

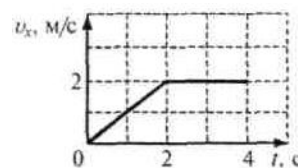
**Логика анализа содержания заданий ЕГЭ по физике**  
(на примере типовых заданий 2011 года)  
**Вариант 8**

ЧАСТЬ 1

При выполнении заданий части 1 в бланке ответов № 1 под номером выполняемого вами задания (A1—A25) поставьте знак «х» в клеточке, номер которой соответствует номеру выбранного вами ответа.

A1. Тело движется по оси  $Ox$ . На графике показана зависимость проекции скорости тела на ось  $Ox$  от времени. Каков путь, пройденный телом к моменту времени  $t = 4$  с?

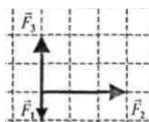
- 1) 6 м                      2) 8 м                      3) 4 м                      4) 5 м



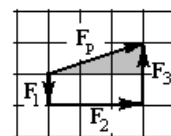
Путь, пройденный телом, численно равен площади, ограниченной графиком и осью  $Ox$ . В данном случае – это площадь трапеции, равная произведению половины суммы оснований на высоту:  $S = \frac{4+2}{2} \cdot 2 = 6$  м

A2. На тело, находящееся на горизонтальной плоскости, действуют три горизонтальные силы (см. рисунок). Каков модуль равнодействующей этих сил, если  $F_1 = 1$  Н?

- 1)  $\sqrt{10}$  Н                      2) 6 Н                      3) 4 Н                      4)  $\sqrt{13}$  Н



На приведенном в задаче рисунке задан масштаб: 1 клеточка – 1 Н. Ясно, что  $F_2 = 3$  Н,  $F_3 = 2$  Н. Поскольку силы – величины направленные, они складываются векторно:  $\mathbf{F}_p = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3$  (принцип суперпозиции). Векторы можно складывать в любом порядке, пользуясь, например, «правилом треугольника». Один из вариантов сложения векторов приведен на нижнем рисунке.



На этом рисунке, отмечен серым цветом прямоугольный треугольник, вертикальный катет которого представляет собой сумму противоположно направленных векторов  $\mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_1$ . По модулю эта сумма равна  $F_3 - F_1 = 2 - 1 = 1$  Н. Горизонтальный катет  $F_2 = 3$  Н по модулю. Модуль (длина) результирующего вектора может быть найден по теореме Пифагора:  $F_p = \sqrt{(F_3 - F_1)^2 + F_2^2} = \sqrt{1^2 + 3^2} = \sqrt{10}$  Н.

A3. Под действием силы 3 Н пружина удлинилась на 4 см. Чему равен модуль силы, под действием которой удлинение этой пружины составит 6 см?

- 1) 3,5 Н                      2) 4 Н                      3) 4,5 Н                      4) 5 Н

Используем закон Гука – сила упругости пружины пропорциональна её удлинению  $F_{упр} = -kx$ . Где  $k$  – коэффициент жесткости пружины. Отсюда следует вывод, что приложенная к пружине внешняя сила и удлинение пружины также пропорциональны.  $F_1 = kx_1$  – в первом случае и  $F_2 = kx_2$  – во втором.  $\Rightarrow$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{x_2}{x_1} \quad \Rightarrow \quad F_2 = \frac{x_2}{x_1} F_1 = \frac{6}{4} \cdot 3 = 4,5 \text{ Н}$$

A4. Тело движется по прямой в одном направлении. Под действием постоянной силы за 3 с импульс тела изменился на  $6 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ . Каков модуль силы?

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

Второй закон Ньютона  $F = ma$ , опираясь на определение ускорения  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  можно представить в виде:

$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t}$ , где  $\Delta(mv) = 6 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$  – изменение импульса тела. Очевидно, что величина действующей на

тело силы равна скорости изменения импульса тела:  $F = \frac{\Delta(mv)}{\Delta t} = \frac{6}{2} = 2$  Н

A5. Период колебаний пружинного маятника 1 с. Каким будет период его колебаний, если массу груза маятника увеличить в 2 раза, а жесткость пружины вдвое уменьшить?

- 1) 4 с    2) 8 с    3) 2 с    4) 6 с

Период колебаний пружинного маятника определяется формулой:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ . После указанных в задаче

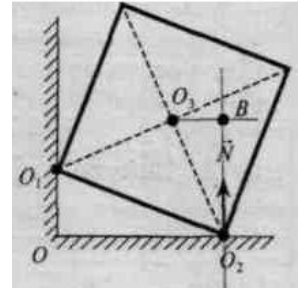
изменений период пружинного маятника  $T' = 2\pi \sqrt{\frac{2m}{k/2}} = 2\pi \sqrt{\frac{4m}{k}} = 2T = 2 \cdot 1 = 2$  с

А6. Однородный куб опирается одним ребром на пол, другим на вертикальную стену (см. рисунок). Плечо силы упругости  $N$  относительно оси, проходящей через точку  $O_3$ , перпендикулярно плоскости рисунка, равно

- 1) 0                      2)  $O_2O_3$                       3)  $O_2B$                       4)  $O_3B$

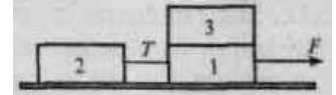
Плечом силы называется кратчайшее расстояние от оси вращения до линии, вдоль которой действует сила.

Линия, вдоль которой действует сила, – это вертикальная прямая, проходящая через точки  $O_2$  и  $B$ . Кратчайшее расстояние от точки  $O_3$  до прямой  $O_2B$  всегда измеряется вдоль нормали (горизонтальный отрезок  $O_3B$ ), опущенной из точки на прямую  $O_2B$ . Таким образом, плечо силы  $N$  относительно перпендикулярной к чертежу оси, проходящей через точку  $O_3$  – это отрезок  $O_3B$ .



А7. Одинаковые бруски, связанные нитью, движутся под действием внешней силы  $F$  по гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). Как изменится сила натяжения нити  $T$ , если третий брусок переложить с первого на второй?

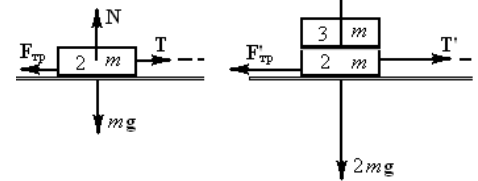
- 1) увеличится в 2 раза    3) уменьшится в 1,5 раза  
2) увеличится в 3 раза    4) уменьшится в 2 раза



Чтобы брусок 2 двигался, сила натяжения нити  $T$  должна компенсировать силу трения  $T = F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg$  бруска 2 о

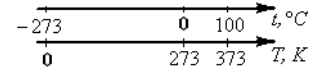
поверхность. Если на брусок 2 положить брусок 3, сила трения брусков 2 и 3 о поверхность возрастёт и станет равной  $F'_{\text{тр}} = \mu \cdot 2mg$ .

Соответственно в 2 раза увеличится и сила натяжения нити.



А8. Какова температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении по абсолютной шкале температур?

- 1) 100 К                      2) 173 К                      3) 273 К                      4) 373 К

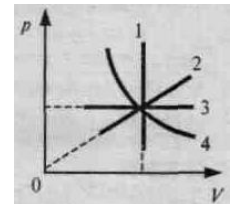


Ответ становится очевидным, если сопоставить обе температурные шкалы. Учитывая, что  $1 \text{ K} = 1^\circ \text{C}$ , получаем формулу перевода значений температуры и одной шкалы в другую:  $T = t + 273$ . Температура кипения воды:  $100^\circ \text{C}$ , по абсолютной шкале температур  $T = 100 + 273 = 373 \text{ K}$ .

А9. На рисунке представлены графики процессов, проводимых с постоянным количеством идеального газа. Какой из изопроцессов изображает график 1?

1. адиабату                      3. изобару  
2. изотерму                      4. изохору

Объём газа на графике 1 не меняется с изменением давления. Поскольку  $V = \text{const}$ , график 1 изображает изохорический процесс.

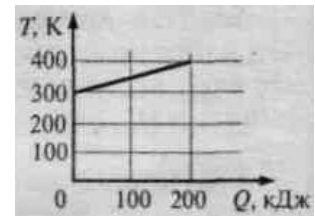


А10. На рисунке приведена зависимость температуры твердого тела от полученного им количества теплоты. Масса тела 2 кг. Какова удельная теплоёмкость вещества этого тела?

- 1) 25 Дж/(кг · К)                      2) 625 Дж/(кг · К)  
3) 2500 Дж/(кг · К)                      4) 1000 Дж/(кг · К)

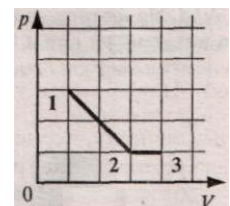
Определение. Удельной теплоёмкостью вещества называется величина, показывающая какое количество теплоты необходимо передать 1 кг тела, чтобы повысить его температуру на  $1^\circ \text{C}$ . В соответствии с определением:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{200 \cdot 10^3}{2 \cdot (400 - 300)} = 1000 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}).$$



А11. На рисунке показано, как менялось давление газа в зависимости от его объема при переходе из состояния 1 в состояние 2, а затем в состояние 3. Каково отношение работ газа  $\frac{A_{12}}{A_{23}}$  на этих двух отрезках  $pV$ - диаграммы?

- 1) 6                      2) 2                      3) 3                      4) 4



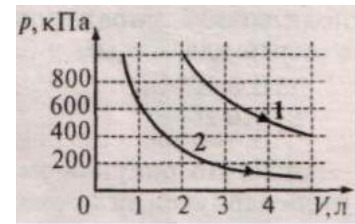
На  $pV$ - диаграмме работе соответствует площадь, ограниченная графиком и осью  $Ox$ . Работе  $A_{12}$  соответствует площадь трапеции с основаниями 3 и 1 клеточка и высотой 2 клеточки. То есть

$A_{12} = \frac{3+1}{2} \cdot 2 = 4$  условных единиц работы. Работе  $A_{23}$  соответствует площадь квадрата со стороной 1.

$A_{23} = 1 \cdot 1 = 1$  условная единица работы. Отношение:  $\frac{A_{12}}{A_{23}} = \frac{4}{1} = 4$ .

A12. На рисунке приведены графики двух изотермических процессов, проводимых с одной и той же массой газа. Судя по графикам,

- 1) оба процесса идут при одной и той же температуре
- 2) в процессе 1 газ начал расширяться позже, чем в процессе 2
- 3) процесс 1 идет при более высокой температуре
- 4) процесс 2 идет при более высокой температуре



Опираясь на уравнение состояния газа  $pV = \frac{m}{\mu}RT$ , можно заметить,

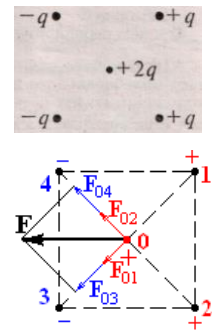
что произведение  $(pV)_{\text{для 1 процесса}} > (pV)_{\text{для 2 процесса}}$ , откуда следует вывод:  $T_1 > T_2$ . Правильный ответ 3.

A13. Как направлена кулоновская сила  $F$ , действующая на положительный точечный заряд  $2q$  помещенный в центр квадрата (см. рисунок), в вершинах которого находятся заряды:  $+q, +q, -q, -q$ ,

- 1)  $\rightarrow$
- 2)  $\leftarrow$
- 3)  $\uparrow$
- 4)  $\downarrow$

Поскольку нам необходимо найти только направление кулоновской силы  $F$ , её величину находить не будем.

Для удобства анализа пронумеруем заряды. Векторы всех сил, действующих на заряд под номером 0 ( $+2q$ ), имеют своё начало в точке 0, причём, они одинаковы по величине (по модулю). Используем принцип суперпозиции:  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_{01} + \mathbf{F}_{02} + \mathbf{F}_{03} + \mathbf{F}_{04}$ .



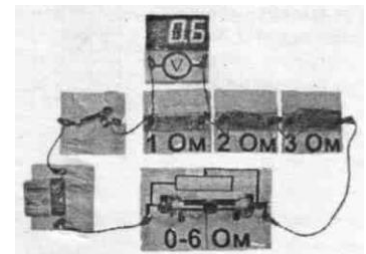
Реализуем указанный выше принцип на рисунке. Пользуясь правилом сложения векторных величин, находим результирующий вектор  $\mathbf{F}$ . Он направлен влево ( $\leftarrow$ ).

A14. На фотографии – электрическая цепь. Показания вольтметра даны в вольтах. Чему будут равны показания вольтметра, если его подключить параллельно резистору 2 Ом? Вольтметр считать идеальным.

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

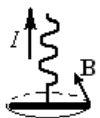
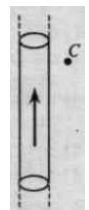
Из закона Ома для участка цепи следует, что падение напряжения на данном участке прямо пропорционально его сопротивлению.  $U = IR$ .

Электрическая цепь, представленная на рисунке, состоит из последовательно соединённых резисторов. В такой цепи ток на каждом участке одинаков. А потому, если на сопротивлении в 1 Ом падение напряжения равно 0,6 В, на сопротивлении 2 Ома, падение напряжения составит 1,2 В.



A15. На рисунке изображен длинный цилиндрический проводник, по которому протекает электрический ток. Направление тока указано стрелкой. Как направлен вектор магнитной индукции поля этого тока в точке С?

- 1) в плоскости чертежа вверх  $\uparrow$
- 2) в плоскости чертежа вниз  $\downarrow$
- 3) от нас перпендикулярно плоскости чертежа  $\otimes$
- 4) к нам перпендикулярно плоскости чертежа  $\odot$



Направление вектора индукции магнитного поля в точке С определяется правилом правого винта: Надо следить за концом рукоятки, расположенным вблизи точки С, и слегка вращать винт таким образом, чтобы он перемещался в направлении тока. Правильный ответ – 3.

A16. В наборе радиодеталей для изготовления простого колебательного контура имеются две катушки с индуктивностями  $L_1 = 1 \text{ мкГн}$  и  $L_2 = 2 \text{ мкГн}$ , а также два конденсатора, емкости которых  $C_1 = 30 \text{ пФ}$  и  $C_2 = 40 \text{ пФ}$ . При каком выборе двух элементов из этого набора частота собственных колебаний контура  $\nu$  будет наибольшей?

- 1)  $L_1$  и  $C_1$
- 2)  $L_1$  и  $C_2$
- 3)  $L_2$  и  $C_2$
- 4)  $L_2$  и  $C_1$

Частота колебаний в колебательном контуре определяется выражением:  $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ . Чтобы частота

колебаний была наибольшей, следует выбрать детали с наименьшими значениями  $L$  и  $C$ . Правильный ответ –



A20. На рисунке приведены фрагмент спектра поглощения неизвестного разреженного атомарного газа (в середине), спектры поглощения атомов водорода (вверху) и гелия (внизу).

По анализу спектра можно заключить, что в химический состав газа входят атомы

- 1) только водорода      2) водорода и гелия      3) только гелия  
4) водорода, гелия и еще какого-то вещества

Чтобы определить состав неизвестного газа, необходимо сравнить его спектр со спектрами известных газов. В данном случае спектр неизвестного газа полностью идентичен спектру гелия.

A21. Период полураспада радиоактивного изотопа кальция  $^{45}_{20}\text{Ca}$  составляет 164 суток. Если изначально было  $4 \cdot 10^{24}$  атомов  $^{45}_{20}\text{Ca}$ , то примерно сколько их будет через 328 суток?

- 1)  $2 \cdot 10^{24}$       2)  $1 \cdot 10^{24}$       3)  $1 \cdot 10^6$       4) 0

Нетрудно заметить, что указанное в задаче время  $t = 328$  суток  $= 2T = 2 \cdot 164$  суток, то есть 2-м периодам полураспада изотопа кальция  $^{45}_{20}\text{Ca}$ . По определению: периодом полураспада называется время, в течение которого распадается половина имеющихся ядер вещества. Следовательно, остаётся не распавшимися также половина ядер, т.е.  $N' = \frac{1}{2}N$ . В течение 2-го периода полураспада ещё половина **имеющихся ядер**, а, значит,

остаются не распавшимися:  $N'' = \frac{1}{2}N' = \frac{1}{4}N = \frac{1}{4} \cdot 4 \cdot 10^{24} = 1 \cdot 10^{24}$  ядер.

A22. Какая частица X участвует в реакции:  $^{19}_9\text{F} + X \rightarrow ^4_2\text{He} + ^{16}_8\text{O}$  ?

- 1) протон      2) нейтрон      3) электрон      4)  $\alpha$ -частица

Заряд неизвестной частицы находим, сравнивая суммарную величину зарядовых чисел в правой и левой части записанной реакции (закон сохранения *зарядовых* чисел):  $2 + 8 = 9 + (1)$ . Таким образом:  $^1_1\text{X}$ .

Из закона сохранения *массовых* чисел следует:  $4 + 16 = 19 + (1) \Rightarrow ^1_1\text{X} = ^1_1\text{H} = p$  – протон.

A23. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза больше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия образовавшихся фотоэлектронов?

- 1) 30эВ      2) 15эВ      3) 10эВ      4) 5 эВ

Из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта:  $h\nu_{\text{фотона}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}$ , опираясь на условия задачи

( $A_{\text{вых}} = 0,5E_{\text{кин}}$ ), можно записать:  $h\nu_{\text{фотона}} = 0,5E_{\text{кин}} + E_{\text{кин}} = 1,5E_{\text{кин}} \Rightarrow E_{\text{кин}} = \frac{h\nu_{\text{фотона}}}{1,5} = \frac{15}{1,5} = 10$  эВ

A24. Ученик изучал в школьной лаборатории колебания математического маятника. Результаты измерений каких величин дадут ему возможность рассчитать период колебаний маятника?

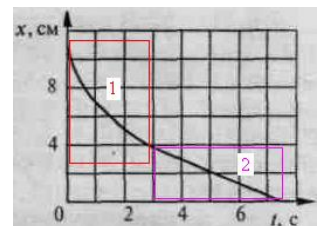
1. массы маятника  $m$  и знание табличного значения ускорения свободного падения  $g$
2. длины нити маятника  $l$  и знание табличного значения ускорения свободного падения  $g$
3. амплитуды колебаний маятника  $A$  и его массы  $m$
4. амплитуды колебаний маятника  $A$  и знание табличного значения ускорения свободного падения  $g$

Период колебаний математического маятника  $\left( T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \right)$  не зависит от амплитуды колебаний (при

условии, что колебания малые), ни от его массы. Верный ответ – 2.

A25. Шарик уронили в воду с некоторой высоты. На рисунке показан график изменения координаты шарика с течением времени. Согласно графику,

1. шарик все время двигался с постоянным ускорением
2. ускорение шарика увеличивалось в течение всего времени движения
3. первые 3 с шарик двигался с постоянной скоростью
4. после 3 с шарик двигался с постоянной скоростью



На приводимом в задаче рисунке можно выделить 2 области. В течение 0 – 3 с скорость движения шарика уменьшалась, но утверждать, что ускорение шарика постоянно, вряд ли возможно, поскольку сила сопротивления воды тем больше, чем выше скорость движения тела. (Не годится 1-й ответ). В области 2 (3 – 5 с) зависимость  $x(t)$  практически линейна, а это значит, что сила тяжести шарика уравновешена силой сопротивления воды, ускорение шарика равно нулю и шарик двигался равномерно со скоростью

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \cong \text{const} \text{ (при любом значении } \Delta t \text{ в указанной области)}. \text{ Верный ответ – 4.}$$

## ЧАСТЬ 2

Ответом к каждому из заданий В1 – В4 будет некоторая последовательность цифр. Эту последовательность надо записать в бланк ответов № 1 справа от номера соответствующего задания без пробелов и каких-либо символов, начиная с первой клеточки. Каждую цифру пишите в отдельной клеточке в соответствии с приведенными в бланке образцами.

В1. В школьной лаборатории изучают колебания пружинного маятника при различных значениях массы маятника. Если увеличить массу маятника, то как изменятся период и частота его колебаний, период изменения его потенциальной энергии?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится                      2) уменьшится                      3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Период колебаний	Частота колебаний	Период изменения потенциальной энергии

Период колебаний пружинного маятника определяется формулой  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ . Если увеличить массу

маятника, то период колебаний увеличится. Частота колебаний  $\nu = \frac{1}{T}$  – уменьшится. Потенциальная энергия

маятника максимальна в моменты максимального отклонения от положения равновесия, то есть достигает максимума 2 раза за период его колебаний. А поскольку период колебаний с ростом массы груза увеличивается, период изменения потенциальной энергии также увеличится.

В2. Плоский воздушный конденсатор подключен к источнику тока. После того как конденсатор зарядился, расстояние между его пластинами уменьшили, не отключая его от источника тока. Что произошло в результате этого с электроемкостью конденсатора, его энергией и напряженностью поля между его обкладками?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась                      2) уменьшилась                      3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Электроемкость конденсатора	Энергия конденсатора	Напряженность поля между обкладками

Электроёмкость конденсатора – это величина, характеризующая сам прибор.  $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$ . Она зависит от его размеров, формы и вида диэлектрика между обкладками, и никак не связана с условиями его использования. Поскольку расстояние  $d$  между его пластинами уменьшили, ёмкость конденсатора увеличилась.

Энергия заряженного конденсатора определяется выражением:  $W = \frac{CU^2}{2}$ . Поскольку ёмкость конденсатора увеличилась, а напряжение не менялось ( $U = \text{const}$  – конденсатор не отключали от источника тока), энергия конденсатора увеличилась. (Источник тока совершил работу, увеличивая заряд конденсатора).

Напряженность поля между обкладками конденсатора связано с напряжением на его обкладках соотношением  $E = \frac{U}{d}$ . Поскольку расстояние  $d$  между пластинами уменьшили, а  $U = \text{const}$ , Напряженность поля между обкладками увеличилась

В3. Укажите, какой процесс, проводимый над идеальным газом, отвечает приведенным условиям ( $V$  – занимаемый газом объем,  $T$  – абсолютная температура газа,  $\nu$  – количество вещества газа,  $p$  – давление газа).

Установите соответствие между условиями проведения процессов и их названиями.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОЦЕССА

ЕГО НАЗВАНИЕ

- 1) изохорный                      2) изобарный



$$\text{А) } \frac{V}{T} = \text{const}, \quad v = \text{const}$$

3) изотермический      4) адиабатный

$$\text{Б) } \frac{p}{T} = \text{const}, \quad v = \text{const}$$

А	Б

Анализ проведем, опираясь на уравнение состояния газа:  $pV = \nu RT$ .

Случай А).  $p = \nu R \frac{T}{V}$ . Поскольку в правой части равенства стоит постоянная величина,  $p = \text{const}$ .

Процесс изобарный.

Случай Б).  $V = \nu R \frac{T}{p}$ . Правая часть равенства – постоянная величина;  $V = \text{const}$  – изохорный процесс.

В4. Фотон с энергией  $E$  движется в вакууме. Пусть  $h$  – постоянная Планка,  $c$  – скорость света в вакууме. Чему равны частота и импульс фотона?

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

ФОРМУЛА

А) Частота фотона

1)  $\frac{hc}{E}$

Б) Импульс фотона

2)  $\frac{E}{c^2}$

3)  $\frac{E}{c}$

4)  $\frac{E}{h}$

А	Б

Поскольку энергия фотона  $E = h\nu$ , его частота:  $\nu = \frac{E}{h}$ . Импульс фотона  $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{E}{c}$

Не забудьте перенести все ответы в бланк ответов № 1.

### ЧАСТЬ 3

Задания С1—С6 представляют собой задачи, полное решение которых необходимо записать в бланке ответов № 2. Рекомендуется провести предварительное решение на черновике. При оформлении решения в бланке ответов № 2 запишите сначала номер задания (С1 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи.

С1. Цветок в горшке стоит на подоконнике. Цветок полили водой и накрыли стеклянной банкой. Когда показалось солнце, на внутренней поверхности банки появилась роса. Почему? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали.

Солнце нагрело землю в цветочном горшке, усилилось испарение воды, увеличилась абсолютная влажность воздуха в пространстве, ограниченном банкой. Температура самой банки практически не изменилась (стекло свет почти не поглощает) и осталась близкой к комнатной температуре. Пары воды, находящиеся во влажном воздухе, соприкасаясь с относительно холодными стенками банки, конденсируются – на стенках появляется роса.

Полное правильное решение каждой из задач С2—С6 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и, при необходимости, рисунок, поясняющий решение.

С2. На гладкой горизонтальной плоскости находится длинная доска массой  $M = 2$  кг. По доске скользит шайба массой  $m = 0,5$  кг. Коэффициент трения между шайбой и доской  $\mu = 0,2$ . В начальный момент времени скорость шайбы  $v_0 = 2$  м/с, а доска покоится. Сколько времени потребуется для того, чтобы шайба перестала скользить по доске?



Поскольку горизонтальная плоскость гладкая, трение между доской и поверхностью отсутствует. Скользящая по доске с трением шайба увлекает за собой доску. Шайба перестанет скользить по доске, как только скорости их движения относительно горизонтальной плоскости («земли») уравниваются и станут равными

$u$ . На основе закона сохранения импульса можно записать:  $M \cdot 0 + m v_0 = (M + m)u$ . Откуда следует:

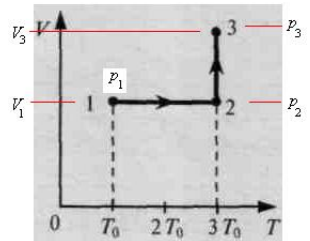
$u = \frac{m}{M + m} v_0$ . Таким образом, относительно «земли» скорость шайбы менялась от  $v_0$  до  $u$  под действием силы трения  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ . Ускорение шайбы относительно «земли» найдём из 2-го закона Ньютона:

$a = \frac{F_{\text{тр}}}{m} = \frac{\mu mg}{m} = \mu g$ . Время движения шайбы можно найти из кинематического соотношения:  $v = v_0 - at$ . В

нашем случае это соотношение запишется так:  $u = v_0 - at$ , или  $\frac{m}{M + m} v_0 = v_0 - \mu g \cdot t$ . Откуда можно найти время, в течение которого шайба перестанет скользить по доске:

$$t = \frac{v_0}{\mu g} \left( 1 - \frac{m}{M + m} \right) = \frac{2}{0,2 \cdot 10} \left( 1 - \frac{0,5}{2 + 0,5} \right) = 0,8 \text{ с.}$$

С3. Один моль одноатомного идеального газа переходит из состояния 1 в состояние 3 в соответствии с графиком зависимости его объема  $V$  от температуры  $T$  ( $T_0 = 100 \text{ К}$ ). На участке 2-3 к газу подводят 2,5 кДж теплоты. Найдите отношение работы газа  $A_{123}$  ко всему количеству подведенной к газу теплоты  $Q_{123}$ .



Введём недостающие обозначения (см. рис.) и охарактеризуем состояния газа:

Состояние 1 ( $p_1, V_1, T_0$ ). (1)

Состояние 2 ( $p_2, V_1, 3T_0$ ). (2)

Состояние 3 ( $p_3, V_3, 3T_0$ ). (3)

Используем 1-е начало термодинамики:  $Q = \Delta U + A$ .

Процесс 1-2 – изохорный. Для него  $A_{12} = 0$  (газ не расширялся и, следовательно, не совершал работу).

Вся сообщенная на участке 1-2 теплота пошла на увеличение внутренней энергии газа:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} R(3T_0 - T_0) = 3RT_0 = 3 \cdot 8,31 \cdot 100 = 2493 \text{ Дж}$$

Поскольку количество теплоты на участке 2-3 известно, общее количество подведенной теплоты

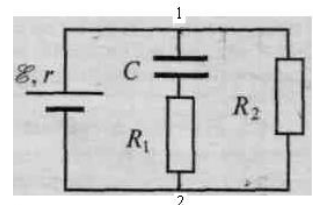
$$Q_{123} = Q_{12} + Q_{23} = 2493 + 2500 = 4993 \approx 5000 \text{ Дж.}$$

Процесс 2-3 – изотермический. Внутренняя энергия газа в этом процессе не меняется, поскольку не меняется температура газа. Вся подводимая к газу теплота идёт на совершение газом работы:

$$Q_{23} = A_{23} = 2500 \text{ Дж.}$$

Полная работа  $A_{123} = A_{12} + A_{23} = 0 + 2500 \text{ Дж}$ . Искомое отношение:  $\frac{A_{123}}{Q_{123}} = \frac{2500}{5000} = 0,5$

С4. Напряженность электрического поля плоского конденсатора (см. рисунок) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника  $r = 10 \text{ Ом}$ , ЭДС  $\varepsilon = 30 \text{ В}$ , сопротивления резисторов  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 40 \text{ Ом}$ . Найдите расстояние между пластинами конденсатора.



Расстояние между пластинами плоского конденсатора можно найти, если использовать связь между напряжением на его обкладках и напряженностью

электрического поля между ними.  $E = \frac{U_c}{d}$ . Участок цепи, содержащий конденсатор

и резистор  $R_1$ , соединён параллельно с резистором  $R_2$ . Напряжение  $U_{12} = I \cdot R_2$  (закон Ома для участка цепи).

Постоянный ток по участку  $R_1 C$  не идёт, а потому падение напряжения на резисторе  $R_1$  отсутствует (равно 0).

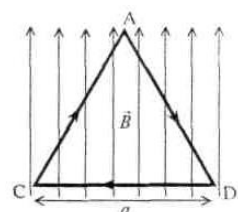
Это означает: во-первых  $U_c = U_{12} = I \cdot R_2$ ;

во-вторых, при отыскании силы тока в цепи участок  $R_1 C$  можно не принимать во внимание и

использовать закон Ома для полной цепи в виде:  $I = \frac{\varepsilon}{R_2 + r}$ . Объединяя записанные формулы, найдём:

$$U_c = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} R_2 \quad \text{и} \quad d = \frac{U_c}{E} = \frac{\varepsilon \cdot R_2}{E(R_2 + r)} = \frac{30 \cdot 40}{24 \cdot 10^3 \cdot (40 + 10)} = 10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}$$

С5. На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жесткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в виде равностороннего треугольника ADC со стороной, равной  $a$  (см. рисунок). Рамка, по которой течет ток  $I$ , находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого  $\vec{B}$  перпендикулярен стороне CD. Каким должен быть модуль индукции магнитного поля,





чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD, если масса рамки  $m$ ?

Сила, действующая на проводник с током, находящийся в магнитном поле (сила Ампера) определяется равенством:  $F = Iba \cdot \sin \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между направлением тока и направлением  $\vec{B}$ .

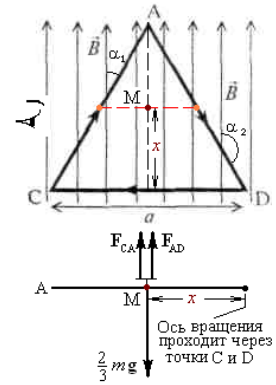
Направление силы Ампера определяется правилом «левой руки»: левую руку располагают так, чтобы силовые линии (вектор  $\vec{B}$ ) входили в ладонь, 4 вытянутых пальца должны быть ориентированы в направлении тока, тогда, отставленный в сторону большой палец, покажет направление силы Ампера.

Используя правило «левой руки», найдём, что сила, действующая на участок CD, направлена вниз, в сторону поверхности стола, и прижимает проводник CD к этой поверхности. Силы ( $\vec{F}_{CA}$  и  $\vec{F}_{AD}$ ), действующие на проводники CA и AD, направлены вверх и стремятся приподнять эти проводники над столом (рис. с векторами действующих на рамку сил внизу). Таким образом, сторону CD можно рассматривать как фиксированную ось вращения.

Величину сил ( $\vec{F}_{CA}$  и  $\vec{F}_{AD}$ ) можно найти, используя закон Ампера:

$F_{CA} = Iba \cdot \sin \alpha_1$  и  $F_{AD} = Iba \cdot \sin \alpha_2$ . Непосредственно из нижнего чертежа видно, что  $\alpha_1 = 30^\circ$  а  $\alpha_2 = 150^\circ$ . Поэтому  $F_{CA} = F_{AD} = 0,5 \cdot Iba$ , а равнодействующая обеих сил, приподнимающая проводники над поверхностью стола  $F = F_{CA} + F_{AD} = Iba$ . Точкой её приложения является центр масс проводников CA и AD. Он расположен в точке M, лежащей на пересечении линии, соединяющей центры указанных проводников и высоты треугольника.

Расстояние  $x$  от оси вращения до точки M – представляет собой плечо силы  $F$ . В таком случае вращающий момент магнитных сил, действующих на проводники CA и AD, будет равен:  $M_B = F \cdot x = Iba x$ . Это хорошо видно, если смотреть на рамку сбоку, расположив глаз в плоскости стола (рисунок в самом низу)



Кроме магнитных сил на проводники CA и AD действует сила тяжести  $\frac{2}{3}mg$ ,

точкой приложения которой также является точка M, центр масс указанных проводников. (Если масса рамки, состоящей из 3-х проводников –  $m$ , то масса двух проводников –  $\frac{2}{3}m$ ). Момент силы тяжести  $M_g = \frac{2}{3}mgx$ .

Очевидно, чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD, должно выполняться неравенство:

$$M_B > M_g, \text{ то есть } Iba x > \frac{2}{3}mgx. \text{ Отсюда следует: } B > \frac{2}{3} \cdot \frac{mg}{Ia}.$$

Сб. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн соответственно  $\lambda_1 = 350$  нм и  $\lambda_2 = 540$  нм. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались

в  $\frac{v_1}{v_2} = 2$  раза. Какова работа выхода электронов с поверхности металла?

Поскольку частота падающих на пластинку фотонов связана с длиной волны соответствующего излучения соотношением  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , уравнение Эйнштейна для фотоэффекта запишется следующим образом.

$$\text{В первом случае: } h \frac{c}{\lambda_1} = A + \frac{mv_1^2}{2}; \quad (1) \quad \text{во втором: } h \frac{c}{\lambda_2} = A + \frac{mv_2^2}{2} = A + \frac{m \left( \frac{v_1}{2} \right)^2}{2} = A + \frac{mv_1^2}{8} \quad (2).$$

Выразим из равенства (2)  $\frac{mv_1^2}{8} = h \frac{c}{\lambda_2} - A$ , или  $\frac{mv_1^2}{2} = 4 \left( h \frac{c}{\lambda_2} - A \right)$ . Подставим найденное значение

кинетической энергии в равенство (1). Получим:  $h \frac{c}{\lambda_1} = A + 4 \left( h \frac{c}{\lambda_2} - A \right)$ . Выразим отсюда величину работы

$$\text{выхода: } 3A = 4h \frac{c}{\lambda_2} - h \frac{c}{\lambda_1} = hc \left( \frac{4}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

$$A = \frac{1}{3} hc \frac{4\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \lambda_2} = \frac{1}{3} \cdot 4,136 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{(4 \cdot 350 - 540) \cdot 10^{-9}}{350 \cdot 10^{-9} \cdot 540 \cdot 10^{-9}} \approx 1,9 \text{ эВ.}$$

В этой формуле использовано значение постоянной Планка  $h = 4,136 \cdot 10^{-15}$  эВ · с, а не  $1,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с. Поэтому результат получился в эВ.