

**Всероссийская олимпиада школьников**  
**II (муниципальный) этап**  
**Физика**  
**11 класс**

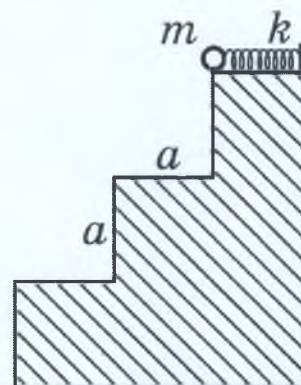
Общее время выполнения работы – 3 часа 30 минут.

Максимальное количество баллов - 50

При выполнении работы можно пользоваться непрограммируемым калькулятором.

**ЗАДАЧА 1. "Матроскин и шарик" (10 баллов)**

Лестница перед домом дяди Фёдора состоит из трех одинаковых гладких ступенек шириной  $a=30$  см и такой же высотой. На верхней ступеньке Матроскин расположил (в плоскости рисунка) невесомую пружину жесткостью  $k=30$  Н/м, правым концом прикрепленную к неподвижной стенке дома, а левым — упирающуюся в лежащий на краю ступеньки маленький шарик массой  $m=100$  г. Шарик сдвигают вправо, сжимая, после чего отпускают без начальной скорости. До какой максимальной величины  $\Delta l_{\max}$  можно сжать пружину Матроскину, чтобы выпущенный шарик по одному разу ударился о горизонтальную поверхность средней и нижней ступенек? Удар шарика о ступеньку считать абсолютно упругим, трение и сопротивление воздуха не учитывать. Ускорение свободного падения принять  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



**ЗАДАЧА 2. "Цикл" (10 баллов)**

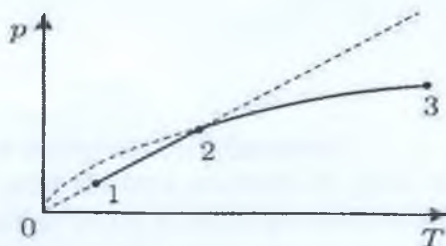
Цикл тепловой машины, работающей с идеальным газом, состоит из двух изохорических участков и двух изотермических участков с отношением температур  $T_1/T_2 = 3$ . Известно, что на участке изохорического нагревания газ получает столько же тепла, сколько на участке изотермического расширения. Найдите КПД этого цикла.

**ЗАДАЧА 3. "Рефракция" (10 баллов)**

Показатель преломления жидкости плавно увеличивается от  $n_a$  у поверхности до  $n_b$  у дна сосуда. Толщина слоя жидкости равна  $d$ . Луч света падает на поверхность жидкости под углом  $\alpha$ . Определить угол  $\beta$  падения луча на дно сосуда.

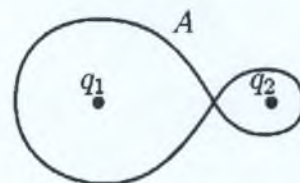
#### ЗАДАЧА 4. "Один моль" (10 баллов)

Один моль идеального одноатомного газа последовательно участвует в двух процессах: 1-2 и 2-3 (см. рис.) В первом из них давление  $p$  пропорционально температуре  $T$ , во втором  $p$  пропорционально  $\sqrt{T}$ . Определите теплоёмкость газа в каждом из двух процессов.

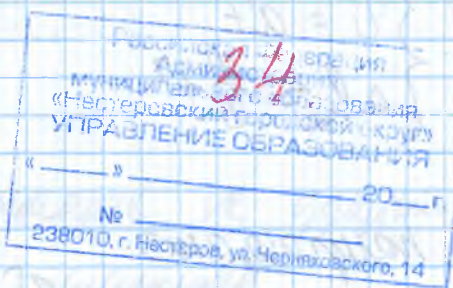


#### ЗАДАЧА 5. "Петля потенциала"

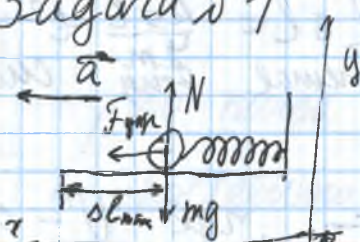
Во всех точках кривой  $A$ , изображенной на рисунке, потенциал электрического поля, созданного неподвижными точечными зарядами  $q_1 = 4$  нКл и  $q_2 = 1$  нКл равен  $\varphi = 900$  В. Определите расстояние  $l$  между зарядами. Постоянная в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup>.







# Задача 51



Дано:

$$a = 0,3 \text{ м}$$

$$k = 30 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$m = 0,1 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Определить  $\Delta l_{\text{max}}$

1)  $|\vec{N}| = |\vec{mg}|$  по ТЗН.

2) П.к действующие сил на горизонтальной оси не скаленированы (в данном случае на него действуют 1 сила), то тело приобретает

ускорение:  $\Sigma F = ma'$  Но т.к.  $F_{\text{ср.}}$  зависит от деформации линейно:

$F_{\text{ср.}} = k \Delta l_{\text{max}}$ , то можно брать  $F_{\text{ср.}} = \frac{k \Delta l_{\text{max}}}{2}$

3) Запишем систему кинематических уравнений где  $\Delta l_{\text{max}}$  — тарик:

$$\begin{cases} v(t) = v_0 + a't \\ \Delta l_{\text{max}} = v_0 t + \frac{a'}{2} t^2 \end{cases}$$

7



$$\begin{cases} \Delta r = a' t \\ \Delta l_{\text{нн}} = \frac{a' l}{2} t^2 \end{cases}$$

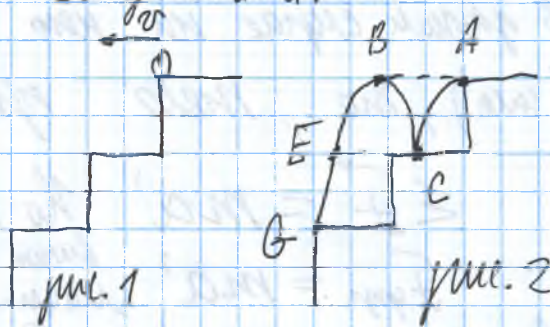
$$\begin{cases} \Delta r = \frac{k \Delta l_{\text{нн}}}{m} t \\ \Delta l = \frac{k \Delta l}{\frac{2m}{\Delta t}} t^2 \end{cases}$$

решал  $\frac{2m}{\Delta t}$  системы

получаю, что

$$\Delta l = \frac{V}{\sqrt{\frac{k}{m}}}, \text{ где } V - \text{ скорость}$$

которую получил шарик, и с которой он вылетит с самой высокой ступеньки.



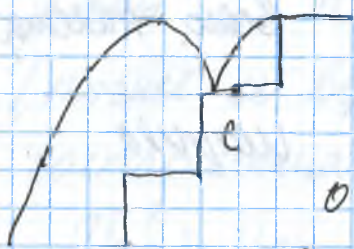
4) ~~так~~ Если  $\Delta l$  - максимальное, то получается, что шарик должен удариться об край последней ступеньки; и его траектория будет как на рис. 2

2) Если удар абсолютно упругий то B и A на одной высоте

5) Если  $\Delta l$  будет больше то траектория

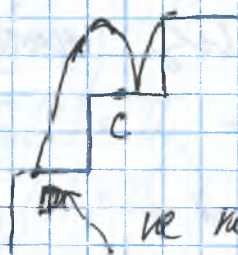


рис 8ааа:



, но тогда шарик не сдвинется  
о небольшого смещения,

а если  $\alpha \neq \text{маленькое}$ , то



не касание точки шарика

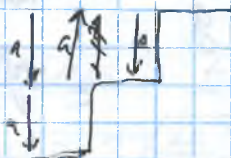
$\Rightarrow$  рис 9 - вернее изображение

где  $\alpha \neq \text{маленькое} \Rightarrow$

по горизонтали (или  $Ox$ ) шарик

протянулся  $S_x = 2a$  ( $a$  - не горизонтальное  
 $a$  - вертикальное смещение)

а по вертикали:



$$S_y = 4a$$

3

- 6) Кривая стрелы шарика ( $v$ ) имеет



только горизонтальную составляющую  $\Rightarrow$

$$t = \frac{2a}{v_x} = \frac{2a}{v} \text{ где } t - \text{ время всего полета}$$

а  $v_{\text{кон}}$  - начальная скорость шарика

$$v_x = \text{const}; \quad v_x = v$$

7) ~~Время~~ Найти время, за которое шарик переместится из точки А в точку С:

$$\begin{cases} v_{\text{кон}}(t) = v_{\text{кон}} + gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_1(t) = v_{\text{кон}} t + \frac{g}{2} t^2 \end{cases}$$

$$v_{\text{кон}} = v_{y_{\text{кон}}}, \text{ а } v_{y_{\text{кон}}} = 0 \Rightarrow$$

$$\begin{cases} v_{\text{кон}} = gt_1 \end{cases}$$

$$\begin{cases} S_1 = \frac{g}{2} t_1^2 \end{cases}$$

$S_1 = a$  - высота шарика

$$\begin{cases} v_{\text{кон}} = gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = \frac{g}{2} t_1^2 \end{cases}$$

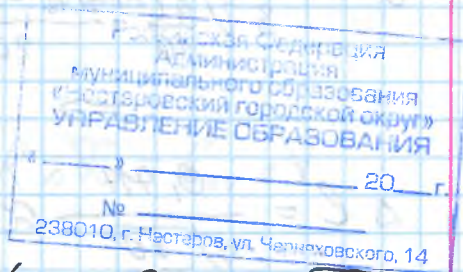
$$t_1 = \sqrt{\frac{2a}{g}}$$

$$v_{\text{кон}} = g \sqrt{\frac{2a}{g}} =$$

$$= \sqrt{2ag}$$

8) П.к. шарик горизонтально, но полетит, то время на падение, от А до С,

от С до В, от В до Е  
равны, а  $v$  (начальная)  
(точнее её вертикальная  
составляющая) равна:



$$v_{\text{кон}}' = v_{\text{кон}} = \sqrt{2ag} \Rightarrow t_{AE} = 3t_1 = 3\sqrt{\frac{2a}{g}}$$

9) Найти время полёта от Е до  
G (см 2)

$$\begin{cases} v_y(t) = v_{0y} + gt_y \\ y(t) = v_{0y}t_y + \frac{g}{2}t_y^2 \end{cases}$$

$$a = t\sqrt{2ag} + \frac{g}{2}t^2 \quad | \cdot 2$$

$$gt^2 + 2\sqrt{2ag}t - 2a = 0$$

$$10t^2 + 2\sqrt{6} - 0,6 = 0$$

$$D = 24 + 4 \cdot 10 \cdot 0,6 = 48$$

$$t_1 = \frac{-2\sqrt{6} + \sqrt{48}}{20} ; t_2 = \frac{-2\sqrt{6} - \sqrt{48}}{20} < 0$$

$\Rightarrow$  не подходит

10) Найти  $t_{\text{осл}} = \frac{2a}{v}$

$$t_{\text{осл}} = 3\sqrt{\frac{2a}{g}} + \frac{\sqrt{48} - 2\sqrt{6}}{20} \Rightarrow$$



$$v = \frac{0.6}{3\sqrt{\frac{91}{10} + \frac{\sqrt{48} - 2\sqrt{5}}{20}}} \approx 0.717 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$\Rightarrow$

$$\Delta l = \frac{0.717}{\sqrt{\frac{30}{0.1}}} \approx 0.041 \text{ м}$$

Ответ:  $\approx 0.041 \text{ м}$

105.

Задача 5

1) Рассмотрим процесс 1-2;

$p = \alpha T$  — идеал постоянного теплоемкости

$$\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 & \alpha T_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_2 V_2 = \nu R T_2 & \alpha T_2 V_2 = \nu R T_2 \end{cases}$$

$$V_1 = \frac{\nu R}{\alpha}; \quad V_2 = \frac{\nu R}{\alpha}; \quad \nu = 1 \text{ моль} \Rightarrow$$

$$V_1 = \frac{R}{\alpha} = V_2 = \frac{R}{\alpha} \Rightarrow V = \text{const} \Rightarrow$$

процесс 1-2 — изохорный  $\Rightarrow$

$$A = 0 \Rightarrow Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}^{=0}$$

6

$$Q_{12} = \Delta U_{12}$$



$$2) \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T ; \quad \nu = 1 \text{ моль}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} R \Delta T$$

$$\overset{||}{Q} = C_{12} \Delta T \Rightarrow \frac{3}{2} R \Delta T = C_{12} \Delta T$$

$\Rightarrow$

$$C_{12} = \frac{3}{2} R$$

3) Рассмотрим процесс 2-3;

$$p \sim \sqrt{T} \quad \text{где } \beta - \text{ постоянный коэффициент}$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

$$\beta \sqrt{T_2} V_2 = \nu R T_2$$

$$p_3 V_3 = \nu R T_3$$

$$\beta \sqrt{T_3} V_3 = \nu R T_3$$

$\Rightarrow$

$$V_2 = \frac{\nu R \sqrt{T_2}}{\beta} ; \quad V_3 = \frac{\nu R \sqrt{T_3}}{\beta} ; \quad \nu = 1$$

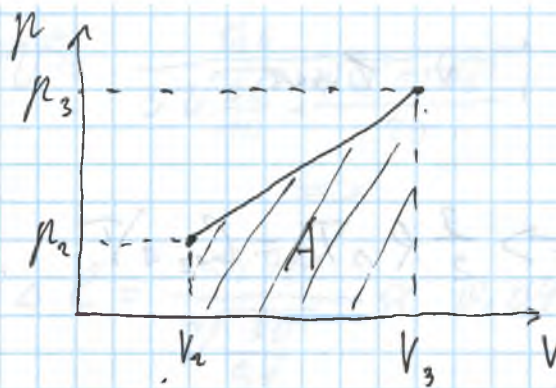
$$V_2 = \frac{R \sqrt{T_2}}{\beta} ; \quad V_3 = \frac{R \sqrt{T_3}}{\beta}$$

$\Rightarrow$

$$V \sim \sqrt{T}, \text{ но т.к. еще } p \sim \sqrt{T}, \text{ то}$$

$$V \sim p \Rightarrow \text{ график процесса 2-3 } \quad 7$$

будет следующий:



4) П.к.  $\Delta V \neq 0$ ; и  $\Delta T \neq 0$ , то

$$Q_{23} = \Delta U + A, \text{ где } A_{23} = \frac{(p_3 + p_2)}{2} \cdot (V_3 - V_2),$$

$$\text{а } \Delta U_{23} = \frac{3}{2} R \Delta T$$

5) Преобразуя это выражение получаем:

$$Q_{23} = \frac{3}{2} R \Delta T + \frac{1}{2} (R \Delta T + p_2 V_3 - p_3 V_2)$$

6) П.к.  $V \sim p$ , то

$$\frac{p_2}{V_2} = \frac{p_3}{V_3} \Rightarrow$$

$$Q = 2R \Delta T, \text{ но так же } Q = C_{23} \Delta T$$

$$2R \Delta T = C_{23} \Delta T$$

$$C_{23} = 2R$$

105 -

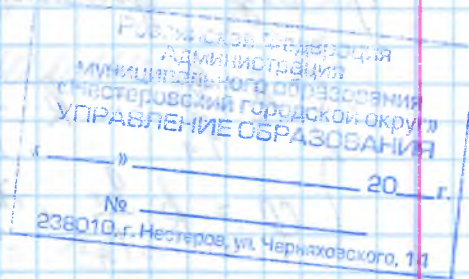
8

$$\boxed{\text{Ответ: } C_{12} = \frac{3}{2} R; C_{23} = 2R}$$



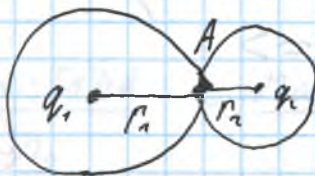
# Задача 5

9-11-02



1. Так как на всей поверхности потенциал не изменяется, то это эквипотенциальная поверхность  $\Rightarrow$  вектор напряжённости  $\perp$  этой поверхности во всех точках.

2)



Изходя из п. 1 напряжённость в точке A равна нулю  $\Rightarrow$

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_2 \Rightarrow$$

$$k \frac{q_1}{r_1^2} = k \frac{q_2}{r_2^2}$$

3) Найти потенциал в точке A:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2; \quad \varphi_1 = k \frac{q_1}{r_1}; \quad \varphi_2 = k \frac{q_2}{r_2}$$

$$\varphi = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2}$$

4) Из данной системы:

$$\begin{cases} k \frac{q_1}{r_1^2} = k \frac{q_2}{r_2^2} \\ \varphi = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} \end{cases}$$

выражу  $r_1 + r_2$

$$r_1 + r_2 = \frac{k(\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2})^2}{\varphi} = 0,09 \text{ м}$$

а  $r_1 + r_2$  — это и есть расстояние между зарядами  $\Rightarrow$

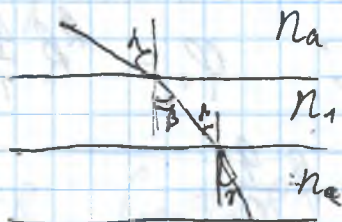
$$S = r_1 + r_2 = 0,09 \text{ м}$$

95.

Ответ: 0,09 м

Задача 53

1. Газово-жидкостный конденсатор на много слоев с постоянными показателями преломления тогда:





Занная относительные скорости \* углов  
и показателей преломления в  
1-ом преломлении:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_a} \quad \sin \beta = \frac{n_a \sin \alpha}{n_1}$$

Во 2-ом преломлении:

$$\frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} \quad \sin \gamma = \frac{n_1 \sin \beta}{n_2} =$$

$$= \frac{n_1 \cdot n_a \cdot \sin \alpha}{n_1 \cdot n_2} = \frac{n_a \sin \alpha}{n_2}$$

2) Видно, что при переходе с одного  
преломления на другое это вы-  
ражение:

$$\frac{n_a \sin \alpha}{n_i} \rightarrow \frac{n_a \sin \alpha}{n_b} \Rightarrow$$

что является на что равен:

$$\varphi = \frac{n_a \sin \alpha}{n_b}$$

$$\text{Ответ: } \frac{n_a \sin \alpha}{n_b}$$

65 см.