



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА**

**вариант № 6**

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

**Олимпиада школьников «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!»  
по ФИЗИКЕ (11 класс)**

**КУРИЛОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ**

**Дата: 20 мая 2020 г.**

**ИТОГИ ПРОВЕРКИ:**

| № | 1  | 2  | 3  | 4  | $\Sigma$ |
|---|----|----|----|----|----------|
| В | 5  | 5  | 5  | 5  | 94       |
| З | 14 | 20 | 20 | 20 |          |

**Апелляция: не подавалась**

**Итоговая оценка: 94 (девяносто четыре)**

№3

Билет №6  
Чистовик

Вопрос:

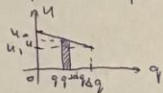
Дано:  
 $\Delta q$   
 $u_0$   
 $u_1$

Q-?

Решение:

По закону сохранения энергии - работа кин-го перемещ. зарядов на разность потенциалов равна работе внешних сил по перемещ. зарядов между электродом

Построим график  $U(q)$



Рассмотрим малый эл-т площади под графиком. Его площадь  $u \cdot dq$  - численно равна кин-го перемещ. зарядов на разность потенциалов за прохождение этого малого заряда  $dq$ .

Сумма площадей всех эл-тов равна Q

Ответ:

$$Q = \frac{u_0 + u_1}{2} \cdot \Delta q$$

Задача:

Дано  
 $\mathcal{E} = 12 \text{ (В)}$   
 $C = 10 \cdot 10^{-6} \text{ (Ф)}$   
 $n = 3$

Q-?

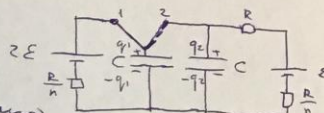
Решение:

1) Для удобства заменим кин. на идеальное + пол-проводящие электроды:

2) Найдем заряды на конд-ре замыкающего ключа  $q_1$  на левом  $q_2$  на правом

Пл-ки не меняются (ключ замыкается быстро), то напр. на конд. равен напр. на емкостниках

$$\begin{cases} 2\mathcal{E} = \frac{q_1}{C} \\ \mathcal{E} = \frac{q_2}{C} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} q_1 = 2CE \\ q_2 = CE \end{cases}$$



3) Когда ключ переводимся в положение 2, происходит перезарядка 2-х конденсаторов (это допустимо, при этом ток через R еще не ~~уменьшается~~ максимального). Общий заряд на конд. сохраняется и после перезарядки напр. на них равен (на 2-х емкостях C, то и заряды равны)

$$q_1 + q_2 = 2q'$$

$$q' = \frac{3CE}{2}$$

напр. на конд.  $\frac{3\mathcal{E}}{2}$

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = 2q' \\ -q_1 = -q_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_1 + q_2 = 2q' \\ -q_1 = -q_2 \end{cases}$$

4) Пусть за длительный промежуток времени перезарядим пл-ки

напр. на конд. станут равными  $\mathcal{E}$ .

То есть на обоих конд. будет заряд  $q_1 = CE$

Тогда через емкостник пролетит заряд  $2q' - q_1$ ;

$$2q' - q_1 = 2\left(\frac{3CE}{2}\right) - CE = CE$$

При этом емкостник совершил работу  $A = \mathcal{E}(2q' - q_1) = -CE^2$

5) ~~Второй~~ пл-ки на R и  $\frac{R}{n}$  равны, но кин-го перемещ. зарядов на  $\frac{R}{n}$  в n раз меньше, чем на R ( $\delta Q_R = I^2 R dt$ ;  $\delta Q_{\frac{R}{n}} = I^2 \frac{R}{n} dt \Rightarrow \delta Q_{\frac{R}{n}} = \frac{1}{n} \delta Q_R$ )

З.С.Э:

$$\frac{q_1^2}{2C} + \frac{q_2^2}{2C} + A = \frac{q_1^2}{2C} + \frac{q_2^2}{2C} + Q + \frac{Q}{n}$$

$$\frac{1}{C} \cdot \frac{9}{4} CE^2 - CE^2 = \frac{1}{C} \cdot CE^2 + Q \left(1 + \frac{1}{n}\right)$$

$$\frac{CE^2}{4} = Q \frac{n+1}{n} \Leftrightarrow Q = \frac{CE^2 n}{4(n+1)}$$

Ответ:

$$Q = \frac{CE^2 n}{4(n+1)}$$

# Задание 1

Источник

Вопрос:

Дано:

$$v = 30 \text{ (м/с)}$$

$$g = 10 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

$$R = 40 \text{ (м)}$$

$$\mu = 0.5$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Решение:

- 1)  $\alpha$  - угол наклона плоскости к горизонту
- 2) на рисунке скорости направлены + рисунку на нас

$F_{тр}$  - трение, сила направлена по рисунку

3) Перейдем во вращ. с.о., в которой машина неподвижна. В ней на машину

действует сила инерции  $F_{in} = \frac{mv^2}{R}$  (и коэф. как на рис.

- 4) Введем осяи x и y как на рис. и запишем условие равновесия машины (в этой с.о. машина неподвижна)

$$\begin{cases} N - mg \cos \alpha - \frac{mv^2}{R} \sin \alpha = 0 & (2) \\ -F_{тр} + mg \sin \alpha - \frac{mv^2}{R} \cos \alpha = 0 & (3) \end{cases}$$

Решим систему из уравнений (1) - (4)

$$\begin{cases} F_{тр} \leq \mu N \\ N = mg \cos \alpha + \frac{mv^2}{R} \sin \alpha \\ F_{тр} = mg \sin \alpha - \frac{mv^2}{R} \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} -\mu mg \cos \alpha - \frac{\mu mv^2}{R} \sin \alpha \leq mg \sin \alpha - \frac{mv^2}{R} \cos \alpha & : \cos \alpha \\ \mu mg \cos \alpha + \frac{\mu mv^2}{R} \sin \alpha \geq mg \sin \alpha - \frac{mv^2}{R} \cos \alpha & : \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} \left( \frac{v^2}{R} - \mu g \right) \geq -\mu g + \frac{v^2}{R} & (4) \\ \left( \frac{v^2}{R} - \mu g \right) \leq \mu g + \frac{v^2}{R} \end{cases}$$

$$-\mu + \frac{v^2}{gR} \leq \frac{\mu + \frac{v^2}{gR}}{1 + \frac{v^2}{gR}}$$

$$\alpha \in \left[ \arctg \left( \frac{-\mu + \frac{v^2}{gR}}{1 + \frac{v^2}{gR}} \right); \arctg \left( \frac{\mu + \frac{v^2}{gR}}{1 - \frac{v^2}{gR}} \right) \right]$$

$$\frac{-\mu + \frac{v^2}{gR}}{1 + \frac{v^2}{gR}} = \frac{\frac{90}{40} - 1}{1 + \frac{90}{40}} = \frac{5}{13}$$

$$\frac{\mu + \frac{v^2}{gR}}{1 - \frac{v^2}{gR}} = \frac{1 + \frac{90}{40}}{1 - \frac{90}{40}}$$

$$\begin{cases} \left\{ \begin{aligned} \frac{v^2}{R} - \mu g &\geq \frac{v^2}{R} - \mu g \\ \frac{v^2}{R} - \mu g &\leq \frac{v^2}{R} - \mu g \end{aligned} \right. \end{cases}$$

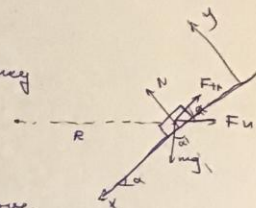
$$\frac{\frac{v^2}{R} - \mu g}{g + \frac{\mu v^2}{R}} = \frac{\frac{90}{40} - 1}{10 + \frac{0.5 \cdot 90}{40}} = \frac{5}{13}$$

$$\frac{-\mu g - \frac{v^2}{R}}{-g + \frac{\mu v^2}{R}} = \frac{-10 - \frac{90}{40}}{-10 + \frac{0.5 \cdot 90}{40}} = -\frac{13}{5}$$

$$\frac{v^2}{R} - \mu g > \frac{-\mu g - \frac{v^2}{R}}{-g + \frac{\mu v^2}{R}}$$

$$\alpha_{min} = \arctg \left( \frac{5}{13} \right)$$

$$\text{Ответ: } \alpha_{min} = \arctg \left( \frac{5}{13} \right) = \arctg \left( \frac{\frac{v^2}{R} - \mu g}{g + \frac{\mu v^2}{R}} \right)$$



$g - \frac{v^2}{R} = 10 - \frac{900}{40} = 10 - \frac{225}{10} = -12.5 < 0$   
 по условию тангенс угла наклона  
 к горизонту (S) равен 1  
 и положим на  $\frac{v^2}{R} - g$

~~Задача:~~

Задача:

4 и 50 ВУК

Дано

$a = 24 \text{ (см)}$   
 $L = 37 \text{ (см)}$   
 $w_1 = 7 \text{ (}\frac{1}{\text{с}}\text{)}$   
 $T_1 = 49 \text{ (Н)}$   
 $w_2 = 6 \text{ (}\frac{1}{\text{с}}\text{)}$   
 $w_3 = 5 \text{ (}\frac{1}{\text{с}}\text{)}$

$T_2 = ?$   
 $T_3 = ?$

$g = 9,8 \text{ (}\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\text{)}$

Решение:

1) Обозн.  $m$  - масса груза  
 $T$  - сила натяжения нити  
 $w$  - угл. скорость

Обозн.  $m, A, B, C$  и  $D$

В силу симметрии сила на камне направлена  $CD$   
 м.е. их можно заменить одной силой величиной  $2T \cos \alpha$ .

Обозн. углы  $\alpha$  и  $\varphi$  как на рис.

2) Перейдем во вращ. с.о. В ней груз покоится + на него действует сила инерции, направленная  $\perp$  оси

$F_n = m w^2 \cdot CD \cdot \sin \varphi$

$CD = \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}}$  по т. Пифагора.

$F_n = m w^2 \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}} \sin \varphi$

Запишем уст. равновесия в проекциях на  $x$  и  $y$ :

$0 = F_n - 2T \cos \alpha \sin \varphi$

$0 = 2T \cos \alpha \cos \varphi - mg$

$$\begin{cases} m w^2 \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}} \sin \varphi = 2T \cos \alpha \sin \varphi \\ 2T \cos \alpha \cos \varphi = mg \end{cases} \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} \sin \varphi = 0 \\ T = \frac{m w^2 \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}}}{2 \cos \alpha} \\ w^2 \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}} \cot \varphi = mg \end{cases}$$

т.е.  $\cot \varphi = \frac{g}{w^2 \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}}}$  не равен 0, но  $\sin \varphi \neq 0$ , т.е. шарик находится не на оси.

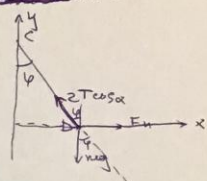
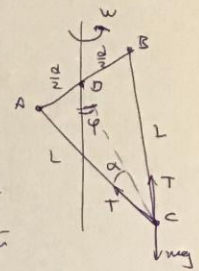
(изначально он был не на оси, поэтому камень после удара не на ней, т.е. это неустойчивое равновесие)

$T = w^2 \cdot \frac{m \sqrt{L^2 - \frac{a^2}{4}}}{2 \cos \alpha}$

поэтому из всех  $w$

$$\begin{cases} \frac{T_1}{T_2} = \frac{w_1^2}{w_2^2} \\ \frac{T_1}{T_3} = \frac{w_1^2}{w_3^2} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} T_2 = T_1 \left( \frac{w_2}{w_1} \right)^2 = 49 - \frac{36}{49} = 36 \text{ (Н)} \\ T_3 = T_1 \left( \frac{w_3}{w_1} \right)^2 = 49 - \frac{25}{49} = 25 \text{ (Н)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_2 = T_1 \left( \frac{w_2}{w_1} \right)^2 = 36 \text{ (Н)} \\ T_3 = T_1 \left( \frac{w_3}{w_1} \right)^2 = 25 \text{ (Н)} \end{cases}$$



Задача 2:

Числовик

Вопрос:

Дано:

$t = 100^\circ\text{C}$

$p = 0.1 \text{ (АТМ)}$

$p' = ?$

Решение:

а) Как известно, давление насыщенного пара при  $t = 100^\circ\text{C}$  составляет  $p_{\text{нп}} = 1 \text{ (АТМ)}$ , не считая пар некачественный.

Предположим, что остался некачественный  $\rightarrow V = \text{const}$

Затем из уравнения состояния идеального газа в кг-и моль. составных

$pV = \nu RT$   $\nu$  - моль-объем газа;  $\nu$  - кол-во газа;  $T$  - темп. газа

$p' \frac{V}{3} = \nu RT \Leftrightarrow p' = 3p = 1,2 \text{ (АТМ)} > p_{\text{нп}}$  Противоречие

П.с. пар некачественный в конечном состоянии

$p' = p_{\text{нп}} = 1 \text{ (АТМ)}$

Ответ:  $p' = 1 \text{ (АТМ)}$

Задача 3:

Дано:

$S$

$M$

$P$

$T$

$m$

$R$

$g$

$Q_n = ?$

$Q_{\text{ке}} = ?$

Решение:

а) ~~Сначала~~ П.с. не нагревается, но он расширяется. При этом состояние насыщенного пара его давление не меняется, но меняется кол-во в-ва.

б) Находим давление м.п.  $p_1$

П.с. все процессы медленные, то можно считать их квазистатическими, т.е. процесс всегда примерно в равновесии.

Затем из уравнения равновесия на верт. ось  $x$ :

$$-mg - p_1 S + p S = 0$$

$$p_1 = p - \frac{mg}{S}$$

в) П.с.  $p_1 = \text{const}$ , но  $p = p_1 + \frac{mg}{S} = \text{const}$ , т.е. не нагревается изобарно.

Темп. одноатомного газа без него  $c_p = \frac{5R}{2}$

Темп. об-ем не  $\uparrow$  на  $\Delta V$

$$Q_{\text{ке}} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_1), \text{ где } T_1 - \text{нач. темп.}$$

$V_1$  - нач. об-ем  $V_2$  - конечный

из уравнения состояния идеального газа:

$$p R T_2 = p V_2$$

$$p R T_1 = p V_1$$

$$Q_{\text{ке}} = \frac{5}{2} (p V_2 - p V_1) = \frac{5}{2} p (V_2 - V_1) = \frac{5}{2} p \Delta V$$

г) При состоянии м.п. ~~находим~~  $V_{\text{нач}}$ ,  $V_{\text{кон}}$  ~~необходимо~~ ~~определяем~~ ~~конденсацию~~

каждое состояние, равное какому-либо  $V_{\text{нач}}$   $V_{\text{кон}}$

$$Q_n = \lambda (m_1 - m_2) \quad m_1 - \text{масса пара} \quad m_2 - \text{конечная}$$

$V_{\text{нач}}$  - начальный об-ем пара  $V_{\text{кон}}$  - конечный ~~в состоянии~~

из уравнения состояния идеального газа:

$$p_1 V_{\text{нач}} = \frac{m_1}{\mu} R T_0$$

$$p_1 V_{\text{кон}} = \frac{m_2}{\mu} R T_0$$

$$\Rightarrow m_1 = \frac{\mu p_1 V_{\text{нач}}}{R T_0}$$

$$m_2 = \frac{\mu p_1 V_{\text{кон}}}{R T_0}$$

$$Q_n = \lambda \frac{\mu p_1}{R T_0} (V_{\text{нач}} - V_{\text{кон}}) = \frac{\lambda \mu p_1 \Delta V}{R T_0}$$

$$5) \frac{Q_n}{Q_{\text{ке}}} = \frac{\lambda \mu p_1 \Delta V}{\frac{5}{2} p \Delta V} = \frac{2 \lambda \mu (p - \frac{mg}{S})}{5 p R T}$$

$$\text{Ответ: } \frac{Q_n}{Q_{\text{ке}}} = \frac{2 \lambda \mu (p - \frac{mg}{S})}{5 p R T} = \frac{2 \lambda \mu (p S - mg)}{5 p S R T}$$

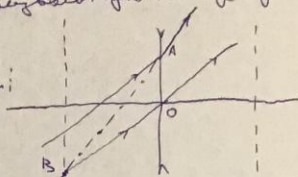
лист 4 из 5

# Чистовик

Задача 4:

Вопрос:

Решение:  
 Рассмотрим произвольный луч, падающий в произвольную точку на боковой поверхности линзы. Пусть луч падает в т. А. Обозн. О — центр линзы, также обозн. фокальные плоскости пунктиром;



~~Продолжение луча~~

Продолжение лучей параллельного луча, прох. через рассеивающую линзу пересекаются в точке в фокальной плоскости линзы (в данном случае она слева; если луч идет справа, то она справа).  
 Луч, прох. через О не преломляется, значит продолжение лучей пересекается в точке В — точке пересечения фок. плоскостей и луча, прох. через центр линзы. Т.е. продолжение искомой луча проходит через т. А и В, продолжим линию АВ за точку В — найдем искомый луч.

Задача:

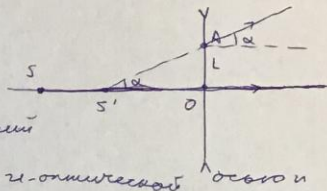
Дано:

$$\begin{aligned} L &= 2 \text{ (см)} \\ \alpha &= 6^\circ \\ F &= 25 \text{ (см)} \\ x &=? \end{aligned}$$

Решение:

1) Если провести через точку О луч, то он не преломится. Тогда искомая линия не главной оптической оси

2) Т.к. линза рассеивающая, то изображение — мнимое и находится к плоскости линзы ближе, чем S



3) S' — мнимое, т.е. лежит на пересечении продолжений лучей.

Продолжим луч, прох. через точку А до пересечения с главной осью и найдем расстояние S'

из геом. соотношений:  $OS' = \frac{L}{\tan \alpha} = L \cot \alpha$

4) По формуле тонкой линзы:

$$\begin{aligned} \frac{1}{x} + \frac{1}{OS'} &= -\frac{1}{F} \\ \frac{1}{x} &= -\frac{1}{L \cot \alpha} - \frac{1}{F} = -\frac{F + L \cot \alpha}{FL \cot \alpha} \\ x &= \frac{FL \cot \alpha}{F + L \cot \alpha} = \frac{FL}{F \tan \alpha + L} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} -3,14 \cdot 30 \\ 30 \quad 10,1046 \\ -140 \\ \hline 120 \\ 200 \end{array}$$

$\alpha$  — малый  
 $\alpha = 6^\circ = \frac{360^\circ}{60} = \frac{2\pi}{60} = \frac{\pi}{30} \approx 0,105$  — в радианах

$\tan \alpha \approx \alpha$   
 $x \approx \frac{25 \cdot 2}{25 \cdot 0,105 + 2} \approx \frac{25 \cdot 2}{2,5 - 2} = \frac{25 \cdot 2}{0,5} = 25 \cdot 4 = 100 \text{ (см)}$

Ответ:  $x = \frac{FL}{F \tan \alpha + L} \approx 100 \text{ (см)}$