



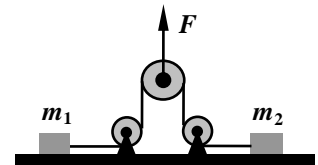
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

ВАРИАНТ № 3 (10 кл.)

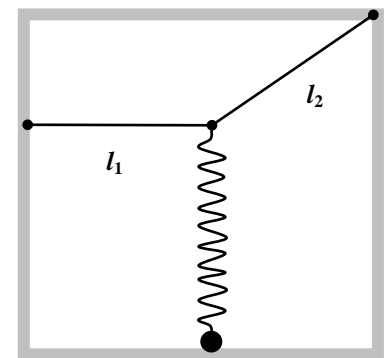
№1. Грузы  $m_1 = 4\text{ кг}$  и  $m_2 = 1\text{ кг}$  лежат на шероховатом полу. Их коэффициенты трения о пол не одинаковы и равны, соответственно,  $\mu_1 = 1/8$  и  $\mu_2 = 1/2$ . Грузы связаны легким тросом через систему невесомых блоков (см. рисунок). Участки троса, не касающиеся блоков, занимают 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 ( $R_N$ ) превосходит средний радиус земной орбиты вокруг Солнца ( $R_3$ ) примерно в 30 раз ( $R_N/R_3 \approx 30$ ). Оценить (в земных годах) период ( $T_N$ ) обращения Нептуна вокруг Солнца.

№3. В комнате высотой  $H=3\text{ м}$  и такой же шириной  $L=3\text{ м}$  к противоположным стенам напротив друг друга подвесили 2 легких нерастяжимых троса длиной  $l_1 = 2,5\text{ м}$  и, соответственно,  $l_2 = 1,3\text{ м}$ . Причем 2-й трос подвесили под самым потолком, а 1-й несколько ниже. Свободные концы тросов связали друг с другом тонким узлом, к которому на очень жесткой легкой короткой пружине подвесили маленький груз массой  $m = 4,8\text{ кг}$ . При этом 1-й трос принял горизонтальное положение.

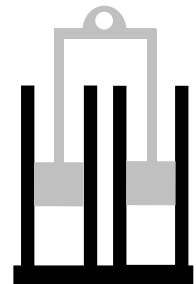


- Найти натяжение тросов ( $T_1$  и  $T_2$ ) при условии, что груз не коснулся пола.
- Найти натяжение тросов ( $T^*_1$  и  $T^*_2$ ) при условии, что пружину заменили на более мягкую, которая под весом груза растянулась до пола (см. рисунок), причем жесткость пружины  $K = 24\text{ Н/м}$ , а ее длина в ненапряженном состоянии  $l_0 = 30\text{ см}$ .
- С какой силой ( $N$ ) груз будет давить на пол в последнем случае.

№4. 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.



- №5.** На снегу стоят сани (без спинки) массой  $m_1 = 6$  кг. На них лежит ящик массой  $m_2 = 4$  кг. Какую минимальную горизонтальную силу ( $F_{\min}$ ) надо приложить к саням, чтобы выдернуть их из-под ящика? Коэффициенты трения саней о снег  $\mu_1 = 0,1$ , а ящика о сани  $\mu_2 = 1/2$ .
- №6.** 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 3 раза давление в цилиндре оказалось равным  $P_2 = 2,2$  атм. Определить парциальное давления пара ( $P_{\text{п}}$ ) и его плотность ( $\rho_{\text{п}}$ ) в исходном состоянии. Считать, что воздух и водяной пар описываются уравнением Клапейрона-Менделеева.
- №7.** 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.
- №8.** 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.





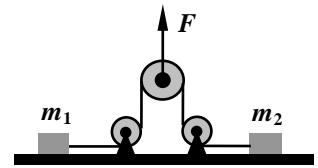
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

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

ВАРИАНТ № 4 (10 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.

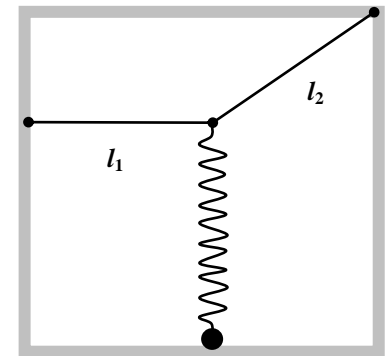
На какую величину ( $x_1$ ) сократится начальная дистанция между грузами к моменту времени  $t_1 = 0,4$  с? На этот же момент определить скорость ( $V_0$ ) и ускорение ( $a_0$ ) подъема центрального блока, а также его угловую скорость ( $\omega_0$ ), угловое ускорение ( $\varepsilon_0$ ) и направление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



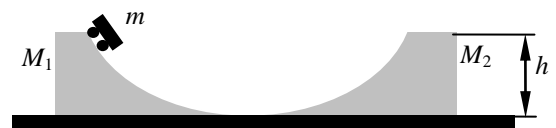
№2. Планета Сатурн вращается вокруг Солнца по орбите, форма которой лишь незначительно отличается от окружности. Средний радиус орбиты Сатурна ( $R_C$ ) превосходит средний радиус земной орбиты вокруг Солнца ( $R_3$ ) примерно в 10 раз ( $R_C / R_3 \approx 10$ ). Оценить (в земных годах) период ( $T_C$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

№3. В комнате высотой  $H = 2,5$  м и шириной  $L = 3$  м к противоположным стенам напротив друг друга подвесили 2 легких нерастяжимых троса длиной  $l_1 = 1,5$  м и, соответственно,  $l_2 = 1,7$  м. Причем 2-й трос подвесили под самым потолком, а 1-й несколько ниже. Свободные концы тросов связали друг с другом тонким узлом, к которому на очень жесткой легкой короткой пружине подвесили маленький груз массой  $m = 7,5$  кг. При этом 1-й трос принял горизонтальное положение.

- Найти натяжение тросов ( $T_1$  и  $T_2$ ) при условии, что груз не коснулся пола.
- Найти натяжение тросов ( $T^*_1$  и  $T^*_2$ ) при условии, что пружину заменили на более мягкую, которая под весом груза растянулась до пола (см. рисунок), причем жесткость пружины  $K = 40$  Н/м, а ее длина в ненапряженном состоянии  $l_0 = 20$  см.
- С какой силой ( $N$ ) груз будет давить на пол в последнем случае.



№4. 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.

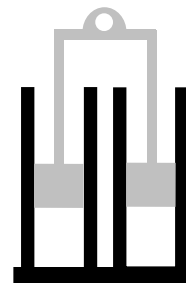


**№5.** На снегу стоят сани массой  $m_1 = 8\text{ кг}$ . На них лежит ящик массой  $m_2 = 12\text{ кг}$ . Какую минимальную горизонтальную силу ( $F_{\min}$ ) надо приложить к ящику, чтобы сдвинуть его с саней? Коэффициенты трения саней о снег  $\mu_1 = 0,1$ , а ящика о сани  $\mu_2 = 1/2$ .

**№6.** 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 4 раза давление в цилиндре оказалось равным  $P_2 = 3,4\text{ атм}$ . Определить парциальное давления пара ( $P_{\text{п}}$ ) и его плотность ( $\rho_{\text{п}}$ ) в исходном состоянии. Считать, что воздух и водяной пар описываются уравнением Клапейрона-Менделеева.

**№7.** 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.

**№8.** 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.



## КЛЮЧИ К ВАРИАНТАМ

### ВАРИАНТ № 3

**№1 (14 баллов).**

$$x_1=40\text{см}; \quad v_0 = (v_1+v_2)/2 = 1\text{м/с}; \quad a_0 = (a_1+a_2)/2 = 2,5\text{м/с}^2; \\ \omega_0 = (v_2 - v_1)/2R = 4 \text{ рад/с}; \quad \varepsilon_0 = (a_2 - a_1)/2R = 2 \text{ рад/с}^2; \quad \text{против часовой.}$$

**№2 (8 баллов).**

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

**№3 (16 баллов).**

$$T_1 = 20\text{Н}; \quad T_2 = 52\text{Н}; \quad T^*_1 = 15\text{Н}; \quad T^*_2 = 39\text{Н}; \quad N = 12\text{Н.}$$

**№4 (18 баллов).**

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

**№5 (14 баллов).**

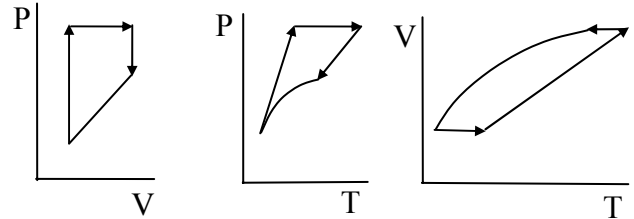
$$F_{\min} > g \cdot (\mu_2 + \mu_1) \cdot (m_1 + m_2) = 60\text{Н.}$$

**№6 (11 баллов).**

$$p^1_{\text{пара}} = 0,6 \text{ атм}; \quad \rho^1_{\text{пара}} = 0,6 \rho^f_{100} = 0,36 \text{ г/л.}$$

**№7 (11 баллов).**

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



**№8 (8 баллов).**

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

### ВАРИАНТ № 4

**№1 (14 баллов).**

$$x_1=12\text{см}; \quad v_0 = (v_1+v_2)/2 = 0,3\text{м/с}; \quad a_0 = (a_1+a_2)/2 = 0,75\text{м/с}^2; \\ \omega_0 = (v_2 - v_1)/2R = 2 \text{ рад/с}; \quad \varepsilon_0 = (a_2 - a_1)/2R = 5 \text{ рад/с}^2; \quad \text{по часовой.}$$

**№2 (8 баллов).**

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

**№3 (16 баллов).**

$$T_1 = 140,6\text{Н}; \quad T_2 = 1594\text{Н}; \quad T^*_1 = 112,5\text{Н}; \quad T^*_2 = 127,5\text{Н}; \quad N = 15\text{Н.}$$

**№4 (18 баллов).**

$$V_1 = v_T m / M_1 = [2ghm^2 / M_1(m+M_1)]^{1/2} = 1\text{м/с}; \\ h^* = (v_T)^2 M_2 / 2g(m+M_2) = 4,4\text{см}; \\ V_2 = 2v_T m / (m+M_2) = 0,75\text{м/с.}$$

**№5 (14 баллов).**

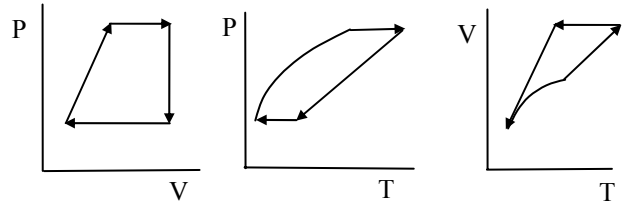
При  $(\mu_2/\mu_1) \geq (m_1 + m_2)/m_2$  получаем:  $F_{\min} > g \cdot (\mu_2 - \mu_1) \cdot (m_1 + m_2) \cdot m_2/m_1 = 120\text{Н}$ .

**№6 (11 баллов).**

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

**№7 (11 баллов).**

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



**№8 (8 баллов).**

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