

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
67	19.03.25	А. Жуков	С. В. Жуков
Шифр			013022

1/2/3/4/5/6/7
10/12/20/20/5/6/7

Задача 1

1) Запишем уравнение движения тела, движущегося прямо с постоянным ускорением

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$\vec{v}$ - конечная скорость тела

$\vec{v}_0$ - начальная скорость тела

$\vec{a}$ - ускорение тела

t - время движения тела

$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

$\vec{s}$ - пройденный путь

$\vec{v}_0$ - начальная скорость тела

$\vec{a}$ - ускорение тела

t - время движения тела

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{a t^2}{2}$$

x - конечная координата тела

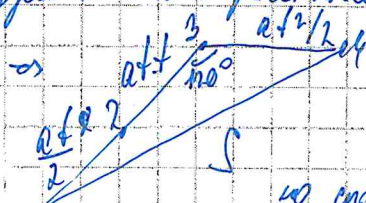
x_0 - начальная координата тела

v_0 - начальная скорость тела

a - ускорение тела

t - время движения тела

2) Будем считать расстояние S равным пути между двумя точками.



Значит, если тело движется прямо с постоянным ускорением a , то его путь S равен сумме квадратов его начальной скорости v_0 и ускорения a умноженного на время t .
 По формуле $S = v_0 t + \frac{a t^2}{2}$ можно найти время t , если известны S и a .
 Если $v_0 = 0$, то $S = \frac{a t^2}{2}$, откуда $t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$.
 Тогда конечная скорость $v = a t = a \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{2aS}$.

$$S = \frac{a t^2}{2}, \quad S = v_0 t + \frac{a t^2}{2}, \quad S = \frac{v^2}{2a} \rightarrow \text{Конечное расстояние } S.$$

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись

Шифр

013842

$$\Rightarrow S_{12} + S_{13} = \frac{at^2}{2} + at^2 = 1,5at^2 = S_{13}$$

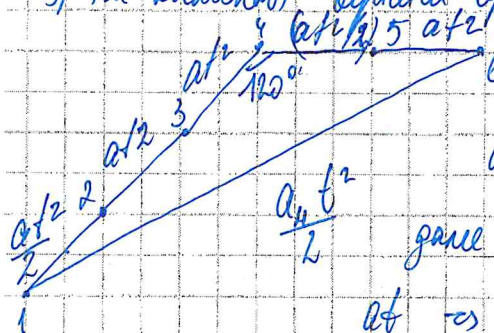
$$S_{34} = 0,5at^2$$

Так известны трехсторонний треугольник $(S_{12} + S_{13}, S_{34}, S)$, можем
вычислить S из формулы косинусов.

$$S^2 = S_{13}^2 + S_{34}^2 - 2S_{13}S_{34}\cos(120^\circ) = 1,5^2(at^2)^2 + 0,5^2(at^2)^2 - 2 \cdot 1,5 \cdot 0,5(at^2)^2 \cdot (-0,5) =$$

$$= 3,25(at^2)^2 \Rightarrow S = \sqrt{3,25}at^2 = \frac{\sqrt{13}}{2}at^2$$

3) Так косинусы берутся из угла между t , но само косинусы получается $3t$.



Аналогично при $t=0$ можно увидеть, что

спосред косинусов найти путь 12 с ускорением $a \Rightarrow S_{12} = \frac{at^2}{2}$

далее получаем еще $2t$ с приобретенной силой $2a$ оси горизонтально

$$at \Rightarrow S_{24} = at \cdot 2t = 2at^2$$

За время t после того увеличения направления ускорения косинусы становятся

с ускорением a , поэтому за этот промежуток ускорения равно $\frac{at^2}{2}$ (S₄₆), а далее, после возращения

в некоторую точку пройти за этот промежуток по какой-то оси ускорения at путь

$$S_{56} = at \cdot t = at^2$$

Далее косинусы должны быть вычислены в некоторую точку за

время t , поэтому за этот промежуток ускорения равно $\frac{a_4 t^2}{2}$ (S₆₁)

$\Rightarrow$ Аналогично по теореме косинусов находим S_{61} :

$$S_{61}^2 = S_{46}^2 + S_{56}^2 - 2 \cdot S_{46} \cdot S_{56} \cdot \cos(120^\circ) = 0,5^2(at^2)^2 + 1,5^2(at^2)^2 - 2 \cdot 0,5at^2 \cdot$$

$$\cdot 1,5at^2 \cdot (-0,5) = \frac{49}{4}(at^2)^2 \Rightarrow S_{61} = \frac{7at^2}{2}$$

~~Вывод~~ Проинтегрировав S_{61} по $t \Rightarrow S^{(1)} = \frac{7at^2}{2} \cdot t = 7at^3$

$\Rightarrow$ Еще раз проинтегрируем по t : $S^{(1)} = 7a$, или найдем

используя ее ускорение a_1 (глобальное по S -ускорение)

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

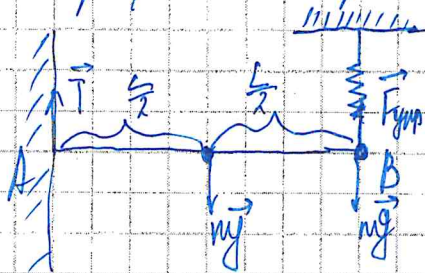
Можно было поступить так:

$$S_{el} = \frac{F_{el} l}{F} = \frac{a_{el} l}{F} \Rightarrow F_{el} = F_a. \quad \text{везде он оборачивается как A} \Rightarrow$$

$$A = F_a.$$

Задача 12

- 1) В условии сказано, что стержень закреплён к стене под углом 90° , а точка прикрепления к стержню под 30° (так сказали организаторы) $\Rightarrow$



Запишем условие равновесия тела, где

T — сила натяжения нити от точки крепления (сила крепления)

mg — сила тяжести груза

$F_{\text{упр}}$ — сила упругости, с которой пружина удерживает стержень.

$$\Rightarrow \vec{T} + \vec{mg} + \vec{mg} + \vec{F}_{\text{упр}} = 0, \text{ т.к. стержень расположен в равновесии}$$

Запишем уравнение моментов от этой системы точек A и B:

$$A: mg \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot L = F_{\text{упр}} \cdot L$$

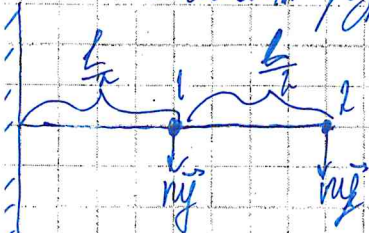
$$B: mg \cdot \frac{L}{2} = T \cdot L$$

- 2) Так $F_{\text{упр}} = k \Delta x$, где k — жесткость пружины и Δx — ее растяжение, то

$$mg \cdot \frac{L}{2} + mg \cdot L = k \Delta x \cdot L \quad (\text{сокращаем } L \neq 0)$$

$$\Rightarrow k \Delta x = 1,5 mg \Rightarrow \Delta x = \frac{1,5 mg}{k}$$

- 3) В который момент пружина разорвется $\Rightarrow$ запишем, что будет, когда она, что в момент разрыва стержень находится горизонтально.



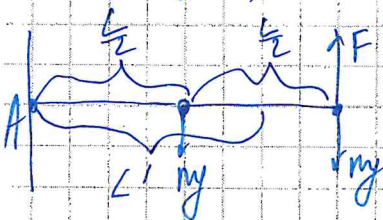
Заметим, что т.к. оба груза прикреплены к стержню их

фракт. скорости будут одинаковы $= w \Rightarrow$ но т.к. груз 1

находится на расстоянии L , а груз 2 — на расстоянии $\frac{L}{2}$ от

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

Трос подвеса, то $a_2 = 2a_1$, где a_1, a_2 - ускорения узлов 1 и 2 соответственно.



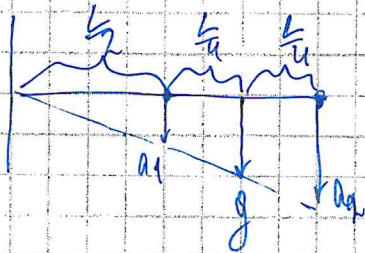
Чтобы у-ство стояло $F = 1,5mg$

Предположим, что оба узла сконструированы в 1 тисе

$\Rightarrow F \cdot L = 2mg \cdot L'$, где L' - расстояние от A

$$\Rightarrow 1,5mgL = 2mg \cdot L' \Rightarrow L' = 0,75L$$

$\Rightarrow$ Данная масса будет двигаться с ускорением g , так на нее действует полная сила тяжести.



$$\Rightarrow \frac{a_2}{L} = \frac{g}{0,75L} \Rightarrow a_2 = \frac{g}{0,75} = \frac{4}{3}g$$

$$\frac{2a_1}{L} = \frac{g}{0,75L} \Rightarrow a_1 = \frac{g}{2 \cdot 0,75} = \frac{2}{3}g$$

$\Rightarrow$ если $g = 10 \text{ м/с}^2$, то $a_1 \approx 6,7 \text{ м/с}^2$, $a_2 \approx 13,3 \text{ м/с}^2$

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

Задача №4

$$\eta = \frac{P_H}{P_0}$$

$$P_0 = P_H + P = P_H + a(T - T_{\text{окр}})$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_0 - P}{P_0} = 1 - \frac{P}{P_0} = 1 - \frac{a(T - T_{\text{окр}})}{P_0}$$

$$\Rightarrow \text{Заметим, что при } T = 60^\circ\text{C} \Rightarrow \eta = 0, \Rightarrow 1 - \frac{a(T - T_{\text{окр}})}{P_0} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{a(T - T_{\text{окр}})}{P_0} = 1 \Rightarrow a(T - T_{\text{окр}}) = P_0$$

$\Rightarrow$ Из-за этого равенство при переопределении

$T = 60^\circ\text{C}$ не выполняется, $\Rightarrow$ есть какое-то среднее

установившееся значение T .

$$\eta \text{ должно быть таковым, чтобы } 1 - \frac{P}{P_0} = \eta, \quad 1 - \frac{a(T - T_{\text{окр}})}{P_0} = \eta$$

Заметим, что при установившемся режиме равенства (1) и (2) будут выполняться:

$$\Rightarrow \text{Пусть температура двигателя отличается на } \Delta T \text{ от } T_{\text{окр}} (T = T_{\text{окр}} + \Delta T)$$

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{a \Delta T}{P_0} \quad (3)$$

$$\text{Найдём связь } \eta \text{ с } \Delta T: \eta = \eta_0 - \frac{0,2 \cdot \Delta T}{40}, \text{ где } \eta_0 = 0,2$$

$\Rightarrow$ Подставим в формулу (3) найденное значение η :

$$1 - \frac{a \Delta T}{P_0} = \eta_0 - \frac{0,2 \cdot \Delta T}{40} \Rightarrow 1 - \eta_0 = \Delta T \left(\frac{a}{P_0} - \frac{0,2}{40} \right) \Rightarrow \text{Подставим известные}$$

$$\text{числовые значения, получим } \Delta T = 32^\circ \Rightarrow T = 32^\circ + 20^\circ = 52^\circ\text{C} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{P_H}{P_0} = 1 - \frac{a(T - T_{\text{окр}})}{P_0} \Rightarrow \frac{P_H}{P_0} = \frac{P_0 - a(T - T_{\text{окр}})}{P_0} \Rightarrow$$

$$P_H = 1400 - 42 \cdot (52^\circ - 20^\circ) = 56 \text{ Вт}, P_H - \text{полезная мощность. } 20 \text{ б}$$

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

Задача 13

Т.к. $PV^{\gamma} = \text{const} \Rightarrow P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$ (1)

1) $C_p = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \Rightarrow$ молярная теплоемкость газа — это кол-во теплоты, необходимое для нагрева газа в количестве 1 моль, чтобы нагреть его на 1 К (или охладить, или отвести тепло) (Q — количество теплоты или подведенной, ν — кол-во вещества, ΔT — изменение темп.)

Также известно, что для идеального газа выполняется уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$PV = \nu R T$$

25

У двухатомного газа 5 степеней свободы $\Rightarrow \Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T$

Из условия $P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$, мы можем переписать в виде $P_1 V_1 = \nu R T_1$, $P_2 V_2 = \nu R T_2 \Rightarrow$

$$\nu R T_1 V_1 = \nu R T_2 V_2$$

$$\Rightarrow T_2 = T_1 \frac{V_1}{V_2} \quad (2)$$

Из 1-го уравн. $\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \Rightarrow T_2 = T_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}}$

Также т.к. мы знаем $P_1 V_1$, мы можем сказать, что $\nu R T_1 = P_1 V_1$

$$\Rightarrow \Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{5}{2} \nu R \left(T_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} - T_1 \right) = \frac{5}{2} \nu R T_1 \left(\sqrt{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \right) =$$

$$= \frac{5}{2} \nu R T_1 \left(\frac{\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1}}{\sqrt{P_1}} \right) = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{\sqrt{P_2} - \sqrt{P_1}}{\sqrt{P_1}} \right)$$

$$\text{Из (1)} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}} \Rightarrow \Delta U = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{\sqrt{\frac{P_1 V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}}} - \sqrt{P_1}}{\sqrt{P_1}} \right) = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{\sqrt{\frac{V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}}} - 1}{\sqrt{P_1}} \right) =$$

$$= \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = \frac{5}{2} P_1 V_1 \left(\frac{V_1 - V_2}{V_2} \right)$$

Подставив все числовые данные получаем:

$$\Delta U = -125 \text{ кДж}$$

11.5

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

3) По формуле работы необходимо взять:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{k}{V^2} \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} -\frac{k}{V} = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{k}{V} = - \left(\frac{k}{V_2} - \frac{k}{V_1} \right) \text{②}$$

$$P_1 V_1^2 = P_2 V_2^2 = k \Rightarrow P(V) = \frac{k}{V^2}$$

$$\text{②} \quad \frac{k}{V_1} - \frac{k}{V_2} = \frac{(V_2 - V_1)k}{V_2 V_1} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot P_1 V_1^2}{V_2 V_1} = \frac{(V_2 - V_1) P_1 V_1}{V_2}$$

Подставив численные значения, получим, что $A = 50 \text{ кДж}$

4) $\Rightarrow \Delta Q = \Delta U + A = -125 + 50 = -75 \text{ кДж}$. (отдаем тепло)

$$C_V = \frac{\Delta U}{\Delta T} \quad \text{Т.к. } \Delta U = 2,5 \text{ Дж } \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{\Delta U}{2,5 R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{\Delta Q}{\Delta U} = \frac{2,5 R \Delta Q}{\Delta U} = \frac{2,5 \cdot 8,31 \text{ Дж/моль } \cdot (-75)}{(-125)} = \frac{3}{2} R = 1,5 R,$$

если подставить $R = 8,31 \Rightarrow 12,465 \frac{\text{Дж}}{\text{моль } \cdot \text{К}}$

4. Кратко формулы

$$PV = \nu RT \quad (P + \Delta P)(V + \Delta V) = \nu R(\Delta T + T) \Rightarrow \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T}$$

Или $PV^2 = \text{const}$ аналогично делаем: $(P + \Delta P)(V + \Delta V)^2 = PV^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{2\Delta V}{V} = -\frac{\Delta P}{P} \quad \left(\text{это все выполняется при малых } \Delta P, \Delta V \text{ и } \Delta T. \right)$$

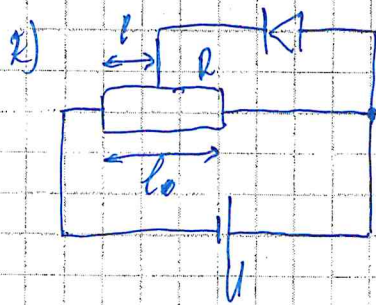
Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			918842

Задача №5.

- 1) $Q = I^2 R \Delta t$, где Q - кол-во выделившегося тепла, I - ток, идущий через резистор,
 R - сопротивление резистора Δt - время, за которое выделилось тепло.

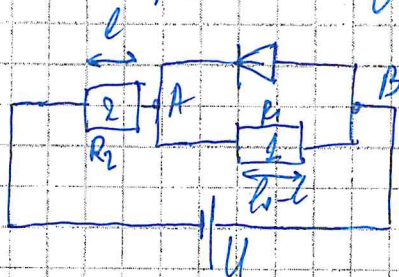
$$Q = I^2 R \Delta t = I R I \Delta t = U I \Delta t = \frac{U^2 \Delta t}{R}$$

25



Диаг открывает, когда напряжение на нем равно $U_0 = -U$.

Нельзя переписать схему:



$\Rightarrow$ Ток через диод пойдет и эта схема
может использоваться.

$\Rightarrow$ Т.к. напряжение на диоде равно $U_0 \Rightarrow$ Напряжение на резисторе 1 также равно U_0 .

Схема работает таким образом, что при переключении нагрузки в него напряжение на участке АВ постоянно меняется, и при достижении U_0 события происходят.

$\Rightarrow$ Т.к. у резистора длиной l_0 сопротивление R , то $b = \frac{R}{l_0}$ - линейное сопротивление

$$\Rightarrow R_1 = \frac{R}{l_0} \cdot (l_0 - l) \quad R_2 = \frac{R}{l_0} \cdot l$$

~~При открытии диод становится как провод без сопротивления и пропускает через себя ток~~

Напряжение на резисторе 1, как и на диоде равно $U_0 = -U \Rightarrow$

$$I_1 \text{ (ток, текущий через 1-й резистор)} \text{ равен } \frac{U_0}{\frac{R}{l_0}(l_0 - l)} = \frac{U_0 l_0}{R(l_0 - l)}$$

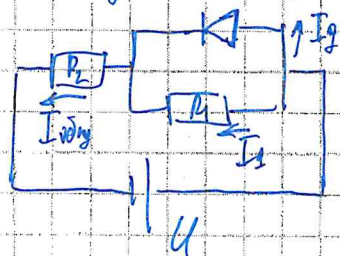
Т.к. в цепи напряжение цепи $= U \Rightarrow U_2$ (напряжение на 2 резисторе) $= U_{\text{ист}}$

$$\Rightarrow \text{Ток через него равен } \frac{U_0}{\frac{R}{l_0} l} = \frac{U_0 l_0}{R l}$$

Общий балл	Дата	Ф.И.О. Жюри	Подпись
Шифр			

Поскольку R_1 и R_2 резисторы и диод соединены параллельно, то напряжение на них одинаковое.

Пусть $I_{\text{общ}}$ - общий ток в цепи $\Rightarrow I_{\text{общ}} = I_1 + I_2$, где I_1 - ток через резистор R_1 , I_2 - ток через диод.



Поскольку диод не открыт, $I_2 = 0$ и $I_{\text{общ}} = I_1$.

$\Rightarrow$ Через резисторы идет одинаковый ток.

$\Rightarrow U = I_{\text{общ}} \cdot R \Rightarrow$ ~~Диод при открытии~~

Так по мере процесса нагрузки потенциометра увеличивается $R_2 \Rightarrow R_1$ увеличивается.

$\Rightarrow U$ на резисторе $R_1 = I_{\text{общ}} R_1$ также увеличивается (по открытию диода $I_{\text{общ}} = \text{const}$).

$\Rightarrow$ Когда U достигнет напряжения открытия диода $\Rightarrow (U_1 = U_0)$ диод откроется.

Запишем уравнение цепи против хода стрелки (3) $\Rightarrow$

$$I_{\text{общ}} \cdot \frac{R_2}{R_0} \cdot l + U_0 - U = 0$$

$$\Rightarrow I_{\text{общ}} \cdot \frac{R_2}{R_0} l = 2U$$

$$\Rightarrow l = \frac{2U U_0}{I_{\text{общ}} R_2} \quad \text{Но мы знаем, что по открытию}$$

$$\text{диода } I_{\text{общ}} R_2 = U_k \Rightarrow l = \frac{2U U_0}{U_k} = 2l_0$$