



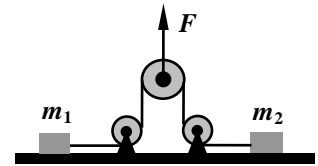
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Общеобразовательный предмет/ комплекс предметов: Физика  
2011-2012 учебный год

**ВАРИАНТ № 3 (11 кл.)**

**№1.** Грузы  $m_1 = 4\text{ кг}$  и  $m_2 = 1\text{ кг}$  лежат на шероховатом полу. Их коэффициенты трения о пол не одинаковы и равны, соответственно,  $\mu_1 = 1/8$  и  $\mu_2 = 1/2$ . Грузы связаны легким тросом через систему невесомых блоков (см. рисунок). Участки троса, не касающиеся блоков, занимают горизонтальное и, соответственно, вертикальное положение. Трение между тросом и блоками исключает их взаимное проскальзывание (т.е., блоки вращаются с соответствующими скоростями). В момент времени  $t_0 = 0$  на ось центрального блока начинает действовать вверх сила  $F = 18\text{ Н}$ .

На какую величину ( $x_1$ ) сократится начальная дистанция между грузами к моменту времени  $t_1 = 0,4\text{ с}$ ? На этот же момент определить скорость ( $V_0$ ) и ускорение ( $a_0$ ) подъема центрального блока, а также его угловую скорость ( $\omega_0$ ), угловое ускорение ( $\varepsilon_0$ ) и направление вращения вокруг своей оси (относительно часовой стрелки). Радиус верхнего блока  $R = 15\text{ см}$ .



**№2.** Планета Нептун вращается вокруг Солнца по орбите, форма которой лишь незначительно отличается от окружности. Средний радиус орбиты Нептуна ( $R_H$ ) превосходит средний радиус земной орбиты вокруг Солнца ( $R_3$ ) примерно в 30 раз ( $R_H / R_3 \approx 30$ ). Оценить (в земных годах) период ( $T_H$ ) обращения Нептуна вокруг Солнца.

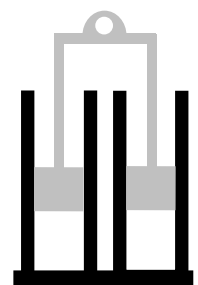
**№3.** На гладком полу на некотором расстоянии друг от друга стоят 2 клина одинаковой высоты  $h = 96\text{ см}$  и массами  $M_1 = 5\text{ кг}$  и  $M_2 = 4\text{ кг}$ , соответственно. Их вогнутые наклонные поверхности обращены навстречу друг другу и обе по касательной выходят на плоскость пола. На вершине первого клина удерживается тележка массой  $m = 1\text{ кг}$ , которую в некоторый момент отпускают без толчка (см. рисунок). Найти скорость 1-го клина ( $V_1$ ) в момент, когда с него съедет тележка. Определить высоту ( $h^*$ ), на которую тележка поднимется по 2-му клину и скорость этого клина ( $V_2$ ) в момент, когда тележка с него съедет. Размерами тележки и трением пренебречь.



**№4.** В цилиндре под поршнем находится смесь воздуха и водяного пара при температуре  $T = 100^\circ\text{C}$  и давлении  $P_1 = 1\text{ атм}$ . После изотермического сжатия смеси в 3 раза давление в цилиндре оказалось равным  $P_2 = 2,2\text{ атм}$ . Определить парциальное давления пара ( $P_n$ ) и его плотность ( $\rho_n$ ) в исходном состоянии. Считать, что воздух и водяной пар описываются уравнением Клапейрона-Менделеева.

**№5.** Цикл тепловой машины на одноатомном газе имеет на  $PV$ -диаграмме вид четырехугольника с вершинами в точках  $(P_1; V_1)$ ,  $(7P_1; V_1)$ ,  $(7P_1; 5V_1)$  и  $(5P_1; 5V_1)$ . Найти КПД ( $\eta$ ) тепловой машины. Изобразить цикл на всех трех ( $PV$ ,  $PT$  и  $VT$ ) диаграммах.

**№6.** Поршни двух одинаковых цилиндров жестко связаны общей тягой так, что объемы под поршнями всегда равны друг другу. Цилиндры с одного конца открыты и находятся под атмосферным давлением  $P_0$  (см. рисунок). В обоих цилиндрах под поршнями находятся одинаковые массы воздуха при атмосферной температуре  $T_0$ . Первый цилиндр теплоизолируют и охлаждают до температуры  $T^*$ , оставляя второй цилиндр в прежних условиях. Найти давление в первом ( $P_1$ ) и во втором ( $P_2$ ) цилиндрах. Трением поршней о стенки цилиндра, а также массами тяги и поршней пренебречь.

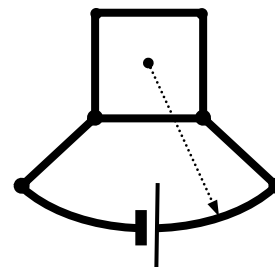


№7. На любом серийном конденсаторе обязательно указываются два номинальных параметра – его емкость  $C$  (в Фарадах) и максимально допустимое напряжение на нем  $U^*$  (в Вольтах). Например  $C$  (15мкФ ; 200В). Какое максимальное напряжение можно приложить к концам последовательной цепочки из 3-х конденсаторов с номиналами:

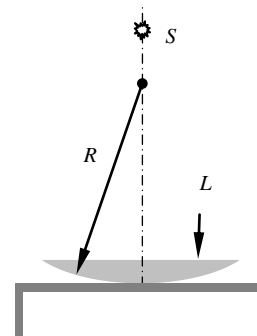
$$C_1(15\text{мкФ ; } 200\text{В}), \quad C_2(5\text{мкФ ; } 900\text{В}) \quad \text{и} \quad C_3(40\text{мкФ ; } 100\text{В})?$$

№8. По металлическому (например, алюминиевому) проводу сечением  $s$  течет постоянный ток  $I$ . Определить среднюю скорость ( $V$ ) упорядоченного движения электронов вдоль этого провода, считая, что в проводимости участвуют по  $n$  валентных электронов от каждого атома металла. Указать необходимые для расчета табличные данные по свойствам металла, из которого изготовлен провод, и считать их известными.

№9. Из проволоки сделан плоский каркас в виде стилизованной цифры «8». Верхняя часть этой «восьмерки» имеет вид квадрата со стороной  $L$ . Нижняя часть «восьмерки» образована двумя прямыми отрезками длины  $L$ , направленными к центру квадрата, и дугой окружности с тем же центром. Радиус этой дуги для наглядности обозначен на рисунке стрелкой. В дуге сделали пропил и, не меняя ее формы, в образовавшийся зазор ввели очень тонкий источник постоянного тока, обеспечив контакт его полюсов с проволокой (см. рисунок). Определить величину вектора индукции магнитного поля ( $B_C$ ), создаваемого в центре квадратного каркаса возникшими токами. Найти сопротивление внешней нагрузки ( $R^*$ ) на источник и ток, протекающий по нему ( $I_0$ ). Известно, что ЭДС источника равна  $\varepsilon$ , его внутреннее сопротивление  $r_0 = 0$ , а кусок каркасной проволоки длиной  $L$  имеет электрическое сопротивление  $R$ .



№10. На высоте  $l$  над столом горит маленькая лампочка  $S$ . На стол прямо под лампочку кладут тонкую стеклянную плоско-выпуклую линзу  $L$  выпуклой поверхностью вниз (см. рисунок). Радиус кривизны этой поверхности  $R$ , и она металлизирована, т.е., является с обеих сторон отражающей. Показатель преломления стекла  $n$ . Определить фокусное расстояние этой оптической системы ( $F$ ) и высоту изображения лампочки ( $h$ ). Толщиной линзы, а также отражениями света в обе стороны от плоской поверхности линзы пренебречь. Рассматривать только параксиальные лучи, т.е., лучи, идущие под малыми углами к главной оптической оси. Для таких углов (взятых в радианах) можно считать  $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$  и  $\cos \alpha \approx 1$ .





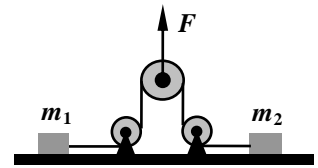
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Общеобразовательный предмет/ комплекс предметов: Физика  
2011-2012 учебный год

ВАРИАНТ № 4 (11 кл.)

№1. Грузы  $m_1 = 1$  кг и  $m_2 = 2$  кг лежат на шероховатом полу. Их коэффициенты трения о пол не одинаковы и равны, соответственно,  $\mu_1 = 1/2$  и  $\mu_2 = 1/4$ . Грузы связаны легким тросом через систему невесомых блоков (см. рисунок). Участки троса, не касающиеся блоков, занимают горизонтальное и, соответственно, вертикальное положение. Трение между тросом и блоками исключает их взаимное проскальзывание (т.е., блоки вращаются с соответствующими скоростями). В момент времени  $t_0 = 0$  на ось центрального блока начинает действовать вверх сила  $F = 12$  Н.

На какую величину ( $x_1$ ) сократится начальная дистанция между грузами к моменту времени  $t_1 = 0,4$  с? На этот же момент определить скорость ( $V_0$ ) и ускорение ( $a_0$ ) подъема центрального блока, а также его угловую скорость ( $\omega_0$ ), угловое ускорение ( $\varepsilon_0$ ) и направление вращения вокруг своей оси (относительно часовой стрелки). Радиус верхнего блока  $R = 10$  см.



№2. Планета Сатурн вращается вокруг Солнца по орбите, форма которой лишь незначительно отличается от окружности. Средний радиус орбиты Сатурна ( $R_C$ ) превосходит средний радиус земной орбиты вокруг Солнца ( $R_3$ ) примерно в 10 раз ( $R_C / R_3 \approx 10$ ). Оценить (в земных годах) период ( $T_C$ ) обращения Сатурна вокруг Солнца.

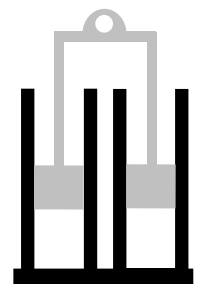
№3. На гладком полу на некотором расстоянии друг от друга стоят 2 клина одинаковой высоты  $h = 60$  см и массами  $M_1 = 3$  кг и  $M_2 = 7$  кг, соответственно. Их вогнутые наклонные поверхности обращены навстречу друг другу и обе имеют плавный переход на плоскость пола. На вершине первого клина удерживается тележка массой  $m = 1$  кг, которую в некоторый момент отпускают без толчка (см. рисунок). Найти скорость 1-го клина ( $V_1$ ) в момент, когда с него съедет тележка. Определить высоту ( $h^*$ ), на которую тележка поднимется по 2-му клину и скорость этого клина ( $V_2$ ) в момент, когда тележка с него съедет. Размерами тележки и трением пренебречь.



№4. В цилиндре под поршнем находится смесь воздуха и водяного пара при температуре  $T = 100^\circ\text{C}$  и давлении  $P_1 = 1$  атм. После изотермического сжатия смеси в 4 раза давление в цилиндре оказалось равным  $P_2 = 3,4$  атм. Определить парциальное давления пара ( $P_n$ ) и его плотность ( $\rho_n$ ) в исходном состоянии. Считать, что воздух и водяной пар описываются уравнением Клапейрона-Менделеева.

№5. Цикл тепловой машины на одноатомном газе имеет на  $PV$ -диаграмме вид четырехугольника с вершинами в точках  $(P_1; V_1)$ ,  $(5P_1; 5V_1)$ ,  $(5P_1; 7V_1)$  и  $(P_1; 7V_1)$ . Найти КПД ( $\eta$ ) тепловой машины. Изобразить цикл на всех трех ( $PV$ ,  $PT$  и  $VT$ ) диаграммах.

№6. Поршни двух одинаковых цилиндров жестко связаны общей тягой так, что объемы под поршнями всегда равны друг другу. Цилиндры с одного конца открыты и находятся под атмосферным давлением  $P_0$  (см. рисунок). В обоих цилиндрах под поршнями находятся одинаковые массы воздуха при атмосферной температуре  $T_0$ . Первый цилиндр теплоизолируют и нагревают до температуры  $T^*$ , оставляя второй цилиндр в прежних условиях. Найти давление в первом ( $P_1$ ) и во втором ( $P_2$ ) цилиндрах. Трением поршней о стенки цилиндра, а также массами тяги и поршней пренебречь.

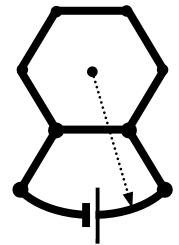


**№7.** На любом серийном конденсаторе обязательно указываются два номинальных параметра – его емкость  $C$  (в Фарадах) и максимально допустимое напряжение на нем  $U^*$  (в Вольтах). Например  $C(15\text{мкФ}; 200\text{В})$ . Какое максимальное напряжение можно приложить к концам последовательной цепочки из 3-х конденсаторов с номиналами:

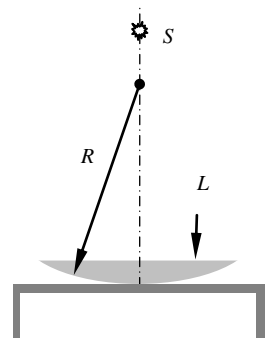
$$C_1(20\text{мкФ}; 200\text{В}), C_2(10\text{мкФ}; 300\text{В}) \text{ и } C_3(5\text{мкФ}; 800\text{В})?$$

**№8.** По металлическому (например, медному) проводу сечением  $s$  течет постоянный ток. Определить его величину ( $I$ ), если средняя скорость упорядоченного движения электронов вдоль этого провода равна  $V$ . Считать, что в проводимости участвуют по  $n$  валентных электронов от каждого атома. Указать необходимые для расчета табличные данные по свойствам металла, из которого изготовлен провод, и считать их известными.

**№9.** Из проволоки сделан плоский каркас в виде стилизованной цифры «8». Верхняя часть этой «восьмерки» имеет вид правильного шестиугольника со стороной  $L$ . Нижняя часть «восьмерки» образована двумя прямыми отрезками длины  $L$ , направленными к центру шестиугольника, и дугой окружности с тем же центром. Радиус этой дуги для наглядности обозначен на рисунке стрелкой. В дуге сделали пропил и, не меняя ее формы, в образовавшийся зазор ввели очень тонкий источник постоянного тока, обеспечив контакт его полюсов с проволокой (см. рисунок). Определить величину вектора индукции магнитного поля ( $B_C$ ), создаваемого в центре шестиугольного каркаса возникшими токами. Найти сопротивление внешней нагрузки на источник ( $R^*$ ) и ток, протекающий по нему ( $I_0$ ). Известно, что ЭДС источника равна  $\varepsilon$ , его внутреннее сопротивление  $r_0 = 0$ , а кусок каркасной проволоки длиной  $L$  имеет электрическое сопротивление  $R$ .



**№10.** На высоте  $l$  над столом горит маленькая лампочка  $S$ . На стол прямо под лампочку кладут тонкую стеклянную плоско-выпуклую линзу  $L$  выпуклой поверхностью вниз (см. рисунок). Радиус кривизны этой поверхности  $R$ , и она металлизирована, т.е., является с обеих сторон отражающей. Определить фокусное расстояние этой оптической системы ( $F$ ) и показатель преломления стекла ( $n$ ), если высота изображения лампочки равна  $h$ . Толщиной линзы, а также отражениями света в обе стороны от плоской поверхности линзы пренебречь. Рассматривать только параксиальные лучи, т.е., лучи, идущие под малыми углами к главной оптической оси. Для таких углов (взятых в радианах) можно считать  $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$  и  $\cos \alpha \approx 1$ .



## КЛЮЧИ К ВАРИАНТАМ

### ВАРИАНТ № 3

**№1 (12 баллов).**

$$x_1=40\text{см}; \quad v_o = (v_1+v_2)/2 = 1\text{м/с}; \quad a_o = (a_1+a_2)/2 = 2,5\text{м/с}^2;$$
$$\omega_o = (v_2 - v_1)/2R = 4 \text{ рад/с}; \quad \varepsilon_o = (a_2 - a_1)/2R = 2 \text{ рад/с}^2; \quad \text{против часовой.}$$

**№2 (6 баллов).**

$$T_H = T_3 \cdot (R_H/R_3)^{3/2} \approx 164 \text{ года.}$$

**№3 (16 баллов).**

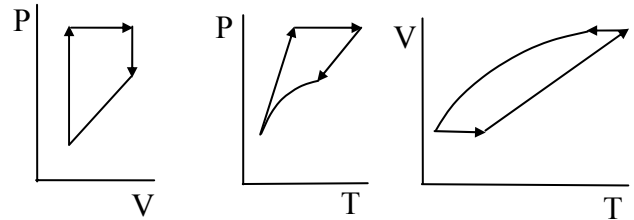
$$V_1 = v_T m / M_1 = [2ghm^2 / M_1(m+M_1)]^{1/2} = 0,8\text{м/с};$$
$$h^* = (v_T)^2 M_2 / 2g(m+M_2) = 0,64\text{м};$$
$$V_2 = 2v_T m / (m+M_2) = 0,8\text{м/с.}$$

**№4 (10 баллов).**

$$p_{\text{пара}}^1 = 0,6 \text{ атм}; \quad \rho_{\text{пара}}^1 = 0,6 \rho_{100}^f = 0,36 \text{ г/л.}$$

**№5 (10 баллов).**

$$\eta = 16 / (1,5 \cdot 34 + 28) \approx 0,20 \approx 20\%.$$



**№6 (8 баллов).**

$$P_1 = 2P_o T^* / (T_o + T^*); \quad P_2 = 2P_o T_o / (T_o + T^*).$$

**№7 (9 баллов).**

$$U_{\text{max}} = (200 + 600 + 75) \text{ В} = 875 \text{ В.}$$

**№8 (7 баллов).**

$$\langle v \rangle = IM / (s\rho N_A ne),$$

где  $\rho$  – плотность,  $M$  – молярная масса,  $e$  – заряд электрона,  $N_A$  – число Авогадро.

**№9 (12 баллов).**

$$R^* = R[3/4 + 2 + 1/2 \pi (1 + 1/\sqrt{2})] \approx 4,43R;$$

$$I_o = \varepsilon / 4,43R;$$

магнитное поле только от дуги

$$B_c = \mu_o I_o / 2L (1 + 1/\sqrt{2}) \approx \mu_o \varepsilon / 15L R$$

**№10 (10 баллов).**

$$F = R/2n; \quad h = Rl / (2ln - R)$$

### ВАРИАНТ № 4

**№1 (12 баллов).**

$$x_1=12\text{см}; \quad v_o = (v_1+v_2)/2 = 0,3\text{м/с}; \quad a_o = (a_1+a_2)/2 = 0,75\text{м/с}^2;$$
$$\omega_o = (v_2 - v_1)/2R = 2 \text{ рад/с}; \quad \varepsilon_o = (a_2 - a_1)/2R = 5 \text{ рад/с}^2; \quad \text{по часовой.}$$

**№2 (6 баллов).**

$$T_C = T_3 \cdot (R_C/R_3)^{3/2} \approx 31,6 \text{ лет.}$$

**№3 (16 баллов).**

$$V_1 = v_T m / M_1 = [2ghm^2 / M_1(m+M_1)]^{1/2} = 1 \text{ м/с};$$

$$h^* = (v_T)^2 M_2 / 2g(m+M_2) = 4,4 \text{ см};$$

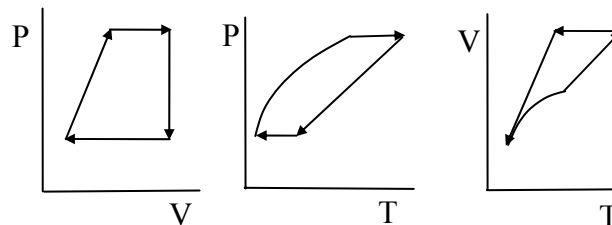
$$V_2 = 2v_T m / (m+M_2) = 0,75 \text{ м/с}.$$

**№4 (10 баллов).**

$$p^1_{\text{пара}} = 0,4 \text{ атм}; \quad \rho^1_{\text{пара}} = 0,4 \rho^f_{100} = 0,24 \text{ г/л}.$$

**№5 (10 баллов).**

$$\eta = 16 / (1,5 \cdot 34 + 22) \approx 0,219 \approx 22\%.$$

**№6 (8 баллов).**

$$P_1 = 2P_0 T^* / (T_0 + T^*); \quad P_2 = 2P_0 T_0 / (T_0 + T^*).$$

**№7 (9 баллов).**

$$q_m U_{\text{max}} = (150 + 300 + 600) \text{ В} = 1050 \text{ В}.$$

**№8 (7 баллов).**

$$I = V s \rho N_A n e / M,$$

где  $\rho$  – плотность,  $M$  – молярная масса,  $e$  – заряд электрона,  $N_A$  – число Авогадро.

**№9 (12 баллов).**

$$R^* = R(5/6 + 2 + \frac{2}{3}\pi) \approx 5R; \quad I_0 = \varepsilon / 5R;$$

$$\text{магнитное поле только от дуги} \quad B_c = (\mu_0 I_0 / 4L) / 6 \approx \mu_0 \varepsilon / 120LR$$

**№10 (10 баллов).**

$$F = lh / (l+h) \quad ; \quad n = R(l+h) / 2lh$$