Окунева В.С.

Логика анализа содержания заданий ЕГЭ по физике

(на примере типовых заданий 2011 года)

Вариант 4

ЧАСТЬ 1

А1. Период равномерного движения материальной точки по окружности равен *T,* радиус окружности *R*. Точка пройдет по окружности путь, равный πR за время

1) $2T$ 2) $\frac{T}{2}$ 3) $\frac{T}{2\pi}$ 4) $\frac{T}{\pi}$

Вращательное движение – движение периодическое. Период – это время одного полного оборота. Следовательно, за период точка пройдёт путь, равный длине окружности $2\pi R$. Вдвое меньшее расстояние πR точка пройдёт за половину периода. Ответ 2.

А2. Полосовой магнит массой m поднесли к массивной стальной плите массой *M*. Сравните силу действия магнита на плиту F_1 с силой действия плиты на магнит F_2.

1) $F_1 = F_2$ 2) $F_1 > F_2$ 3) $F_1 < F_2$ 4) $\frac{F_1}{F_2} = \frac{m}{M}$.

На основании 3-го закона Ньютона: $F_1 = F_2$

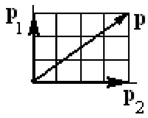
А3. При движении по горизонтальной поверхности на тело массой 40 кг действует сила трения скольжения 10 Н. Какой станет сила трения скольжения после уменьшения массы тела в 5 раз, если коэффициент трения не изменится?

1) 1 Н 2) 2 Н 3) 4 Н 4) 5 Н

$F_{\text{тр}} = \mu N$, где реакция опоры $N = |mg|$ – весу тела, то есть $F_{\text{тр}} = \mu mg$. При уменьшении массы тела в 5 раз $\left(m' = \frac{m}{5}\right)$, в 5 раз уменьшится и сила трения: $F'_{\text{тр}} = \mu \frac{m}{5} g = \frac{1}{5}\mu mg = \frac{1}{5} F_{\text{тр}} = \frac{10}{5} = 2$ Н.

А4. Перед столкновением два мяча движутся взаимно перпендикулярно, первый – с импульсом $p_1 = 3\,\text{кг}\cdot\text{м/с}$, а второй – с импульсом $p_2 = 4\,\text{кг}\cdot\text{м/с}$. Чему равен модуль импульса системы мячей сразу после столкновения? Время столкновения считать малым, а столкновение – абсолютно упругим.

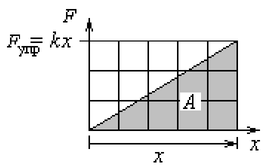
1) 0 2) 1 кг-м/с 3) 5кг-м/с 4) 7 кг-м/с.



Импульс системы мячей $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$ находится как векторная сумма импульсов обоих мячей (надо нарисовать чертёж). Модуль импульса находится из чертежа по теореме Пифагора: $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5\,\text{кг}\cdot\text{м/с}$.

А5. Первая пружина имеет жесткость 20 Н/м, вторая – 40 Н/м. Обе пружины растянуты на 1 см. Отношение потенциальных энергии пружин E_2/E_1 равно

1) 1 2) 2 3) $\sqrt{2}$ 4) 4.



Потенциальная энергия растянутой пружины определяется равенством $E = \frac{kx^2}{2}$. Отношение $\frac{E_2}{E_1} = \frac{k_2 x^2}{k_1 x^2} = \frac{k_2}{k_1} = 2$.

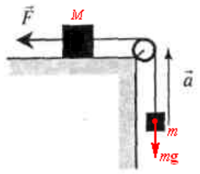
Пояснение к рисунку: Потенциальная энергия растянутой пружины $E = A$ – работе, совершаемой внешними силами $(F = kx)$, растягивающими эту пружину. Геометрически работа A может быть найдена как площадь треугольника, отмеченного серым цветом $A = \frac{1}{2} x \cdot kx$.

А6. Для экспериментального определения скорости звука ученик встал на расстоянии 30 м от стены и хлопнул в ладоши. В момент хлопка включился электронный секундомер, который выключился отраженным звуком. Время, отмеченное секундомером, равно 0,18 с. Какова скорость звука, определенная учеником?

1) 167 м/с 2) 333 м/с 3) 380 м/с 4) 540 м/с

За время $t = 0{,}18$ с звук дошел до стены и, отразившись (эхо), вернулся обратно. Всего звук прошел $s = 2 \cdot 30 = 60$ м. Скорость звука $v = \frac{s}{t} = \frac{60}{0{,}18} = 333\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Движение звуковой волны равномерное, так как в любой среде звук распространяется с постоянной скоростью.

А7. Груз, лежащий на столе, связан легкой нерастяжимой нитью, переброшенной через идеальный блок с грузом массой 0,25 кг. На первый груз действует горизонтальная постоянная сила **F**, равная по модулю 9 Н (см. рисунок). Второй груз начал двигаться с ускорением 2 м/с2, направленным вверх. Трением между грузом и поверхностью стола пренебречь. Какова масса (*M*) первого груза?



1)1,0 кг 2) 1,5 кг 3)2,5 кг 4) 3,0 кг

Уравнение движения (2-й закон Ньютона) запишется так: $F - mg = (M + m)a$.

После подстановки данных: $9 - 0{,}25 \cdot 10 = M \cdot 2 + 0{,}25 \cdot 2$ Откуда следует: $M = \dfrac{9 - 2{,}5 - 0{,}5}{2} = 3\,\text{кг}$.

А8. Концентрацию молекул одноатомного идеального газа уменьшили в 5 раз. Одновременно в 2 раза увеличили среднюю энергию хаотичного движения молекул газа. В результате этого давление газа в сосуде

1) снизилось в 5 раз 2)возросло в 2 раза 3) снизилось в $\dfrac{5}{2}$ раза 4) снизилось в $\dfrac{5}{4}$ раза

Давление идеального одноатомного газа зависит от концентрации и средней кинетической энергии его молекул: $p = \dfrac{2}{3} n\overline{E}$. Так что, после изменения указанных величин, давление газа

$p' = \dfrac{2}{3} \cdot \dfrac{n}{5} \cdot 2\overline{E} = \dfrac{2}{5} \cdot \left(\dfrac{2}{3} n\overline{E}\right) = \dfrac{2}{5} p$, то есть возросло в $\dfrac{2}{5}$ раза, или снизилось в $\dfrac{5}{2}$ раза.

А9. В воздушном насосе перекрыли выходное отверстие и быстро сжали воздух в цилиндре насоса. Какой процесс происходит с воздухом в цилиндре насоса?

1) изобарный 2) изохорный 3) изотермический 4) адиабатный

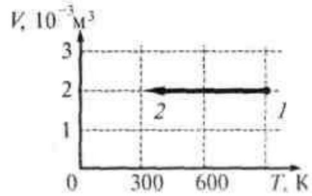
Адиабатный, поскольку при быстром сжатии теплообмен с окружающей средой практически не имеет места $(\Delta Q \approx 0 \text{ или } Q \approx \text{const})$.

А10. Температура медного образца массой 100 г повысилась с 20 °С до 60 °С. Какое количество теплоты получил образец?

1) 760 Дж 2) 1520Дж 3) 3040 Дж 4) 2280Дж

Количество теплоты, которое получил образец $Q = cm(t_\text{к} - t_\text{н})$, где $c = 380\,\text{Дж/кгК}$ – удельная теплоёмкость меди. *Удельная теплоёмкость показывает, какое количество теплоты (в нашем случае* 380 Дж*) необходимо передать телу массой* 1 кг*, чтобы нагреть его на* 1 К. По условию задачи надо нагреть 0,1 кг меди на 60–20=40 оС = 40 К. $Q = 380 \cdot 0{,}1 \cdot 40 = 1520\,\text{Дж}$.

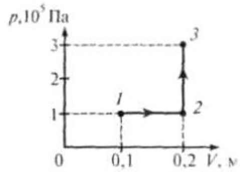
А11. На рисунке показан график изменения состояния постоянной массы газа. В этом процессе газ отдал количество теплоты, равное 3 кДж, в результате чего его внутренняя энергия уменьшилась на



1) 1,2 кДж 2) 1,8 кДж 3) 2,4 кДж 4) 3 кДж

Задача на 1-й закон термодинамики. На графике изображен изохорический процесс $(V = \text{const или } \Delta V = 0)$, при котором работы газ не совершает $(p \cdot \Delta V = 0)$. А это означает, что газ передал окружающей среде теплоту за счёт уменьшения своей внутренней энергии: $\Delta U = \Delta Q = 3$ кДж.

А12. Какую работу совершает газ при переходе из состояния 1 в состояние 3?



1) 10 кДж 2) 20 кДж 3) 30 кДж 4) 40 кДж

$A = A_{12} + A_{23}$. Процесс 1–2 изобарный.

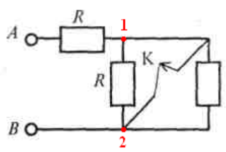
Работа. изобарного процесса: $A_{12} = p \cdot \Delta V = 1 \cdot 10^5 \cdot (0{,}2 - 0{,}1) = 10^4\,\text{Дж} = 10\,\text{кДж}$.

Процесс2–3 изохорный $(\Delta V = 0)$. Газ работы не совершает $(p \cdot \Delta V = 0)$. $\Rightarrow$ $A = A_{12} = 10\,\text{кДж}$

А13. Плоский воздушный конденсатор имеет ёмкость *C*. Как изменится его емкость, если расстояние между его пластинами уменьшить в 3 раза?

1) увеличится в 3 раза 2) уменьшится в 3 раза 3) увеличится в 9 раз 4) уменьшится в 9 раз

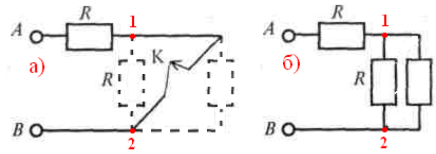
Ёмкость плоского воздушного конденсатора $C = \dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$. Если расстояние d между пластинами уменьшить в 3 раза $d' = \dfrac{d}{3}$, ёмкость конденсатора увеличится в 3 раза. Отв.1).



А14. Как изменится сопротивление участка цепи АВ, изображенного на рисунке, если

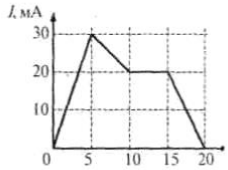
ключ К разомкнуть? Сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.
1) уменьшится на 4 Ом 2) уменьшится на 2 Ом 3) увеличится на 2 Ом 4) увеличится на 4 Ом.

Если ключ замкнут (схема а), сопротивление участка 1–2 равно нулю. И тогда сопротивление участка АВ равно $R = 4\,\text{Ом}$.



При разомкнутом ключе (схема б) можно считать, что ключа не существует. Тогда сопротивление параллельно соединенных резисторов равно $R_{12} = \frac{R}{2} = 2\,\text{Ом}$, (находится по формуле $\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$) а $R_{\text{AB}} = 4 + 2 = 6\,\text{ом}$ (последовательное соединение), то есть R_{AB} увеличится на 2 Ом.

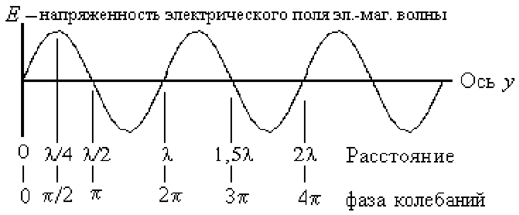
A15. На рисунке приведен график зависимости силы тока от времени в электрической цепи, индуктивность которой 1 мГн. Определите модуль среднего значения ЭДС самоиндукции в интервале времени от 10 до 15 с.
1) 2 мкВ 2) 3 мкВ 3) 5 мкВ 4) 0



В интервале (10 – 15) с сила тока не меняется $(\Delta I = 0)$, следовательно $\varepsilon_s = L\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$.

A16. Плоская электромагнитная волна с длиной волны $\lambda = 8$ м распространяется вдоль оси y декартовой системы координат. Чему равен модуль разности фаз электромагнитных колебаний в начале координат и в точке М с координатами $x = 2$ м, $y = 4$ м, $z = 4$ м?
1) 0 2) $\pi/4$ 3) $\pi/2$ 4) π

Фронт плоской волны, распространяющейся вдоль оси y, представляет собой плоскость $x0z$, перемещающуюся вдоль указанной оси y. Поэтому на координаты x и z точки М можно не обращать внимания, поскольку волна вдоль осей x и z не перемешается. Учитывая, что на расстоянии λ фаза колебаний меняется на 2π радиан (волновое число $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Этого понятия в школьном учебнике я не нашел), на расстоянии $y = 4\,\text{м} = \frac{\lambda}{2}$, фаза колебаний изменится на π радиан. Можно увидеть это на графике «мгновенной фотографии» волны (см. рис). Фаза – это то, что стоит в уравнениях колебания или волны под знаками sin или cos.



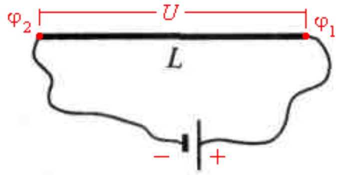
A17. При освещении дифракционной решетки монохроматическим светом на экране, установленном за ней, возникает дифракционная картина, состоящая из темных и светлых вертикальных полос.
В первом опыте расстояние между светлыми полосами оказалось больше, чем во втором, а во втором больше, чем в третьем. В каком из ответов правильно указана последовательность цветов монохроматического света, которым освещалась решетка?
1)1 красный, 2 зеленый, 3 синий. 2) 1 красный, 2 синий, 3 зеленый.
3) 1 зеленый, 2 синий, 3 красный 4) 1 синий, 2 зеленый 3 красный.

Из условия главных max, даваемых дифракционной решеткой $d\sin\varphi = k\lambda$ следует, что большей длине волны λ соответствует больший угол φ отклонения света. Это условие определяет последовательность цветов: 1)1 красный, 2 зеленый, 3 синий, поскольку $\lambda_{\text{кр}} > \lambda_{\text{зел}} > \lambda_{\text{син}}$.

A18. Для описания любых физических процессов
А. Все системы отсчета являются равноправными.
Б. Все инерциальные системы отсчета являются равноправными.
Какое из этих утверждений справедливо согласно специальной теории относительности?
1)только А 2) только Б 3) и А, и Б 4) ни А, ни Б.

Ответ содержится в 1-м постулате теории относительности. Принцип относительности: «Все процессы природы протекают одинаково во всех **инерциальных** системах отсчёта». Ответ – Б.
Системы называются инерциальными, если они движутся относительно друг друга с постоянной скоростью.
Системы, движущиеся с ускорением, инерциальными не являются (например, равномерно вращающаяся система) Для описания движения тел в таких системах приходится вводить «фиктивные» силы – силы инерции.

A19. В электрическую цепь включена медная проволока длиной L = 20 см. При напряженности электрического поля 50 В/м сила тока в проволоке равна 2 А. К концам проволоки приложено напряжение
1) 10 В 2) 20 В 3) 40 В 4) 50 В



Электрическое поле внутри *прямолинейной* ***однородной*** проволоки также однородно. Если проводник изогнут, величина напряженности электрического поля внутри проводника $E = \text{const}$.

Задача легко решается, если вспомнить связь между напряженностью поля E и разностью потенциалов $U = \varphi_1 - \varphi_2$ на её концах: $E = \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{L} = \dfrac{U}{L}$. Из этой формулы следует: $U = E \cdot L = 50 \cdot 0{,}2 = 10\ \text{В}$. Мы учли, что в СИ $L = 20\ \text{см} = 0{,}2\ \text{м}$. Используя данные задачи, можно найти и сопротивление проволоки. Из закона Ома для участка цепи $I = \dfrac{U}{R}$ следует: $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{10}{2} = 5\ \text{Ом}$. Но это уже другая задача, хотя и на ту же тему.

А20. Один лазер излучает монохроматический свет с длиной волны $\lambda_1 = 300$ нм, другой – с длиной волны $\lambda_2 = 700$ нм. Отношение импульсов p_1/p_2 фотонов, излучаемых лазерами, равно

1) $7/3$ 2) $3/7$ 3) $\sqrt{7/3}$ 4) $\sqrt{3/7}$

Энергия фотона зависит от его частоты: $\varepsilon = h\nu$; импульс фотона – $p = \dfrac{h\nu}{c} = \dfrac{h}{\lambda}$ определяется длиной волны светового излучения. Поэтому $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{h/\lambda_1}{h/\lambda_2} = \dfrac{\lambda_2}{\lambda_1} = \dfrac{700}{300} = \dfrac{7}{3}$. Здесь учтено, что $\lambda = cT = \dfrac{c}{\nu}$.

А21. В результате реакции синтеза ядра дейтерия с ядром ${}^{X}_{Y}Z$ образуется ядро бора и нейтрон в соответствии с реакцией: ${}^{2}_{1}H + {}^{X}_{Y}Z \to {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$. Каковы массовое число X и заряд Y (в единицах элементарного заряда) ядра, вступившего в реакцию с дейтерием?

1) X = 11 Y=5 2) X = 10 Y=5 3) X = 9 Y=4 4)X=10 Y=4

В ядерных реакциях выполняются законы сохранения заряда и массовых чисел. В соответствии с этими законами запишем: для заряда: 1+Y = 5+0. Откуда следует: Y = 5-1 = 4.

Для массовых чисел: 2+X = 10+1. $\Rightarrow$ X=10+1–2 =9. Ядро дейтерия было захвачено ядром изотопа бериллия ${}^{9}_{4}Be$, что привело к образованию возбужденного промежуточного ядра ${}^{11}_{5}B$, которое распалось, испустив нейтрон. Полная схема реакции – ${}^{2}_{1}H + {}^{X}_{Y}Z \to \left({}^{10}_{5}B\right) \to {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$

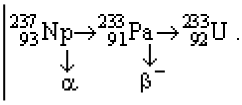
А22. В образце, содержащем изотоп нептуния ${}^{237}_{93}Np$, происходят реакции его превращения в уран ${}^{237}_{93}Np \to {}^{233}_{91}Pa \to {}^{233}_{92}U$. При этом регистрируются следующие виды радиоактивного излучения:

1) только α – частицы 2) только β – частицы
3) и α –, и β – частицы одновременно 4) только γ – частицы

Задача решается на основе сохранения заряда и массовых чисел.

На первом этапе заряд уменьшился на 93–91 = 2 элементарных заряда.. Массовое число уменьшилось на 237–233 = 4 единицы. Это означает, что была испущена α – частица (ядро атома ${}^{4}_{2}He$).

На втором этапе заряд возрос на 1, а массовое число не изменилось. Это означает, что был испущен электрон ${}^{0}_{-1}e = \beta^-$ – частица. Полную ядерную реакцию распада можно представить следующим образом: (рисунок справа).



А23. Работа выхода электрона из металла $A_{\text{вых}} = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж. Найдите максимальную длину волны λ излучения, которым могут выбиваться электроны.

1) 660нм 2) 66 нм 3)6,6нм 4) 6600 нм

Максимальной длине волны света соответствует минимальная энергия фотон, которой ещё достаточно, чтобы выбить электрон. При этом кинетическая энергия выбитого электрона будет равна нулю. Таким образом, речь идёт о красной границе фотоэффекта, для которой уравнение Эйнштейна можно записать так: $h\nu = A_{\text{вых}}$, или $h\dfrac{c}{\lambda} = A_{\text{вых}}$. Откуда следует:

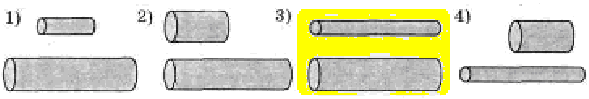
$$\lambda = \frac{hc}{A_{\text{вых}}} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{3 \cdot 10^{-19}} = 6{,}6 \cdot 10^{-7}\ \text{м} = 660\ \text{нм}$$

А24. Чтобы определить массу гвоздя, на рычажные весы несколько раз кладут по N = 50 таких гвоздей. Взвешивание показывает, что их общая масса M = (300 ± 5) г. Чему равна масса одного гвоздя?

1) (6±5)г 2) (6,0 ±0,1) г 3) (6 + 1)г 4) (6,00 ±0,01) г

Увеличивая число одновременно взвешиваемых гвоздей, мы тем самым уменьшаем абсолютную погрешность результатов взвешивания одного гвоздя в N раз.

А25. Проводники изготовлены из одного и того же материала. Какую пару проводников нужно выбрать, чтобы на опыте обнаружить зависимость сопротивления проволоки от ее диаметра?



Поскольку $R=\rho\frac{l}{S}$, выбирать нужно проводники одинаковой длины. Так можно исключить влияние длины проводника на его сопротивление.

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 цилиндре под поршнем находятся вода и насыщенный водяной пар. Поршень медленно ***изотермически*** вдвигают в цилиндр. Как меняются при этом давление водяного пара, его масса и масса воды в цилиндре?

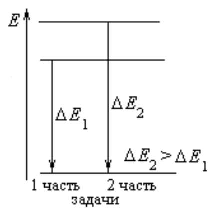
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1) увеличивается 2) уменьшается 3) не изменяется

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

Пар в цилиндре находится в состоянии насыщения. При заданной температуре по мере уменьшения объёма под поршнем, насыщенный пар будет конденсироваться. При этом (см.таблицу)

Давление водяного пара в цилиндре	Масса водяного пара в цилиндре	Масса воды в цилиндре
3	2	1



В2. Атом переходит из возбужденного состояния в основное, излучая при этом фотон. Как изменится энергия этого фотона, его частота и длина волны, если во втором случае атом переходит в основное состояние ***из возбужденного состояния с более высокой энергией***, чем в первом случае?

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.

Энергия излучаемого фотона	Частота излучаемого фотона	Длина волны излучаемого фотона
1	1	2

Энергия излучаемого фотона определяется разностью энергий возбужденного и основного состояний: $\Delta E = E_n - E_k$.

Энергия фотона пропорциональна его частоте $\Delta E = h\nu$.

Длина воны фотона связана с частотой излучения соотношением: $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$.

В3. Какими основными закономерностями описываются отражение и преломление света?
Установите соответствие между физическими явлениями и основными закономерностями, которые их описывают.
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ	ОСНОВНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ
А) Отражение света	1) $n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$
Б) Преломление света	2) $\alpha > \alpha_{пр}$
	3) $\alpha = \beta$
	4) $\alpha + \beta = \pi$

А	Б
3	1

В4. Маленький массивный шарик, привязанный на легкой нерастяжимой длинной нити к потолку, совершает колебания в вертикальной плоскости. Максимальное отклонение нити от вертикали равно 60°. Как направлены ускорение шарика и его скорость в момент прохождения положения равновесия? Сопротивлением воздуха пренебречь. *Установите соответствие между векторами и их направлениями. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.*

ВЕКТОР ЕГО НАПРАВЛЕНИЕ

А) Ускорение шарика
Б) Скорость шарика

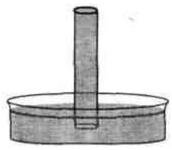
1) вертикально вверх
2) вертикально вниз
3) горизонтально
4) вверх под углом 30° к горизонту

А	Б
1	3

ЧАСТЬ 3

Задания С1–С6 представляют собой задачи, полное решение которых необходимо записать в бланке ответов М 2. Рекомендуется провести предварительное решение на черновике. При оформлении решения в бланке ответов М 2 запишите сначала номер задания (С1 и т.д.), а затем решение соответствующей задачи.

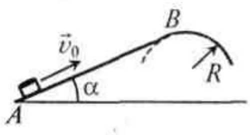
С1. Широкую стеклянную трубку длиной около полуметра, запаянную с одного конца, целиком заполнили водой и установили вертикально открытым концом вниз, погрузив низ трубки на несколько сантиметров в тазик с водой (см. рисунок). При комнатной температуре трубка остается целиком заполненной водой. Воду в тазике медленно нагревают. Где установится уровень воды в трубке, когда вода в тазике начнет закипать? Ответ поясните, указав, какие физические явления и закономерности вы использовали.



Как только вода начнет закипать, трубка заполнится насыщенным паром, давление которого будет равно атмосферному. Поэтому уровень воды в трубке и в тазике сравняются.

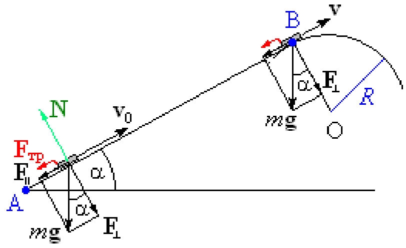
Полное правильное решение каждой из задач С2—С6 должно включать законы и формулы, применение которых необходимо и достаточно для решения задачи, а также математические преобразования, расчеты с численным ответом и, при необходимости, рисунок, поясняющий решение.

С2. Небольшая шайба после удара скользит вверх по наклонной плоскости из точки А (см. рисунок). В точке В наклонная плоскость без излома переходит в наружную поверхность горизонтальной трубы радиусом R. Если в точке А скорость шайбы *превосходит* $v_0 = 4$ м/с, то в точке В шайба отрывается от опоры. Длина наклонной плоскости АВ $= L = 1$м, угол $\alpha = 30°$. Коэффициент трения между наклонной плоскостью и шайбой $\mu = 0{,}2$. Найдите внешний радиус трубы R.



Из условия задачи следует что, при начальной скорости $v_0 = 4$ м/с, шайба продолжит движение по поверхности трубы, т.е. не оторвётся.

Это означает, что в точке В шайба должна начать двигаться с такой скоростью v, при которой её центростремительное ускорение $a_{цс}$ обеспечило бы ей движение по окружности радиуса R. Необходимое ускорение $a_{цс} = \dfrac{v^2}{R}$, шайбе обеспечивает направлен-ная к центру трубы (к точке О на чертеже) составляющая силы тяжести $F_\perp = mg\cos\alpha$, перпендикулярная поверхности трубы. Радиус трубы может быть найден из основного уравнения динамики (2-й закон Ньютона: $F_\perp = ma_{цс}$) $\quad mg\cos\alpha = m\dfrac{v^2}{R}$. $\Rightarrow$



$$R = \frac{v^2}{g\cos\alpha} \qquad (1).$$

Для нахождения скорости шайбы в точке В можно воспользоваться либо формулами кинематики и динамики (а), либо законом сохранения энергии (б).

а) При движении вверх по плоскости шайбе придется преодолевать скатывающую силу $F_\parallel = mg\sin\alpha$ и силу трения $F_{тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$. N – реакция опоры. В результате шайба будет двигаться замедленно с ускорением $|a| = \dfrac{F_\parallel + F_{тр}}{m} = \ldots = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$. Если обозначить время подъёма шайбы до точки В через t, можно записать 2 уравнения: $v = v_0 - at \;\Rightarrow\; \left(t = \dfrac{v_0 - v}{a}\right)$ и $L = v_0 t - \dfrac{at^2}{2}$.

Подставив в последнее уравнение времени t, получим, получим после математических преобразований: $L = v_0\dfrac{v_0 - v}{a} - \dfrac{a}{2}\cdot\left(\dfrac{v_0 - v}{a}\right)^2 = \ldots = \dfrac{v_0^2 - v^2}{2a}$. Откуда следует: $v^2 = v_0^2 - 2aL$, или, после подстановки значения ускорения a: $\quad v^2 = v_0^2 - 2L\cdot g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)$.

Подставив значение v^2 в уравнение (1) получим: $R = \dfrac{4^2 - 2\cdot 1\cdot 10\left(\sin 30^\circ + \mu\cos 30^\circ\right)}{10\cos 30^\circ} \approx 0{,}3\,\text{м}$.

б) Величину v^2 можно найти из закона сохранения энергии.

Минимальное значение кинетической энергии шайбы в точке A $\rightarrow$ $W_0 = \dfrac{mv_0^2}{2}$.

За счёт этой энергии шайба совершает работу по подъёму на высоту $h = L\sin\alpha$: $A_1 = mgh = mgL\sin\alpha$ и работу против сил трения $A_2 = F_{\text{тр}}L = \mu\, mgL\cos\alpha$.

Поскольку оставшаяся часть энергии шайбы и есть её кинетическая энергия $W = \dfrac{mv^2}{2}$ в точке B, можно записать: $W = W_0 - A_1 - A_2$, или $\dfrac{mv^2}{2} = \dfrac{mv_0^2}{2} - mgL\sin\alpha - \mu\, mgL\cos\alpha$, откуда следует:

$$v^2 = v_0^2 - 2L\cdot g\left(\sin\alpha + \mu\cos\alpha\right)..$$

Ещё одна возможность – работу против скатывающей силы $F_{||}$ и силы трения $F_{\text{тр}}$ можно найти сразу, по формуле: $A = A_1 + A_2 = \left(F_{||} + F_{\text{тр}}\right)\cdot L$, подставив в неё значения указанных сил.

С3. В калориметре находился 1 кг-(M) льда. Чему равна первоначальная температура (t_1) льда, если после добавления в калориметр 15 г (m) воды, имеющей температуру 20 °С (t_2) в калориметре установилось тепловое равновесие при $\theta = -2$ °С? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью калориметра пренебречь.

Поскольку тепловое равновесие в калориметре установилось *при отрицательной температуре* $\theta = -2^\circ\text{C}$, лёд в калориметре ($M$ = 1 кг) не растаял, а только изменил свою температуру от $t_1 = ?$ до температуры θ. При этом лёд получил некоторое количество тепла: $Q_1 = c_{\text{льда}}M\left(\theta - t_1\right)$

Добавленная в калориметр вода отдала теплоту: 1) $Q_2 = c_{\text{воды}}m\cdot\left(t_2 - 0\right)$ в процессе своего охлаждения до 0 ₒС, 2) $Q_3 = \lambda m$ в процессе превращения в лёд, и 3) $Q_4 = c_{\text{льда}}m\left(0 - \theta\right)$ в процессе охлаждения образовавшегося из воды льда.

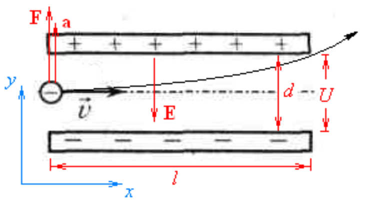
Уравнение теплового баланса (закон сохранения энергии): $Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4$, или

$$c_{\text{льда}}M\left(\theta - t_1\right) = c_{\text{воды}}m\cdot\left(t_2 - 0\right) + \lambda m + c_{\text{льда}}m\left(0 - \theta\right)$$

позволяет найти начальную температуру льда: $t_1 = \theta - \dfrac{m\cdot\left[c_{\text{воды}}\left(t_2 - 0\right) + \lambda + c_{\text{льда}}\left(0 - \theta\right)\right]}{c_{\text{льда}}M} \approx -5\ ^\circ\text{C}$.

В приведенных формулах λ – удельная теплота плавления льда, $c_{\text{воды}}$ и $c_{\text{льда}}$ – удельные теплоёмкости воды и льда соответственно. *Температуру подставлять в формулу со знаками.*

С4. Пылинка, имеющая массу $m = 10^{-8}$ г и заряд $q = (-1{,}8)\cdot 10^{-14}$ Кл, влетает в электрическое поле конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок). Чему должна быть равна минимальная скорость, с которой пылинка влетает в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его насквозь? Длина пластин конденсатора l=10 см, расстояние между пластинами d=1 см, напряжение на пластинах конденсатора U=5000 В. Силой тяжести пренебречь. Система находится в вакууме.



Рассмотрим отдельно движение в горизонтальном и вертикальном направлениях.

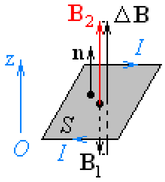
Движение по оси x – равномерное, так как в горизонтальном направлении на пылинку никакие силы не действуют. Поэтому, двигаясь с минимальной скоростью v, пылинка проходит расстояние l за время

$$t = \frac{l}{v}. \qquad (1).$$

В вертикальном направлении (*вдоль оси y*) на пылинку действует кулоновская сила $F = |q|\cdot E$, а потому движение пылинки будет ускоренным (2-й закон Ньютона): $a = \dfrac{F}{m} = \dfrac{|q|\cdot E}{m} = \dfrac{|q|}{m}\cdot\dfrac{U}{d}$. (2) Здесь мы учли, что поле в плоском конденсаторе однородное и напряженность электрического поля связана с напряжением между обкладками конденсатора соотношением: $E = \dfrac{U}{d}$.

Поскольку в вертикальном направлении пылинка начальной скорости не имеет, за время t она должна пройти расстояние не более $\dfrac{d}{2}=\dfrac{at^2}{2}$ (*иначе не сможет вылететь из конденсатора*), или $d=at^2$. Подставив в последнюю формулу значения времени движения (1) и ускорения пылинки (2), получим выражение:

$d=\dfrac{|q|U}{md}\cdot\left(\dfrac{l}{v}\right)^2$, откуда найдём: $v=\sqrt{\dfrac{|q|Ul^2}{md^2}}=\sqrt{\dfrac{1{,}8\cdot10^{-14}\cdot5000\cdot\left(0{,}1^2\right)}{10^{-11}\cdot(0{,}01)^2}}=30\ \text{м/с}$.



С5. Плоская горизонтальная фигура площадью $S=0{,}1\ \text{м}^2$, ограниченная проводящим контуром с сопротивлением $R=5$ Ом, находится в однородном магнитном поле. Пока проекция вектора магнитной индукции на вертикальную ось *Oz* медленно и равномерно возрастает от $B_1=-0{,}15$ Тл до некоторого конечного значения B_2, по контуру протекает заряд $\Delta q=0{,}008$ Кл. Найдите B_2.

В соответствии с основным законом электромагнитной индукции, ε_i, возникающая в проводящем контуре, при изменении индукции магнитного поля определяется выражением:

$|\varepsilon_i|=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{\Delta B\cdot S}{\Delta t}=\dfrac{(B_2-B_1)\cdot S}{\Delta t}$. Здесь (по определению) магнитный поток $\Phi=B\cdot S$, а его изменение

$\Delta\Phi=\Delta B\cdot S$. Ток в контуре найдем по закону Ома для замкнутой цепи: $I=\dfrac{|\varepsilon_i|}{R}=\dfrac{(B_2-B_1)\cdot S}{R\cdot\Delta t}$. (1)

(Направление индукционного тока, хотя и не имеет значения в данной задаче, определяется правилом Ленца: Ток должен создавать магнитное поле **B**' *такого направления, чтобы оно компенсировало «причину, его вызывающую», то есть это поле должно быть направлено против* $\Delta\mathbf{B}$. Направление тока, *способного создать магнитное поле* **B**'↓↑ Δ**B** (**B**' *на рисунке отсутствует*), *указано на рисунке»).*

А поскольку по определению силы тока $I=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}$, величина протекающего по контуру заряда (см. 1)

$\Delta q=I\cdot\Delta t=\dfrac{(B_2-B_1)\cdot S}{R}$. В таком случае: $B_2=B_1+\dfrac{\Delta q\cdot R}{S}=-0{,}15+\dfrac{0{,}008\cdot5}{0{,}1}=0{,}25\ \text{Тл}$.

В тексте решения слишком много ссылок и определении (Таковы требования, сформулированные перед началом задачи С2). *Рекомендуется самостоятельно оформить решение задачи, без мешающей восприятию информации, а затем добавить необходимые ссылки на законы и определения.*

С6. Препарат, активность которого $\left(A=\dfrac{\Delta N}{\Delta t}\right)$ равна $1{,}7\cdot10^{12}$ частиц в секунду, помещен в калориметр, заполненный водой при 293 К ($t=20\ ^{o}$С). Сколько времени (τ) потребуется, чтобы довести до кипения $m=10$ г воды, если известно, что данный препарат испускает α – частицы энергией $\varepsilon=5{,}3$ МэВ, причем энергия всех α – частиц полностью переходит во внутреннюю энергию? Теплоемкостью препарата, калориметра и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

Чтобы довести воду до кипения, необходимо сообщить ей энергию $W=Q=cm(t_{\text{кип}}-t)$. Такую энергию могут передать воде *N* частиц: $N=\dfrac{\Delta N}{\Delta t}\tau$, а передаваемая ими энергия $W=N\varepsilon=\dfrac{\Delta N}{\Delta t}\tau\cdot\varepsilon$.

На основании закона сохранения энергии: $\dfrac{\Delta N}{\Delta t}\tau\cdot\varepsilon=cm(t_{\text{кип}}-t)$, откуда

$$\tau=\frac{cm(t_{\text{кип}}-t)}{\varepsilon}\cdot\frac{\Delta t}{\Delta N}=\frac{cm(t_{\text{кип}}-t)}{\varepsilon A}=\frac{4{,}2\cdot10^3\cdot0{,}01\cdot(100-20)}{8{,}48\cdot10^{-13}\cdot1{,}7\cdot10^{12}}=2331\ \text{с}\approx39\ \text{мин}$$

При подстановке данных в последнюю формулу учтено, что энергия α – частицы:

$$\varepsilon=5{,}3\ \text{МэВ}=eU=1{,}6\cdot10^{-19}\ \text{Кл}\cdot1\ \text{В}=8{,}48\cdot10^{-13}\ \text{Дж},$$

теплоёмкость воды $c=4{,}2\cdot10^3$ Дж/кг·К, а температура её кипения $t_{\text{кип}}=100^{o}$ С.