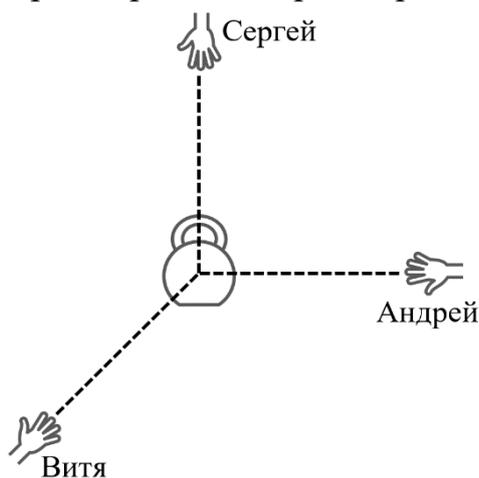


Муниципальный этап
всероссийской олимпиады школьников по физике
2021-2022 учебный год

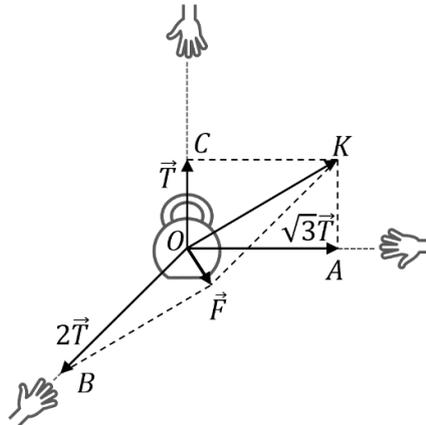
Критерии оценивания

10 класс

Задача 1. «Перетягивание каната» (10 баллов). Андрей, Витя и Сергей в спортзале решили поиграть в игру «перетягивание каната», но изменили ее. Привязали три веревки одинаковой длины к большой массивной гире и одновременно стали тянуть в разные стороны (см. рис.). Веревки Андрея и Сергея оказались перпендикулярны друг другу, а веревка Вити составляла одинаковые углы с веревками Андрея и Сергея, при этом все веревки были параллельны полу. Силы у мальчиков были не равные. Сергей мог тянуть веревку с силой в два раза меньшей, чем Витя, а Андрей в 1.7 раза (точнее $\sqrt{3}$) больше, чем Сергей. Удастся ли мальчикам сдвинуть гирю? Сможет ли кто-то победить, то есть сдвинуть ее точно в своем направлении? Если нет, то в каком направлении (под каким углом) сдвинется гиря по отношению, например, к веревке Андрея? Трением гири о пол пренебречь.



Решение.



Фигура $KOBF$ – ромб (см. рис). Углы: $\angle AOB = (360^\circ - 90^\circ)/2 = 135^\circ$; $\angle KOA = 30^\circ$, так как $OK = 2T$; $\angle KOB = 165^\circ$; $\angle KOF = 165^\circ/2 = 82.5^\circ$; $\angle AOF = 82.5^\circ - 30^\circ = 52.5^\circ$.

Критерии оценивания (10 баллов).

- 1) Выполнено изображение вектор сил, действующих в системе – 2 балла.
- 2) Найдена результирующая сила – 2 балла.
- 3) Показано, что вектор результирующей силы является диагональю ромба – 2 балла.
- 4) Найден угол между вектором результирующей силы и веревкой Андрея – 4 балла.

Задача 2. «Остудить воду» (10 баллов). Горячая вода в полном большом стакане остывает до температуры, при которой ее можно пить, за 10 минут. Через сколько минут ее можно будет пить, если воду перелить в $n = 8$ подобные маленькие стаканчики (стаканчики также будут полными). Количество тепла, отдаваемое в единицу времени с единицы открытой поверхности каждого стакана, пропорционально разности температур воды и окружающей среды. Форму стаканов можно считать цилиндрической. Также считать, что теплообмен с окружающей средой происходит значительно интенсивнее с открытой поверхности воды, чем с боковой поверхности стакана.

Решение.

Воспользуемся свойством подобия стаканов и найдем соотношения между их размерами: $H = kh, R = kr, V = nv, M = nm$, где k – коэффициент подобия. Тогда $n = \frac{M}{m} = \frac{V}{v} = \frac{\pi R^2 H}{\pi r^2 h} = k^3$. Откуда $k = \sqrt[3]{n}$.

Скорость теплоотдачи $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \alpha S \Delta T$, где $\Delta Q = cM \Delta T$, α – постоянный коэффициент, S – площадь поверхности. Откуда время остывания $\Delta t = \frac{cM}{\alpha S}$.

Время остывания воды в маленьком стакане $\Delta t = \frac{cm}{\alpha\pi r^2}$. Время остывания воды в большом стакане $\Delta t_0 = \frac{cM}{\alpha\pi R^2} = \frac{c \cdot (k^3 m)}{\alpha\pi \cdot (k^2 r^2)} = k \cdot \Delta t = 10$ мин. Таким образом $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt[3]{n}} = 5$ мин.

Критерии оценивания (10 баллов).

- 1) Коэффициент подобия выражен через число стаканов – 3 балла.
- 2) Выражена скорость теплоотдачи – 2 балла.
- 3) Получено выражение для времени остывания большого стакана – 2 балла.
- 4) Получено выражение для времени остывания маленького стакана – 2 балла.
- 5) Получено числовое значение для времени остывания в мин. – 1 балл.

Задача 3. «Удары электронов» (10 баллов). В вакуумном диоде, анод и катод которого представляют собой параллельные пластины, зависимость силы тока I от напряжения U задается выражением: $I = c \cdot U^{3/2}$, где c – некоторая постоянная величина. Во сколько раз увеличится сила давления на анод, возникающая из-за ударов электронов о его поверхность, если напряжение на диоде увеличить в два раза? Начальной скоростью электронов, вылетающих из катода, пренебречь.

Решение.

С одной стороны, за небольшой интервал времени Δt к аноду подлетают $\Delta n = \frac{I\Delta t}{e}$ электронов. Здесь e – заряд электрона. Скорость электрона вблизи анода можно определить из закона сохранения энергии: $\frac{m_e v^2}{2} = eU$, $v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$. При этом Δn электронов сообщат аноду импульс $\Delta p = \Delta n \cdot p_e = \Delta n \cdot (m_e v) = \frac{I\Delta t}{e} \cdot (m_e v)$, где m_e – масса электрона. Откуда $\Delta p = \frac{I\Delta t}{e} \cdot \left(m_e \cdot \sqrt{\frac{2eU}{m_e}} \right) = I\Delta t \cdot \sqrt{\frac{2m_e U}{e}}$.

С другой стороны, согласно второму закону Ньютона, ускорение $a = \frac{F}{m}$. По определению $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Откуда $\frac{F}{m} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, $\Delta p = m\Delta v = F\Delta t$.

Приравняв два выражения для импульса Δp и учитывая зависимость $I(U)$, получим выражение для силы F давления на анод, возникающая из-за ударов электронов: $F = I \cdot \sqrt{\frac{2m_e U}{e}} = \left(c \cdot U^{3/2} \right) \cdot \sqrt{\frac{2m_e U}{e}} = c \cdot \sqrt{\frac{2m_e (U \cdot U^3)}{e}} = U^2 \cdot c \sqrt{\frac{2m_e}{e}}$.

Таким образом, отношение сил $\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = 4$.

Критерии оценивания (10 баллов).

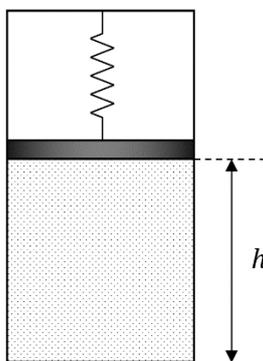
- 1) Определено количество электронов, подлетающих к аноду за небольшой интервал времени – 1 балл.
- 2) Получено выражение для скорости электронов вблизи анода – 2 балла.
- 3) Получено выражение для импульса, сообщаемого аноду попадающими на него электронами – 2 балла.

4) На основании второго закона Ньютона получена связь между импульсом и силой – 2 балла.

5) Получено выражение для силы давления на анод, возникающая из-за ударов электронов – 2 балла.

6) Рассчитано, во сколько раз увеличиться сила давления на анод – 1 балл.

Задача 4. «Поршень с пружиной» (10 баллов). В закрытом с обоих концов откачанном цилиндре подвешен на пружине поршень, положение равновесия которого находится у дна цилиндра. В пространство под поршнем нагнетается такое количество газа, что поршень поднимается на высоту h (см. рис.). На какой высоте h_1 установится поршень, если газ в цилиндре нагреть от начальной температуры T до температуры T_1 ? Сила, действующая со стороны пружины на поршень, пропорциональна смещению поршня. Трение между поршнем и стенками цилиндра отсутствует.



Решение.

Поршень всегда будет устанавливаться в положении, при котором сила давления газа на него уравновешивает силу упругости для сжатой пружины: $F = kh$, где k – коэффициент упругости пружины.

Объем V и давление p газа при начальной температуре T : $V = hS$; $p = \frac{F}{S} = \frac{kh}{S}$, где S – площадь поршня/основания цилиндра.

Объем V_1 и давление p_1 газа при температуре T_1 : $V_1 = h_1S$; $p_1 = \frac{F_1}{S} = \frac{kh_1}{S}$.

Из уравнения газового состояния получаем: $\frac{pV}{T} = \frac{p_1V_1}{T_1}$, $\frac{hS}{T} \cdot \frac{kh}{S} = \frac{h_1S}{T_1} \cdot \frac{kh_1}{S}$, $\frac{h^2}{T} =$

$\frac{h_1^2}{T_1}$. Откуда $h_1 = h \cdot \sqrt{\frac{T_1}{T}}$.

Критерии оценивания (10 баллов).

1) Записано условие равновесия поршня при наличии газа в цилиндре – 2 балла.

2) Определены объем и давление газа при начальной температуре – 2 балл.

3) Определены объем и давление газа после нагревания – 2 балл.

4) Дано соотношение между начальными и конечными параметрами системы на основании уравнения газового состояния – 2 балла.

5) Получено выражение для высоты, на которой установиться поршень после нагревания – 2 балл.

Задача 5. «Переправа» (10 баллов). Пустая пластиковая бутылка имеет массу 30 г и внешний объем 1.5 л. Пустой кислородный баллон с толстыми стенками имеет массу 57 кг и внешний объем 47 л. Какое минимальное количество пластиковых бутылок нужно привязать к такому баллону, чтобы собранная конструкция держалась на плаву и без труда могла быть переправлена вплавь через водоем? Плотность воды принять за 1 г/см^3 . Массой воздуха в бутылках и баллоне можно пренебречь.

Решение.

Чтобы собранная конструкция держалась на плаву и без труда могла быть переправлена вплавь через водоем, должно выполняться условие: $\rho_{\text{кон}} < \rho_{\text{в}}$, $\rho_{\text{кон}}$ – плотность конструкции, $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$ – плотность воды.

Плотность конструкции $\rho_{\text{кон}} = \frac{M_{\text{кон}}}{V_{\text{кон}}} = \frac{N \cdot m + M}{N \cdot v + V}$. Здесь N – количество пластиковых бутылок в конструкции, $m = 30 \text{ г}$ и $v = 1.5 \text{ л}$ – масса и объем одной пластиковой бутылки, $M = 57 \text{ кг}$ и $V = 47 \text{ л}$ – масса и объем кислородного баллона. Отсюда $\frac{N \cdot m + M}{N \cdot v + V} < \rho_{\text{в}}$, $N > \frac{M - \rho_{\text{в}} V}{\rho_{\text{в}} m - v} \approx 6.8$. Следовательно, нужно взять не менее 7 бутылок.

Критерии оценивания (10 баллов).

- 1) Записано условие, при котором конструкция будет держаться на плаву и без труда может быть переправлена вплавь через водоем – 3 балла.
- 2) Получено выражение для плотности конструкции – 3 балл.
- 3) Получено условие для количества бутылок, которые необходимо привязать к баллону – 3 балл.
- 4) Сделан вывод о том, что нужно взять не менее 7 бутылок – 1 балл.