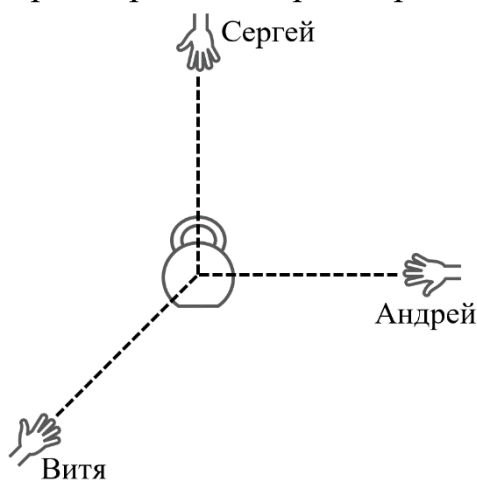


Муниципальный этап  
всероссийской олимпиады школьников по физике  
2021-2022 учебный год

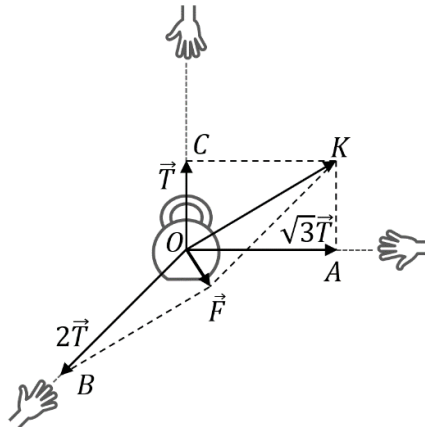
**Критерии оценивания**

**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  $\Delta Q = cM \Delta T$ ,  $\alpha$  – 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  $\Delta t$  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  $\Delta n$  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  $\Delta p$  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).**

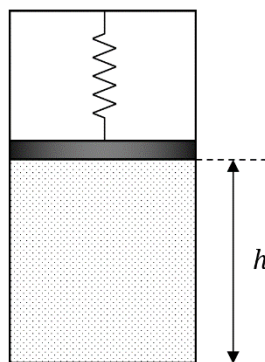
- 1) Определено количество электронов, подлетающих к аноду за небольшой интервал времени – 1 балл.
- 2) Получено выражение для скорости электронов вблизи анода – 2 балла.
- 3) Получено выражение для импульса, сообщаемого аноду попадающими на него электронами – 2 балла.

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  $1 \text{ г/см}^3$ . 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.