Олимпиада «Покори Воробьёвы горы!» по физике

10 класс, 2023 год

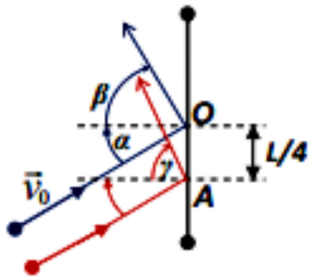
Билет 5

Задание 1

Вопрос. Гантель из двух маленьких шайб, соединённых прямым жестким стержнем длины L, скользит по ровной поверхности. В некоторый момент времени шайбы движутся перпендикулярно стержню в одну сторону со скоростями v и $2v$. С какой угловой скоростью вращается стержень гантели в этот момент времени? Ответ объяснить.

$\boxed{\omega = \frac{v}{L}}$

Задача. Гантель из двух одинаковых массивных маленьких шайб, соединённых легким прямым гладким жёстким стержнем, покоилась на гладкой горизонтальной поверхности. Еще одна маленькая однородная цилиндрическая шайба скользила по этой поверхности со скоростью v_0 и нанесла упругий удар по стержню гантели в его середине — точке O. Угол падения (между $\vec{v}_0$ и нормалью к стержню в точке удара) был равен $\alpha = 30°$, а угол отражения (см. рис.) $\beta = 60°$. После этого гантель вернули на место, и ту же шайбу запустили ещё раз — с той же скоростью $\vec{v}_0$, но так, что теперь удар пришёлся в точку A, находящуюся на расстоянии $x = L/4$ от центра стержня. Найдите величину угла отражения шайбы γ при этом ударе.



$\boxed{\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{3+(x/L)^2}{1-(x/L)^2}\operatorname{tg}\alpha\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{13}{3\sqrt{3}}\right) \approx 68°}$

Задание 2

Вопрос. Влажный воздух в герметичном сосуде при 100 °C имеет относительную влажность 60% и давление 1 Атм. Каким станет его давление после изотермического уменьшения объёма сосуда в два раза? Ответ дайте в атмосферах.

$\boxed{1{,}8\ \text{атм}}$

Задача. В цилиндрическом герметичном сосуде с гладкими стенками под лёгким подвижным поршнем находится влажный воздух. Масса содержимого сосуда $m = \frac{2522}{831} \approx 3{,}035$ г, и при температуре $t = 100\,°\text{C}$ и нормальном атмосферном давлении $p_0 \approx 101$ кПа объём содержимого $V = 3{,}73$ л. Сосуд вынесли на улицу, и содержимое сосуда охладилось до $t' = -13\,°\text{C}$. Найдите массу льда, образовавшегося в сосуде. Каким примерно стал объём содержимого сосуда при новой температуре? Известно, что молярные массы воды и «сухого воздуха» можно считать равными $\mu_1 = 18{,}0$ г/моль и $\mu_2 = 29{,}0$ г/моль, давление насыщенных паров воды при новой температуре $p'_{\text{н}} \approx 202$ Па. Универсальная газовая постоянная $R \approx 8{,}31$ Дж/(кг · К).

$\boxed{\Delta m = \frac{\mu_1}{\mu_2-\mu_1}\left(\frac{p_0 V}{RT}\left(\mu_2 + \frac{p'_{\text{н}}}{p_0}\mu_1\right) - m\left(1 + \frac{p'_{\text{н}}}{p_0}\right)\right) \approx 0{,}8\ \text{г};\ V' = \frac{1}{\mu_2-\mu_1}\left(\frac{mRT'}{p_0} - \mu_2 V\frac{T'}{T}\right) \approx 1{,}65\ \text{л}}$

Задание 3

Вопрос. Комета вращается по эллиптической орбите, на которой максимальное расстояние до Солнца в 9 раз больше минимального, а минимальная скорость кометы равна 6 км/с. Чему равна максимальная скорость кометы на этой орбите? Ответ обосновать.

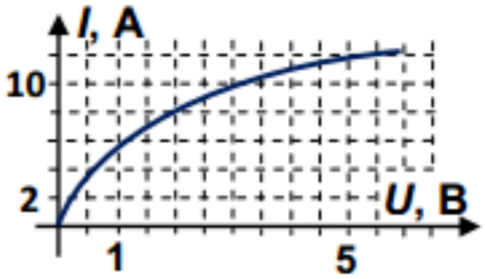
$v_{\text{max}} = 9v_{\text{min}} = 54$ км/с

Задача. Положительно заряженный ион движется по эллиптической орбите вокруг маленького отрицательно заряженного шарика. Движение происходит в вакуумной камере большого размера. На первоначальной орбите максимальное расстояние от шарика до иона было в 8 раз больше минимального. Затем в точке орбиты, на которой это расстояние минимально, установили небольшую ускорительную камеру, которая не изменяет направление движения иона, но при каждом прохождении увеличивает его механическую энергию на одну и ту же величину. После первого прохождения камеры соотношение максимального и минимального расстояний между ионом и шариком увеличилось до 9. Каким станет это соотношение после 5-го прохождения ионом ускорительной камеры? После какого по счёту прохождения ион не вернётся к камере? Потери на сопротивление среды отсутствуют, потерями на излучение пренебречь. Радиусы кривизны эллипса на концах большой a и малой b полуосей равны b^2/a и a^2/b соответственно.

5

Задание 4

Вопрос. Нелинейный элемент, ВАХ которого показана на рисунке, подключили к источнику постоянного тока с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом. Какую мощность этот элемент будет потреблять от источника?



$P = 16$ Вт

Задача. ЭДС источника постоянного напряжения $\mathscr{E} = 24$ В, а его внутреннее сопротивление $r = 3$ 3Ом. К этому источнику подключили, соединив параллельно, резистор с сопротивлением $R = 3r = 9$ Ом и нелинейный элемент, вольт-амперная характеристика которого описывается выражением $I(U) = \alpha\sqrt{U} = \frac{\sqrt{3\mathscr{E}U}}{r}$. Найдите мощности, потребляемые резистором и нелинейным элементом в этой схеме.

$P_R = \frac{3\mathscr{E}^2}{256r} = 2{,}25$ Вт и $P_{\text{НЭ}} = \frac{9\mathscr{E}^2}{64r} = 27$ Вт