

# 21-ая Столичная физико-математическая олимпиада МФТИ

## Физика

### Задания, решения

#### Общие указания по проведению

Время для решения заданий каждого класса — 2 часа.

Черновики не проверяются.

Каждая задача по физике оценивается целым числом баллов от 0 до 10.

Максимальное число баллов за олимпиаду 50.

**Общие принципы выставления оценки по физике:**

- правильное решение — 10 баллов;
- решение с недочетами — 7-9 баллов;
- решение с пропущенными важными частями — 4-5 баллов;

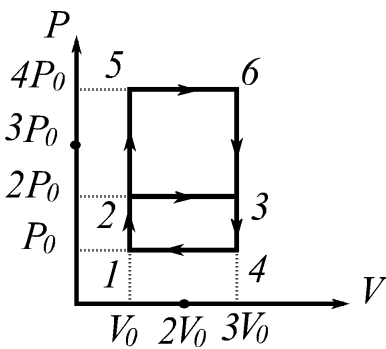
Во всех задачах, если это не оговорено специально, только верный ответ без обоснований стоит 0 баллов.

**В работе все места с ошибками должны быть отмечены!**

**Ф11.1-1** Гладкий диск вращается относительно вертикальной оси симметрии, перпендикулярной плоскости диска, с частотой  $n = 480$  об/мин. На поверхности лежит шарик массой  $m = 0,1$  кг, прикрепленный к оси диска пружиной, жесткость которой  $k = 1500$  Н/м. Ось пружины параллельна поверхности диска. Какую длину  $l$  будет иметь пружина при вращении диска, если ее длина в недеформированном состоянии  $l_0 = 0,2$  м?

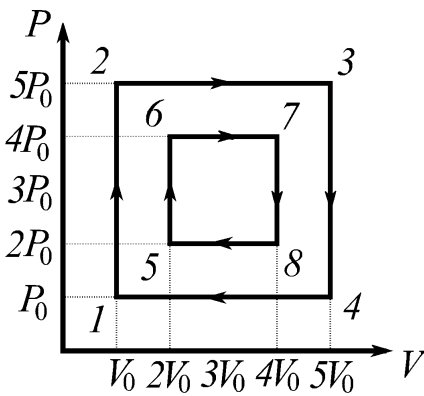
**Ф11.1-2** Гладкий диск вращается относительно вертикальной оси симметрии, перпендикулярной плоскости диска, с частотой  $n = 480$  об/мин. На поверхности лежит шарик массой  $m = 0,1$  кг, прикрепленный к оси диска пружиной, жесткость которой  $k = 1500$  Н/м. Ось пружины параллельна поверхности диска. Какую длину  $l$  будет иметь пружина при вращении диска, если ее длина в недеформированном состоянии  $l_0 = 0,4$  м?

*Решение.* Из второго закона Ньютона  $k(l - l_0) = m\omega^2 l$  (**4 балла**), откуда  $l = \frac{kl_0}{k - m\omega^2} = \frac{kl_0}{k - 4\pi^2 n^2 m}$  (**4 балла**). В первом варианте  $l = 0,24$  м, во втором  $l = 0,48$  м (**2 балла**).



**Ф11.2-1** На  $PV$  диаграмме показаны два замкнутых термодинамических цикла, проведенных с идеальным одноатомным газом: 1-2-3-4-1 и 1-5-6-4-1. Определить отношение КПД этих циклов  $\eta_1/\eta_2$ .

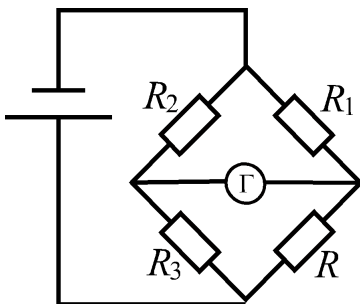
*Решение.* Работа в первом цикле равна  $A_1 = 2P_0V_0$  (**1 балл**), а во втором  $A_2 = 6P_0V_0$  (**1 балл**). Подведенное тепло в первом цикле есть  $Q_1 = Q_{12} + Q_{23} = \nu C_v(T_2 - T_1) + \nu C_p(T_3 - T_2) = \frac{23}{2}P_0V_0$  (**3 балла**). Подведенное тепло во втором цикле есть  $Q_2 = Q_{15} + Q_{56} = \nu C_v(T_5 - T_1) + \nu C_p(T_6 - T_5) = \frac{49}{2}P_0V_0$  (**3 балла**). Отношение КПД циклов:  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{A_1 Q_2}{A_2 Q_1} = \frac{49}{69}$ . (**2 балла**)



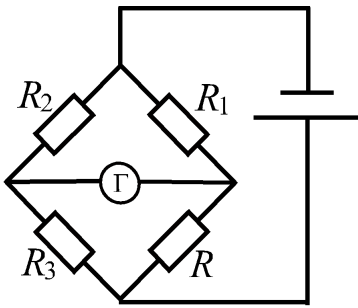
**Ф11.2-2** На  $PV$  диаграмме показаны два замкнутых термодинамических цикла, проведенных с идеальным одноатомным газом: 1-2-3-4-1 и 5-6-7-8-5. Определить отношение КПД этих циклов  $\eta_1/\eta_2$ .

*Решение.* Работа в первом цикле равна  $A_1 = 16P_0V_0$  (**1 балл**), а во втором  $A_2 = 4P_0V_0$  (**1 балл**). Подведенное тепло в первом цикле есть  $Q_1 = Q_{12} + Q_{23} = \nu C_v(T_2 - T_1) + \nu C_p(T_3 - T_2) = 56P_0V_0$  (**3 балла**). Подведенное тепло во втором цикле есть  $Q_2 = Q_{56} + Q_{67} = \nu C_v(T_6 - T_5) + \nu C_p(T_7 - T_6) = 26P_0V_0$  (**3 балла**). Отношение КПД циклов:  $\frac{\eta_1}{\eta_2} =$

$$\frac{A_1 Q_2}{A_2 Q_1} = \frac{13}{7}. \text{ (2 балла)}$$



**Ф11.3-1** Мост для измерения сопротивлений сбалансирован, т. е. ток через гальванометр  $\Gamma$  не идет. Сила тока в правой ветви  $I = 0,2$  А. Найти напряжение  $U$  на зажимах источника тока. Сопротивления резисторов  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 4$  Ом,  $R_3 = 1$  Ом.



**Ф11.3-2** Мост для измерения сопротивлений сбалансирован, т. е. ток через гальванометр  $\Gamma$  не идет. Сила тока в правой ветви  $I = 0,2$  А. Найти напряжение  $U$  на зажимах источника тока. Сопротивления резисторов  $R_1 = 4$  Ом,  $R_2 = 8$  Ом,  $R_3 = 2$  Ом.

*Решение.* Ток  $I_2$ , идущий по левой ветви, связан с  $I$  следующим образом:  
 $I_2 R_2 = I R_1$ , откуда  $I_2 = \frac{R_1}{R_2} I$  (**4 балла**). Тогда напряжение на источнике  $U = I_2(R_2 + R_3) = I \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_2}$  (**4 баллов**). В первом варианте  $U = 0,5$  В, во втором  $U = 1$  В (**2 балла**).

**Ф11.4-1** Электрон из состояния покоя ускоряется постоянным электрическим полем напряженностью  $E$ . Через время  $t = 10^{-2}$  с он влетает в область, где есть еще и магнитное поле, которое перпендикулярно электрическому полю. Во сколько раз нормальное ускорение электрона сразу после влета в магнитное поле больше его тангенциального ускорения, если  $B = 10^{-5}$  Тл? Удельный заряд электрона равен  $(-1,8) \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

**Ф11.4-2** Электрон из состояния покоя ускоряется постоянным электрическим полем напряженностью  $E$ . Через время  $t = 10^{-1}$  с он влетает в область, где есть еще и магнитное поле, которое перпендикулярно электрическому полю. Во сколько раз нормальное ускорение электрона сразу после влета в магнитное поле больше его тангенциального ускорения, если  $B = 10^{-4}$  Тл? Удельный заряд электрона равен  $(-1,8) \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

*Решение.* Из второго закона Ньютона для тангенциальной и нормальной компонент ускорения можем записать  $a_\tau = \frac{eE}{m}$  (**3 балла**) и  $a_n = \frac{eVB}{m} = \frac{e^2 EBt}{m^2}$  (**3 балла**). Скорость, спустя время  $t$ , равна по модулю  $U = a_\tau t = \frac{eE}{m} t$  (**2 балла**), откуда  $\frac{a_n}{a_\tau} = \frac{e}{m} Bt$  (**1 балл**). В первом варианте это отношение равно  $1,8 \cdot 10^4$ , а во втором  $1,8 \cdot 10^6$  (**1 балл**).

**Ф11.5-1** Собирающую линзу удаляют от неподвижного предмета со скоростью  $V$ , направленной вдоль главной оптической оси линзы. Предмет находится на главной оптической оси. С какой скоростью  $U$  движется изображение предмета в момент, когда расстояние между линзой и предметом равно  $d = 1,5F$ ? Фокусное расстояние линзы  $F$ .

*Решение.* Согласно формуле тонкой линзы,  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ , откуда  $f = \frac{Fd}{d - F}$  (**1 балл**), и поэтому в рассматриваемый момент  $\dot{f} = -\frac{F^2 V}{(d - F)^2} = -4V$  (**4 балла**). Тогда изображение предмета в этот момент движется со скоростью  $U = V + \dot{f} = V \left( 1 - \frac{F^2}{(d - F)^2} \right) = V \frac{d(d - 2F)}{(d - F)^2} = -3V$ . (**5 баллов**)  
 Изображение приближается к предмету.

**Ф11.5-2** Собирающую линзу удаляют от неподвижного предмета со скоростью  $V$ , направленной вдоль главной оптической оси линзы. Предмет находится на главной оптической оси. С какой скоростью  $U$  движется изображение предмета в момент, когда расстояние между линзой и предметом равно  $d = 2,5F$ ? Фокусное расстояние линзы  $F$ .

*Решение.* Согласно формуле тонкой линзы,  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ , откуда  $f = \frac{Fd}{d - F}$  (**1 балл**), и поэтому в рассматриваемый момент  $\dot{f} = -\frac{F^2 V}{(d - F)^2}$  (**4 балла**). Тогда изображение предмета в этот момент движется со скоростью  $U = V + \dot{f} = V \left( 1 - \frac{F^2}{(d - F)^2} \right) = V \frac{d(d - 2F)}{(d - F)^2} = \frac{5}{9} V$ . (**5 баллов, из них 2 за численный ответ**) Изображение удаляется от предмета.