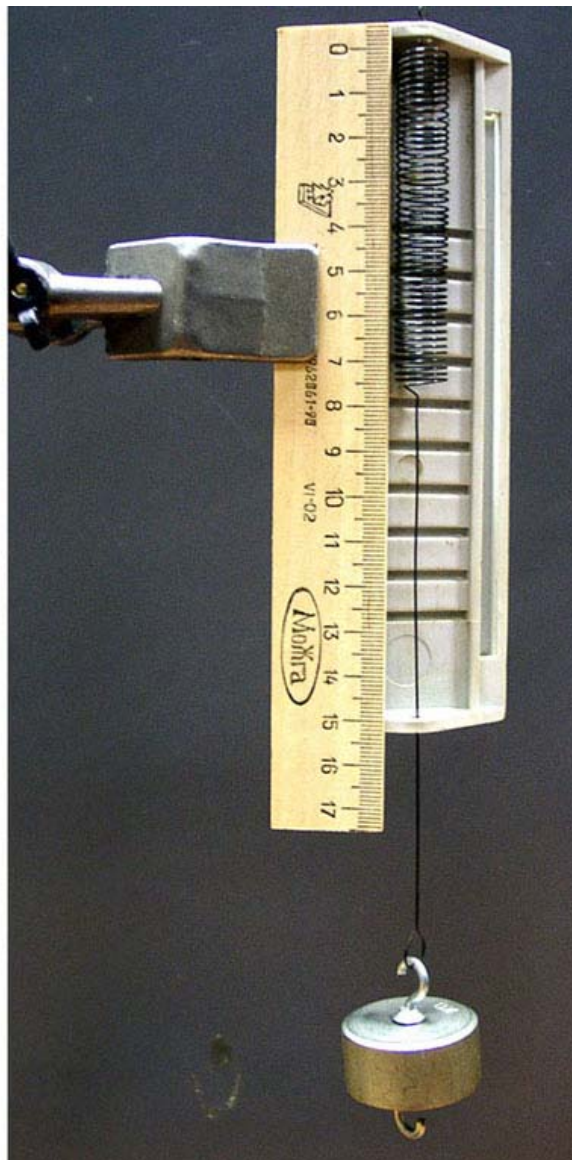


Рис.2

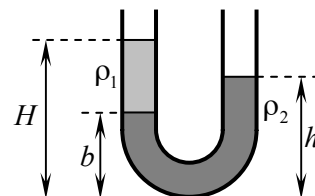
- 1) 40 Н/м                      2) 20 Н/м                      3) 13 Н/м                      4) 0,05 Н/м

**Решение.** Удлинение пружины составило  $7,5 \text{ см} - 2,5 \text{ см} = 5 \text{ см}$ . Жёсткость пружины равна

$$k = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{0,1 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг}}{0,05 \text{ м}} = 20 \text{ Н/м}.$$

Правильный ответ: 2.

**A5.** В широкую U-образную трубку с вертикальными прямыми коленами налиты неизвестная жидкость плотностью  $\rho_1$  и вода плотностью  $\rho_2 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  (см. рис.). На рисунке  $b = 10 \text{ см}$ ,  $h = 24 \text{ см}$ ,  $H = 30 \text{ см}$ . Плотность жидкости  $\rho_1$  равна



- 1)  $\rho_1 = 0,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$     2)  $\rho_1 = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$     3)  $\rho_1 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$     4)  $\rho_1 = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$

**Решение.** Плотность жидкости можно определить из равенства давлений на одной высоте внутри жидкости:

$$\rho_1 g(H - b) = \rho_2 g(h - b) \Leftrightarrow \rho_1 = \frac{h - b}{H - b} \rho_2 = \frac{24 \text{ см} - 10 \text{ см}}{30 \text{ см} - 10 \text{ см}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Правильный ответ: 2.

**А6.** Два автомобиля одинаковой массы  $m$  движутся со скоростями  $v$  и  $2v$  относительно Земли по одной прямой в противоположных направлениях. Чему равен модуль импульса второго автомобиля в системе отсчёта, связанной с первым автомобилем?

- 1)  $3mv$                       2)  $2mv$                       3)  $mv$                       4) 0

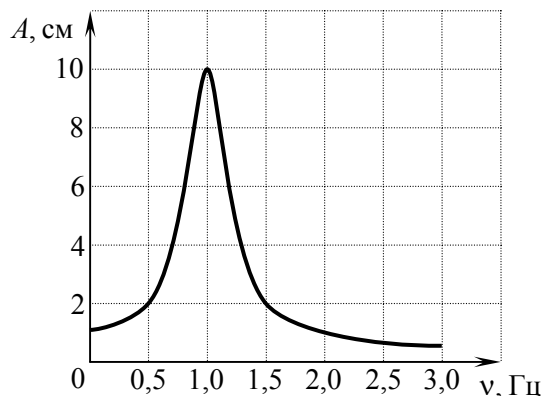
**Решение.** Скорость второго автомобиля в системе отсчёта, связанной с первым автомобилем, равна  $3v$ , следовательно, импульс равен  $3mv$ .

Правильный ответ: 1.

**А7.** На рисунке изображена зависимость амплитуды установившихся колебаний маятника от частоты вынуждающей силы (резонансная кривая). Отношение амплитуды установившихся колебаний маятника на резонансной частоте к амплитуде колебаний на частоте 0,5 Гц равно

- 1) 10            2) 2            3) 5            4) 4

**Решение.** Из графика видно, что на частоте 0,5 Гц амплитуда равна 2 см, а на резонансно частоте — 10 см. Отношение амплитуд равно 5.



Правильный ответ: 3.

**А8.** Брусок массой 0,5 кг прижат к вертикальной стене силой 10 Н, направленной горизонтально. Коэффициент трения скольжения между бруском и стеной равен 0,4. Какую минимальную силу надо приложить к бруску по вертикали, чтобы равномерно поднимать его вертикально вверх?

- 1) 9 Н                      2) 7 Н                      3) 5 Н                      4) 4 Н

**Решение.** Чтобы двигать брусок вверх с постоянной скоростью, нужно приложенной силой компенсировать силу тяжести и силу трения:  $F = mg + \mu P = 0,5 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} + 0,4 \cdot 10 \text{ Н} = 9 \text{ Н}$ .

Правильный ответ: 1.

**А9.** Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. При ударе выделилось количество теплоты, равное 15 Дж. Найдите кинетическую энергию мяча перед ударом.

- 1) 5 Дж                      2) 15 Дж                      3) 20 Дж                      4) 30 Дж

**Решение.** При уменьшении скорости вдвое кинетическая энергия уменьшается в 4 раза. Значит, 15 Дж теплоты составляют 3/4 первоначальной кинетической энергии, которая, тем самым, равна 20 Дж.

Правильный ответ: 3.

**A10.** 3 моль водорода находятся в сосуде при температуре  $T$ . Какова температура 3 моль кислорода в сосуде того же объёма и при том же давлении? (Водород и кислород считать идеальными газами.)

- 1)  $32T$                       2)  $16T$                       3)  $2T$                       4)  $T$

**Решение.** Поскольку и объём, и давление, и количества вещества газов одинаковые, то их температуры также одинаковы.

Правильный ответ: 4.

**A11.** Внутренняя энергия газа в запаянном несжимаемом сосуде определяется главным образом

- 1) движением сосуда с газом  
 2) хаотическим движением молекул газа  
 3) взаимодействием молекул газа с Землей  
 4) действием внешних сил на сосуд с газом

**Решение.** Внутренняя энергия газа в запаянном несжимаемом сосуде определяется главным образом хаотическим движением молекул газа.

Правильный ответ: 2.

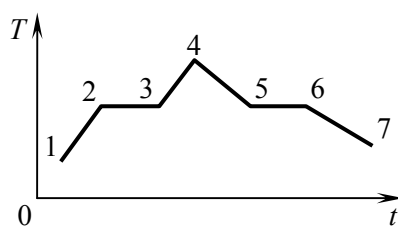
**A12.** При одинаковой температуре  $100\text{ }^\circ\text{C}$  давление насыщенных паров воды равно  $10^5\text{ Па}$ , аммиака —  $59 \cdot 10^5\text{ Па}$  и ртути —  $37\text{ Па}$ . В каком из вариантов ответа эти вещества расположены в порядке убывания температуры их кипения в открытом сосуде?

- 1) вода → аммиак → ртуть                      2) аммиак → ртуть → вода  
 3) вода → ртуть → аммиак                      4) ртуть → вода → аммиак

**Решение.** Давление насыщенных паров воды равно атмосферному, поэтому температура её кипения равна  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Давление насыщенных паров аммиака выше атмосферного, следовательно, температура его кипения меньше  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Давление насыщенных паров ртути меньше атмосферного, значит, температура её кипения больше  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Таким образом, вещества расположены в следующем порядке убывания температуры их кипения в открытом сосуде: ртуть → вода → аммиак.

Правильный ответ: 4.

**A13.** На графике (см. рис.) представлено изменение температуры  $T$  вещества с течением времени  $t$ . В начальный момент времени вещество находилось в кристаллическом состоянии. Какая из точек соответствует окончанию процесса отвердевания?

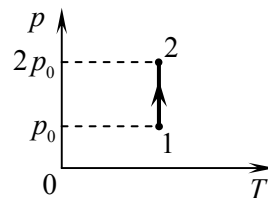


- 1) 5                      2) 6                      3) 3                      4) 7

**Решение.** Точка 1 на графике соответствует кристаллическому состоянию вещества. Точки 2, 3, 5, 6 — переходу между кристаллическим состоянием и жидким, причём точка 6 соответствует окончанию процесса отвердевания?

Правильный ответ: 2.

**A14.** На диаграмме (см. рис.) показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ отдаёт  $50\text{ кДж}$  теплоты. Работа внешних сил равна



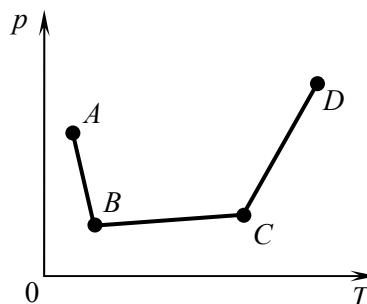
- 1)  $0\text{ кДж}$                       2)  $25\text{ кДж}$                       3)  $50\text{ кДж}$                       4)  $100\text{ кДж}$

**Решение.** В изотермическом процессе изменение внутренней энергии равно нулю, а работа внешних сил равна отданной газом теплоте, т. е. 50 кДж.

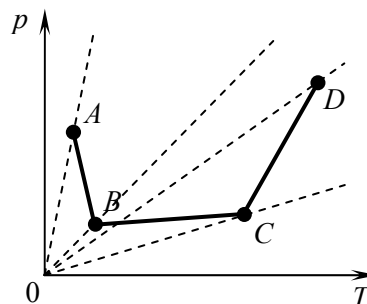
Правильный ответ: 3.

**A15.** В сосуде постоянного объёма находится идеальный газ, массу которого изменяют. На диаграмме (см. рис.) показан процесс изменения состояния газа. В какой из точек диаграммы масса газа наибольшая?

- 1) *A*            2) *B*            3) *C*            4) *D*



**Решение.** Проведём на графике линии, соответствующие постоянной массе и проходящие через точки *A*, *B*, *C* и *D* (см. рис.). Чем больше угол наклона линии, тем больше масса газа. Таким образом, наибольшая масса газа в состоянии *A*.



Правильный ответ: 1.

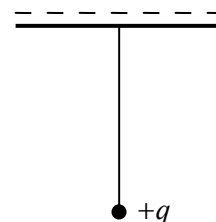
**A16.** Пылинка, имевшая отрицательный заряд  $-10e$ , при освещении потеряла четыре электрона. Каким стал заряд пылинки?

- 1)  $6e$                             2)  $-6e$                             3)  $14e$                             4)  $-14e$

**Решение.** При потере четырёх электронов заряд пылинки увеличился на  $4e$  и стал  $-6e$ .

Правильный ответ: 2.

**A17.** К бесконечной горизонтальной отрицательно заряженной плоскости привязана невесомая нить с шариком, имеющим положительный заряд (см. рис.). Каково условие равновесия шарика, если  $mg$  — модуль силы тяжести,  $F_3$  — модуль силы электростатического взаимодействия шарика с пластиной,  $T$  — модуль силы натяжения нити?



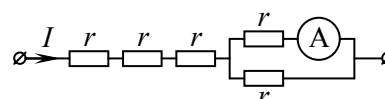
- 1)  $-mg - T + F_3 = 0$     2)  $mg + T + F_3 = 0$     3)  $mg - T + F_3 = 0$     4)  $mg - T - F_3 = 0$

**Решение.** Сила тяжести направлена вниз, сила электростатического взаимодействия шарика с пластиной и сила натяжения нити — вверх. В равновесии сумма сил равна нулю:

$$mg - T - F_3 = 0.$$

Правильный ответ: 4.

**A18.** Через участок цепи (см. рис.) течёт постоянный ток  $I = 10$  А. Какую силу тока показывает амперметр? Сопротивлением амперметра пренебречь.



- 1) 2 А                            2) 3 А                            3) 5 А                            4) 10 А

**Решение.** Поскольку сопротивления резисторов, расположенных в параллельных участках цепи, равны, сила тока в каждом из них будет вдвое меньше силы тока в основной цепи. Амперметр показывает силу тока 5 А.

Правильный ответ: 3.

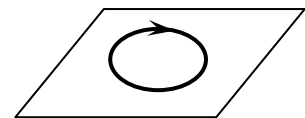
**A19.** В электронагревателе, через который течёт постоянный ток, за время  $t$  выделяется количество теплоты  $Q$ . Если сопротивление нагревателя и время  $t$  увеличить вдвое, не изменяя силу тока, то количество выделившейся теплоты будет равно

- 1)  $8Q$                       2)  $4Q$                       3)  $2Q$                       4)  $Q$

**Решение.** При постоянной силе тока, выделяющаяся теплота прямо пропорциональна сопротивлению нагревателя и времени его работы. При увеличении их вдвое выделяющаяся теплота увеличивается в 4 раза.

Правильный ответ: 2.

**A20.** На рисунке изображён проволочный виток, по которому течёт электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в горизонтальной плоскости. В центре витка вектор индукции магнитного поля тока направлен



- 1) вертикально вверх  $\uparrow$                       2) горизонтально влево  $\leftarrow$   
 3) горизонтально вправо  $\rightarrow$                       4) вертикально вниз  $\downarrow$

**Решение.** Направление вектор индукции магнитного поля можно определить по правилу правого винта. Если правый винт крутить в направлении, указанном на рисунке, он будет двигаться вертикально вниз. Туда же направлен вектор индукции магнитного поля.

Правильный ответ: 4.

**A21.** Инфракрасное излучение испускают

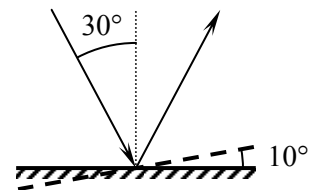
- 1) электроны при их направленном движении в проводнике  
 2) атомные ядра при их превращениях  
 3) любые заряженные частицы  
 4) любые нагретые тела

**Решение.** Инфракрасное излучение испускают нагретые тела.

Правильный ответ: 4.

**A22.** Угол падения света на горизонтально расположенное плоское зеркало равен  $30^\circ$ . Каким будет угол между падающим и отражённым лучами, если повернуть зеркало на  $10^\circ$  так, как показано на рисунке?

- 1)  $80^\circ$                       2)  $60^\circ$                       3)  $40^\circ$                       4)  $20^\circ$

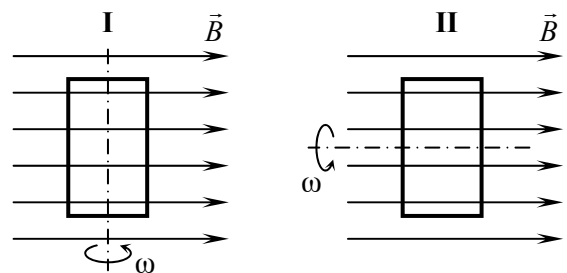


**Решение.** После поворота зеркала на  $10^\circ$  угол падения составит  $20^\circ$ , а угол между падающим и отражённым лучами —  $40^\circ$ .

Правильный ответ: 3.

**A23.** На рисунке показаны два способа вращения рамки в однородном магнитном поле. Ток в рамке

- 1) возникает в обоих случаях  
 2) не возникает ни в одном из случаев  
 3) возникает только в первом случае  
 4) возникает только во втором случае

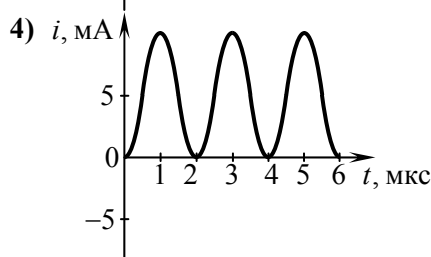
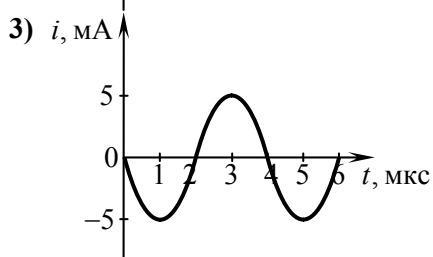
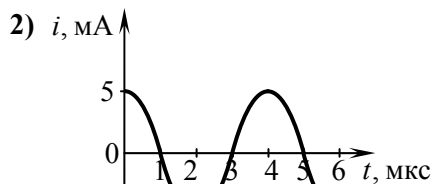
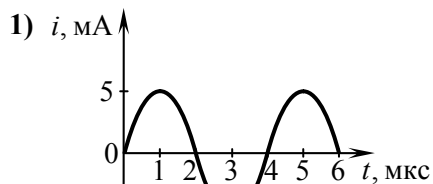
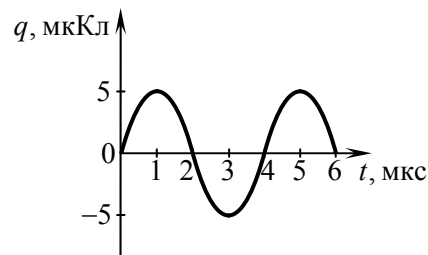


**Решение.** При вращении рамки первым способом пронизывающий её магнитный поток будет постоянно изменяться, ток в рамке возникнет. При вращении рамки по второму способу

пронизывающий её магнитный поток будет постоянно оставаться равным нулю, ток в рамке не возникнет.

Правильный ответ: 3.

**A24.** На рисунке справа представлен график изменения заряда конденсатора в колебательном контуре с течением времени. На каком из графиков правильно показан процесс изменения силы тока с течением времени в этом колебательном контуре?



**Решение.** Поскольку заряд конденсатора изменяется по синусоидальному закону, сила тока также будет меняться по синусоидальному закону со сдвигом фазы на четверть периода.

Правильный ответ: 2.

**A25.** Энергия фотона, поглощаемого атомом при переходе из основного состояния с энергией  $E_0$  в возбужденное состояние с энергией  $E_1$ , равна

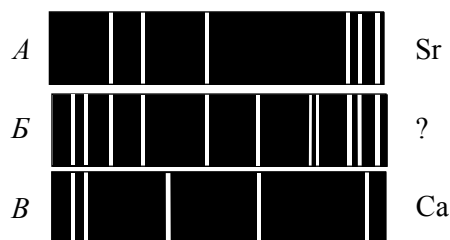
- 1)  $E_1 - E_0$                       2)  $\frac{E_1 + E_0}{h}$                       3)  $\frac{E_1 - E_0}{h}$                       4)  $E_1 + E_0$

**Решение.** Энергия фотона равна  $E_1 - E_0$ .

Правильный ответ: 1.

**A26.** На рисунках *A*, *B*, *B* приведены спектры излучения паров стронция, неизвестного образца и кальция. Можно утверждать, что в образце

- 1) не содержится ни стронция, ни кальция  
 2) содержится кальций, но нет стронция  
 3) содержатся и стронций, и кальций  
 4) содержится стронций, но нет кальция



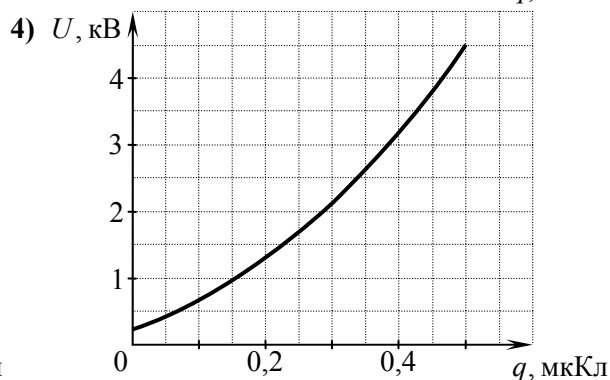
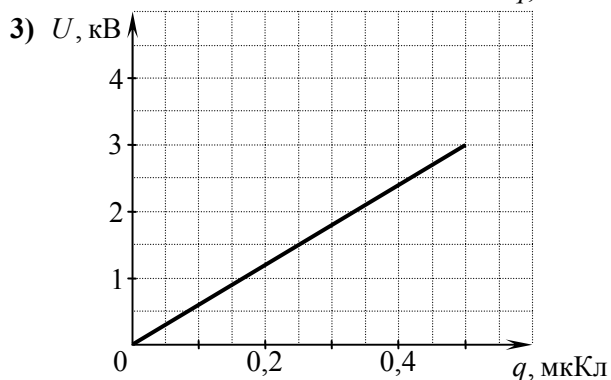
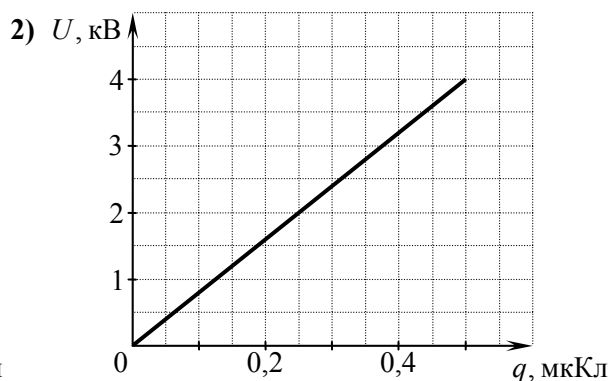
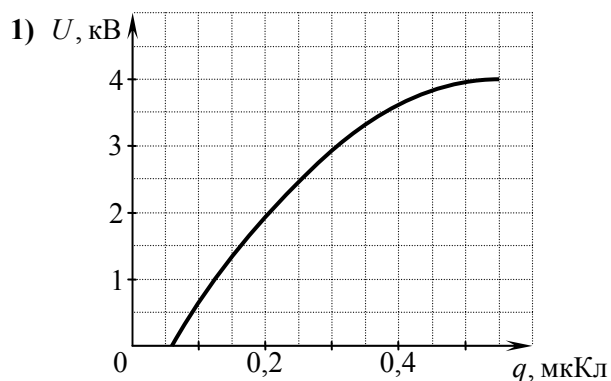
**Решение.** В спектре неизвестного образца есть *все* линии спектра стронция и *не все* линии спектра кальция, значит, неизвестный образец содержится стронций, но нет кальция.

Правильный ответ: 4.





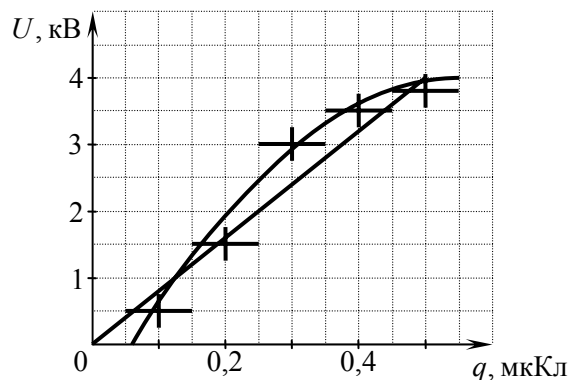
Погрешности измерений величин  $q$  и  $U$  равнялись соответственно 0,05 мкКл и 0,25 кВ. Какой из графиков приведён правильно с учётом всех результатов измерения и погрешностей этих измерений?



**Решение.** Нанесём результаты измерения с погрешностями на график (см. рис.). Видно, что как первый, так и второй графики могут считаться правильно проведёнными.

Правильный ответ: 1 и 2.

**Примечание.** При отсутствии веских причин среди всех линий, которые можно провести через результаты измерений, выбирают кривую с наименьшим числом перегибов (а из кривой и прямой — прямую линию). Кроме того, в идеальном конденсаторе его заряд и напряжение на обкладках прямо пропорциональны. Составители считают верным второй вариант ответа.



## Часть В

**В1.** Небольшой камень, брошенный с ровной горизонтальной поверхности земли под углом к горизонту, упал обратно на землю в 20 м от места броска. Чему была равна скорость камня через 1 с после броска, если в этот момент она была направлена горизонтально?

**Решение.** Скорость камня горизонтальна в наивысшей точке полёта. Значит, время подъёма и время падения равны 1 с. За 2 с камень преодолел 20 м по горизонтали, следовательно, составляющая его скорости, направленная вдоль горизонта, равна 10 м/с. В верхней точке полёта полная скорость совпадает со своей горизонтальной проекцией.

Ответ: 10.

**В2.** 1 моль инертного газа сжали, совершив работу 600 Дж. В результате сжатия температура газа повысилась на 40 °С. Какое количество теплоты отдал газ? Ответ округлите до целых.

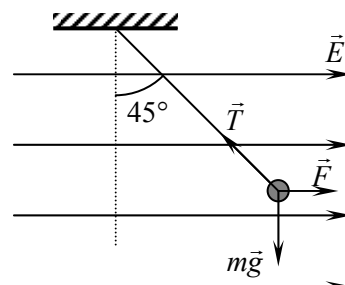
**Решение.** Используя первое начало термодинамики, получаем:

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} \nu R \Delta T - A' = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 40 \text{ К} - 600 \text{ Дж} = -101 \text{ Дж}.$$

Газ отдал 101 Дж теплоты.

Ответ: 101.

**В3.** В электрическом поле, вектор напряженности которого направлен горизонтально и равен по модулю 1000 В/м, нить с подвешенным на ней маленьким заряженным шариком отклонилась на угол  $45^\circ$  от вертикали. Масса шарика 1,4 г. Чему равен заряд шарика? Ответ выразите в микрокулонах (мкКл) и округлите до целых.



**Решение.** На шарик действуют три силы (см. рис.): сила тяжести, сила натяжения нити и сила со стороны электрического поля. В равновесии сумма этих сил равна нулю:

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \begin{cases} T \cos 45^\circ - mg = 0, \\ -T \sin 45^\circ + F = 0 \end{cases} \Rightarrow F = mg \Leftrightarrow qE = mg \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow q = \frac{mg}{E} = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг}}{1000 \text{ В/м}} = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл} = 14 \text{ мкКл}.$$

Ответ: 14.

**В4.** На дифракционную решетку, имеющую период  $2 \cdot 10^{-5}$  м, падает нормально параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экране на расстоянии 2 м от решетки. Каково расстояние между красным и фиолетовым участками спектра первого порядка (первой цветной полоски на экране), если длины волн красного и фиолетового света соответственно равны  $8 \cdot 10^{-7}$  м и  $4 \cdot 10^{-7}$  м? Считать  $\sin \varphi = \text{tg } \varphi$ . Ответ выразите в см.

**Решение.** Углы отклонения связаны с постоянной решетки и длиной волны света равенством  $d \sin \alpha = n\lambda$ . Тогда для красного и фиолетового лучей имеем:

$$\sin \alpha_{кр} = \frac{\lambda_{кр}}{d}, \quad \sin \alpha_{\phi} = \frac{\lambda_{\phi}}{d}.$$

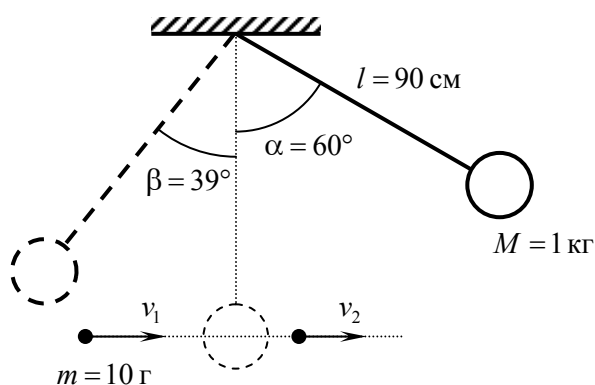
Отклонение составит  $x_{кр} = l \text{tg } \alpha_{кр} = l \sin \alpha_{кр}$  и  $x_{\phi} = l \text{tg } \alpha_{\phi} = l \sin \alpha_{\phi}$ . Таким образом, расстояние между красным и фиолетовым участками спектра первого порядка равно

$$\Delta x = x_{кр} - x_{\phi} = \frac{l(\lambda_{кр} - \lambda_{\phi})}{d} = \frac{2 \text{ м} \cdot (8 \cdot 10^{-7} \text{ м} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ м})}{2 \cdot 10^{-5} \text{ м}} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 4 \text{ см}$$

Ответ: 4.

## Часть С

**С1.** 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,  $\cos 39^\circ = 7/9$ .)



**Решение.** Скорость шара в нижней точке до столкновения с пулей равна  $u_1 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)}$ , а после столкновения  $u_2 = \sqrt{2gl(1 - \cos \beta)}$ . Эти скорости направлены горизонтально навстречу движения пули. Используя закон сохранения импульса, находим изменение скорости пули:

$$mv_1 - Mu_1 = mv_2 - Mu_2 \Leftrightarrow v_1 - v_2 = \frac{M(u_1 - u_2)}{m} = \frac{M\sqrt{2gl}(\sqrt{1 - \cos \alpha} - \sqrt{1 - \cos \beta})}{m} =$$

$$= \frac{1 \text{ кг} \cdot \sqrt{2 \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,9 \text{ м}} \cdot (\sqrt{1 - \cos 60^\circ} - \sqrt{1 - \cos 39^\circ})}{0,01 \text{ кг}} = 100 \text{ м/с}.$$

Ответ: 100 м/с.

**С2.** Воздушный шар с газонепроницаемой оболочкой массой 400 кг заполнен гелием. На высоте, где температура воздуха  $17^\circ\text{C}$  и давление  $10^5 \text{ Па}$ , шар может удерживать груз массой 225 кг. Какова масса гелия в оболочке шара? Считать, что оболочка шара не оказывает сопротивления изменению объёма шара.

**Решение.** На воздушный шар действуют сила тяжести и выталкивающая сила. В равновесии они уравновешивают друг друга:

$$(m_{об} + m_{gp} + m_{He})g = \rho_{возд}gV,$$

$$(m_{об} + m_{gp} + m_{He})g = \rho_{возд}g \frac{m_{He}}{\rho_{He}} \Leftrightarrow m_{He} = \frac{m_{об} + m_{gp}}{\rho_{возд} / \rho_{He} - 1}.$$

Плотности воздуха и гелия можно определить, используя уравнения Менделеева — Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{M}RT \Leftrightarrow \rho = \frac{pM}{RT} \Rightarrow \frac{\rho_{возд}}{\rho_{He}} = \frac{M_{возд}}{M_{He}}.$$

Таким образом, получаем:

$$m_{He} = \frac{m_{об} + m_{gp}}{M_{возд} / M_{He} - 1} = \frac{400 \text{ кг} + 225 \text{ кг}}{29/4 - 1} = 100 \text{ кг}.$$

Ответ: 100 кг.

**С3.** 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.** Обозначим длину проводника  $l=10$  м, площадь его сечения  $S$ , плотность  $d=8900$  кг/м<sup>3</sup>, удельное сопротивление  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, теплоёмкость  $c=380$  Дж/(кг·К). Сопротивление проводника равно  $R=\rho l/S$ . За время  $t$  в нём выделится  $Q=U^2 t/R$  теплоты, при этом он нагреется на  $\Delta T=Q/(m \cdot c)$  градусов, где  $m=d l S$  — масса проводника. В итоге получаем

$$t = \frac{\rho d l^2 c \Delta T}{U^2} = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 8900 \text{ кг/м}^3 \cdot (10 \text{ м})^2 \cdot 380 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)} \cdot 10 \text{ К}}{(1 \text{ В})^2} = 57 \text{ с}.$$

Ответ: 57 с.

**С4.** В дно водоема глубиной 3 м вертикально вбита свая, скрытая под водой. Высота сваи 2 м. Свая отбрасывает на дне водоема тень длиной 0,75 м. Определите угол падения солнечных лучей на поверхность воды. Показатель преломления воды  $n=4/3$ .

**Решение.** Угол падения ( $\alpha$ ) связан с углом преломления ( $\beta$ ) соотношением:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_{\text{воды}}}{n_{\text{возд}}} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{4}{3} \sin \beta.$$

По длине тени можно определить угол преломления:

$$\text{tg} \beta = \frac{0,75 \text{ м}}{2 \text{ м}} = \frac{3}{8}.$$

В итоге получаем:

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{\text{tg} \beta}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \beta}} \right) = \arcsin \left( \frac{4}{3} \cdot \frac{3/8}{\sqrt{1 + (3/8)^2}} \right) = 28^\circ.$$

Ответ: 28°.

**С5.** Фотокатод, покрытый кальцием (работа выхода  $4,42 \cdot 10^{-19}$  Дж), освещается светом с длиной волны 300 нм. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле с индукцией  $8,3 \cdot 10^{-4}$  Тл перпендикулярно линиям индукции этого поля. Каков максимальный радиус окружности, по которой движутся электроны?

**Решение.** Используя уравнение Эйнштейна для фотоэффекта, находим максимальный импульс фотоэлектронов:

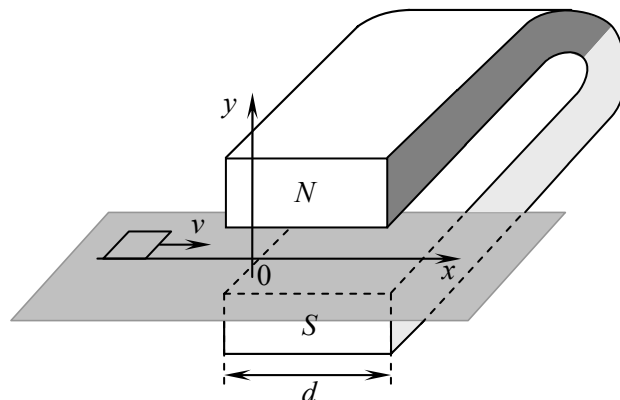
$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_k \Leftrightarrow \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} = \frac{p^2}{2m} \Leftrightarrow p = \sqrt{2m \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}.$$

Максимальный радиус равен

$$R = \frac{p}{eB} = \frac{\sqrt{2m \left( \frac{hc}{\lambda} - A_{\text{вых}} \right)}}{eB} = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot \left( \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{3 \cdot 10^{-7} \text{ м}} - 4,42 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \right)}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}} = 4,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Ответ: 4,7 мм.

**С6.** Квадратная рамка со стороной  $b = 5$  см изготовлена из медной проволоки сопротивлением  $R = 0,1$  Ом. Рамку перемещают по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью  $v$  вдоль оси  $Ox$ . Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка проходит между полюсами магнита и вновь оказывается в области, где магнитное поле отсутствует. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу  $F$ , направленную вдоль оси  $Ox$ . С какой скоростью движется рамка, если суммарная работа внешней силы за время движения равна  $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж? Ширина полюсов магнита  $d = 20$  см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция  $B = 1$  Тл.



Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу  $F$ , направленную вдоль оси  $Ox$ . С какой скоростью движется рамка, если суммарная работа внешней силы за время движения равна  $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$  Дж? Ширина полюсов магнита  $d = 20$  см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция  $B = 1$  Тл.

**Решение.** Индукционные токи возникают в рамке только при пересечении рамкой границы поля. Магнитный поток меняется от 0 до  $Bb^2$  (при выходе от  $Bb^2$  до 0) за время  $b/v$ . В рамке возникает ЭДС индукции, равная  $\varepsilon = \Delta\Phi / \Delta t = Bb^2 / (b/v) = vBb$ , вследствие чего в рамке течёт индукционный ток  $I = \varepsilon / R = vBb / R$ .

Действующие силы Ампера на участки рамки, направленные вдоль оси  $Ox$  и находящиеся в магнитном поле, компенсируют друг друга. Действие силы Ампера, равной  $F_A = IBb$  и приложенной к участку рамки, расположенной перпендикулярно к оси  $Ox$ , компенсируется внешней силой  $F = F_A$ . Работа этой силы равна  $Fb$  при входе рамки в магнитное поле. Такую же работу совершает эта сила при выходе рамки из поля. В итоге получаем:

$$A = 2Fb = 2IBb^2 = \frac{2vB^2b^3}{R} \Leftrightarrow v = \frac{AR}{2B^2b^3} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} \cdot 0,1 \text{ Ом}}{2 \cdot (1 \text{ Тл})^2 \cdot (0,05 \text{ м})^3} = 1 \text{ м/с}.$$

Ответ: 1 м/с.