



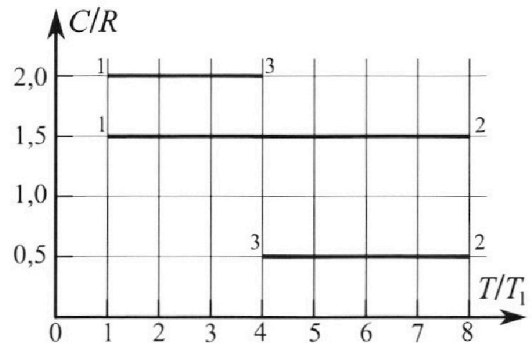
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02



Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

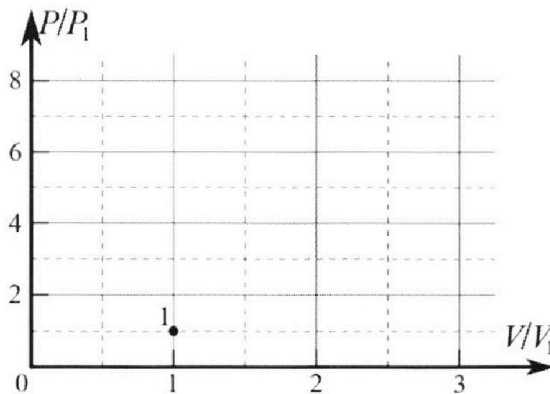
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1 = 200$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.

2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует состоянию 1 газа в цикле.



5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $a$  (см. рис.). Сила натяжения каждой нити  $T$ .

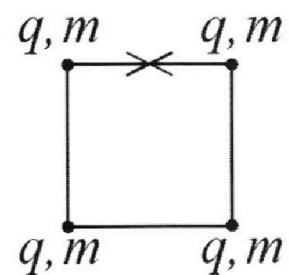
1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика.

Одну нить пережигают.

2) Найдите кинетическую энергию  $K$  любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.

3) На каком расстоянии  $d$  от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных сверху (на рисунке)?

Электрическая постоянная  $\epsilon_0$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.





Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.



1. Футболист наносит удар по мячу, лежащему на горизонтальной площадке. Вектор начальной скорости мяча образует угол  $\alpha = 45^\circ$  с горизонтальной плоскостью. Горизонтальное перемещение мяча за время полета  $L = 20$  м.

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

Если футболист направляет мяч под различными углами к горизонту, из той же точки с начальной скоростью  $V_0$  к высокой вертикальной стенке, то наибольшая высота, на которой происходит соударение мяча со стенкой, равна  $H = 3,6$  м.

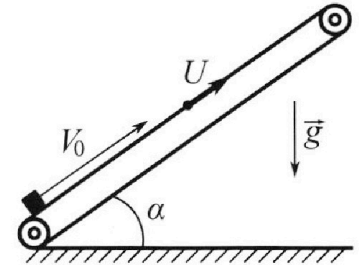
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,6$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 6$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = 0,5$ .

Движение коробки прямолинейное.



1) Какой путь  $S$  пройдет коробка в первом опыте к моменту времени  $T = 1$  с?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 1$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 6$  м/с (см. рис.).

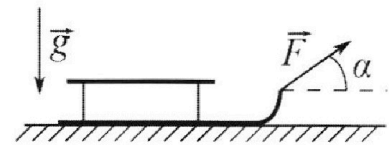
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

3) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки обратится в ноль во втором опыте? Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Все кинематические величины измерены в лабораторной системе отсчета.

3. Санки дважды разгоняют из состояния покоя до одной и той же кинетической энергии  $K$  на одинаковых участках пути.

В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения кинетической энергии  $K$  действие внешней силы прекращается.



1) Найдите коэффициент  $\mu$  трения скольжения санок по горизонтальной поверхности.

2) Найдите перемещение  $S$  санок в процессе торможения до остановки. Ускорение свободного падения  $g$ . Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

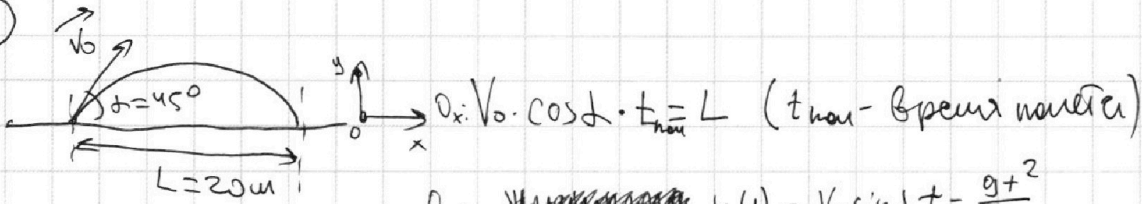
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

①



$$O_x: v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_{\text{max}} = L \quad (t_{\text{max}} - \text{время полета})$$

$$O_y: \text{~~... ..~~} y(t) = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

$$y(t_{\text{max}}) = 0$$

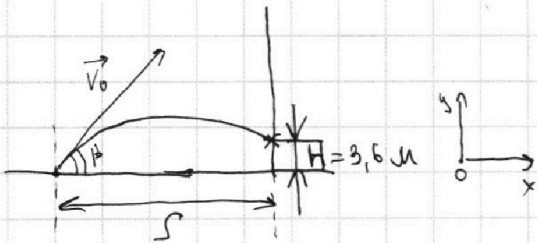
$$v_0 \sin \alpha t_{\text{max}} - \frac{gt_{\text{max}}^2}{2} = 0$$

$$v_0 \sin \alpha = \frac{gt_{\text{max}}}{2}$$

$$\frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = t_{\text{max}}$$

$$\frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = L \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{gL}{\sin 2\alpha}}$$

$$v_0 = \sqrt{200} = 10\sqrt{2}$$



$$O_y: y(t) = v_0 \sin \beta t - \frac{gt^2}{2}$$

$$O_x: x(t) = v_0 \cos \beta t$$

$$y(t) = H$$

$$y(t) = v_0 \sin \beta t - \frac{gt^2}{2}$$

$$x(t) = S$$

$$x(t) = v_0 \cos \beta t$$

$$\Rightarrow H = v_0 \sin \beta t' - \frac{gt'^2}{2}$$

$$\Rightarrow S = v_0 \cos \beta t' \Rightarrow t' = \frac{S}{v_0 \cos \beta}$$

$$H = v_0 \sin \beta \cdot \frac{S}{v_0 \cos \beta} - \frac{g \frac{S^2}{v_0^2 \cos^2 \beta}}{2} = \tan \beta \cdot S - \frac{gS^2}{2v_0^2 \cos^2 \beta}$$

$$\frac{1}{\cos^2 \beta} = \tan^2 \beta + 1$$

$$H = \tan \beta \cdot S - \frac{gS^2}{2v_0^2} - \frac{gS^2 \tan^2 \beta}{2v_0^2}$$

$$H - \text{максимально при } \tan \beta = \frac{-S}{\frac{2gS^2}{2v_0^2} - \frac{gS^2}{2v_0^2}} = \frac{v_0^2}{gS}$$

(вершина параболы  $\frac{-b}{2a}$ )

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

1

$$H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2V_0^2} - \frac{gS^2 \left(\frac{V_0^2}{gS}\right)^2}{2V_0^2}$$

$$H = \frac{V_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2V_0^2} - \frac{gS^2 \cdot V_0^2}{4g^2 \cdot S^2}$$

$$H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2V_0^2} - \frac{V_0^2}{2g}$$

$$H = \frac{V_0^2}{2g} - \frac{gS^2}{2V_0^2}$$

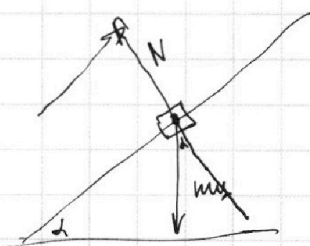
$$3,6 = \frac{200}{2g} - \frac{10 \cdot S^2}{400}$$

$$3,6 = 10 - \frac{1}{40} \cdot S^2$$

$$S = 16$$

Ответ: начальная скорость мяча  $10 \frac{м}{с}$   
стенка на которой мяч находится  $16 \frac{м}{с}$

черновик



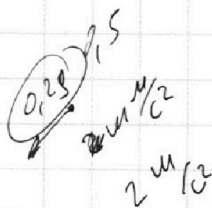
$$mg \cdot \cos \alpha = N$$

$$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha$$

$$mg \cdot \sin \alpha$$

$$mg \cdot 0,6 \quad 0,5 \cdot 0,8$$

10



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

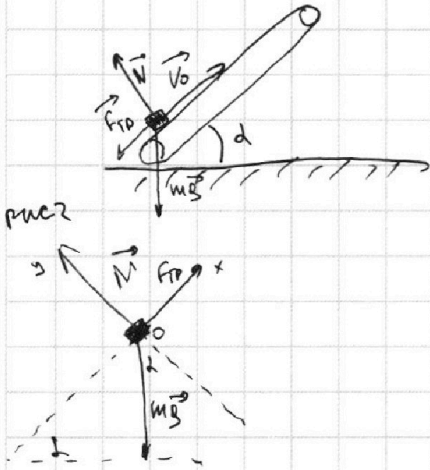
1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



②



$$\sin \alpha = 0,6 \Rightarrow \cos \alpha = 0,8$$

И проверим будет ли <sup>шайкаться</sup> после остановки в первом случае груз (рис 2)

$$\text{II } z \text{ и } O_y: N = mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} \in [0; \mu mg \cos \alpha]$$

$$F_{\text{тр}} \in [0; 0,4 mg]$$

$$mg \sin \alpha = 0,6 mg$$

$$mg \sin \alpha > F_{\text{тр}}$$

↓  
груз будет <sup>шайкаться</sup>

#1 до остановки

$$\text{II } z \text{ и } O_x: a_1 = \frac{mg \sin \alpha + F_{\text{тр}}}{m} = g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha = 0,6g + 0,4g = g \text{ м/с}^2$$

~~$$S_1 = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2a_1} = \frac{36 - 0}{2 \cdot 10} = 1,8 \text{ м}$$~~

$$S_1 = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2g} = \frac{36}{2 \cdot 10} = 1,8 \text{ м}$$

$$t_{\text{ост}} = \frac{v_0}{g} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ с}$$

$t_{\text{ост}}$  - время до остановки

#1 после остановки

$$\text{II } z \text{ и } O_x: a_2 = \frac{mg \sin \alpha - F_{\text{тр}}}{m} = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = 0,2g \text{ м/с}^2$$

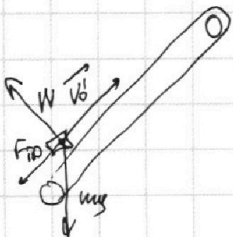
$$t_{\text{зад}} = T - t_{\text{ост}} = 1 - 0,6 = 0,4 \text{ с}$$

$$S_2 = \frac{a_2 t_{\text{зад}}^2}{2} = \frac{0,2 \cdot 10 \cdot 0,4 \cdot 0,4}{2} = 0,16 \text{ м}$$

$$S = S_1 + S_2 = 1,8 + 0,16 = 1,96 \text{ м}$$

#2 второй шаг

перейдем к со движущемуся поезду с скоростью  $u = 1 \text{ м/с}$



$$v_0' = 6 - 1 = 5 \text{ м/с}$$

во втором случае заряды с нами перпендикулярно попутается и в нулевой время поезда в момент со скоростью будет нам

Аналогично (#1 до остановки)

$$T_1 = \frac{v_0'}{g} = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ с}$$

$$S_1 = \frac{g v_0'^2}{2g} = \frac{25}{2 \cdot 10} = 1,25 \text{ м (в со нашей со)}$$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

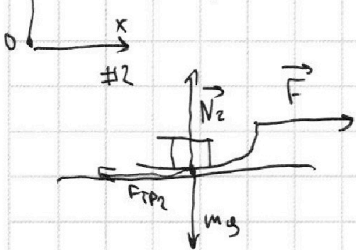
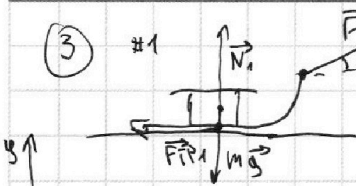
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

3 #1



~~Итого:  $\Delta W = A_{\text{вн}}$~~

~~т.к. потенциальная энергия одинакова в обоих случаях значит скорость тоже одинакова~~  
~~т.к. значит ускорение тоже одинаково т.к. сила трения одна и та же~~  
 ускорение одинаково  $\Rightarrow$  сумма сил одинакова

II зм: Oy:  $N_1 + F \cdot \sin \alpha = mg \Rightarrow N_1 = mg - F \cdot \sin \alpha$   
 $N_2 = mg$

Ox:  $ma = F \cdot \cos \alpha - F_{\text{fr1}}$   
 $ma = F - F_{\text{fr2}}$

$N_1 = mg - F \sin \alpha$   
 $N_2 = mg$   
 $ma = F \cos \alpha - \mu N_1 + \mu F \sin \alpha$   
 $ma = F - \mu mg$  }  $\Rightarrow F \cos \alpha + \mu F \sin \alpha = F$   
 $\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$   
 $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

после расчета:

3. изменение энергии

~~$\Delta W = A_{\text{вн}}$~~

~~$K - 0 = |F_{\text{тр}}| \cdot S$~~

$S = \frac{K}{\mu mg} = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$

Ответ: 1:  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

2:  $S = \frac{K \sin \alpha}{(1 - \cos \alpha) mg}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



U

$\nu = 1 \text{ моль}$   
 $\nu_i = 3$   
 $T_1 = 200 \text{ K}$

$T_2 = 1600 \text{ K}$  ;  $T_3 = 800 \text{ K}$  ;  $T_1 = 200 \text{ K}$

т.к. количество газа постоянно

$PV^\eta = \text{const}$  ;  $A = \frac{P_1 V_1 - P_0 V_0}{1-\eta}$

$\eta = \frac{C_p - C_v}{C_p - C_v}$

$C_p = \frac{i+2}{2} R = 2,5 R$

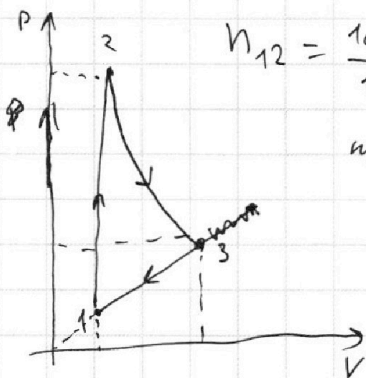
$C_v = \frac{i}{2} R = 1,5 R$

$\eta_{31} = \frac{2-2,5}{2-1,5} = -1$

$\eta_{23} = \frac{0,5-2,5}{0,5-1,5} = 2$

$\eta_{12} = \frac{1,5-1,5}{1,5-1,5} = \infty$  (изохорный процесс)

приближенный вид процесса в координатах  $PV$



$A_{31} = \frac{P_3 V_3 - P_1 V_1}{2}$  (из треугольника трапеции)

$A_{31} = \frac{JR T_3 - JR T_1}{2} = \frac{JR (T_3 - T_1)}{2} = \frac{8,31 \cdot (800 - 200)}{2} =$

$= 8,31 \cdot 300 = 2493 \text{ Дж}$

(на участке 23 нето отнимается т.к.  $2 > \frac{5}{3}$   $\frac{5}{3}$ -показателем адиабаты для одноатомного газа)

~~Handwritten scribbles and corrections.~~

$\eta = \frac{A}{Q_+} = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{A_{23} - A_{31}}{Q_{12}} = \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{Q_{12}} - A_{31}$

$= \frac{\frac{JR (T_2 - T_3)}{1} - \frac{JR (T_3 - T_1)}{2}}{\frac{3}{2} JR (T_2 - T_1)} = \frac{2(T_2 - T_3) - (T_3 - T_1)}{3(T_2 - T_1)} = \frac{2(800) - 600}{3(1400)} = \frac{1000}{4200} = \frac{1}{4,2}$



На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1   
  2   
  3   
  4   
  5   
  6   
  7



Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$P_1 V_1 = J R T_1 ; P_3 V_3 = J R T_3$$

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_3}{V_3}$$

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{P_3}{P_1}$$

$$\frac{P_3 V_3}{P_1 V_1} = \frac{T_3}{T_1} = 4$$

$$\frac{P_3}{P_1} = \frac{V_3}{V_1} = 2 \Rightarrow P_3 = 2P_1$$

$$P_3 = 2P_1$$

~~$$P_2 V_2 = J R T_2$$~~

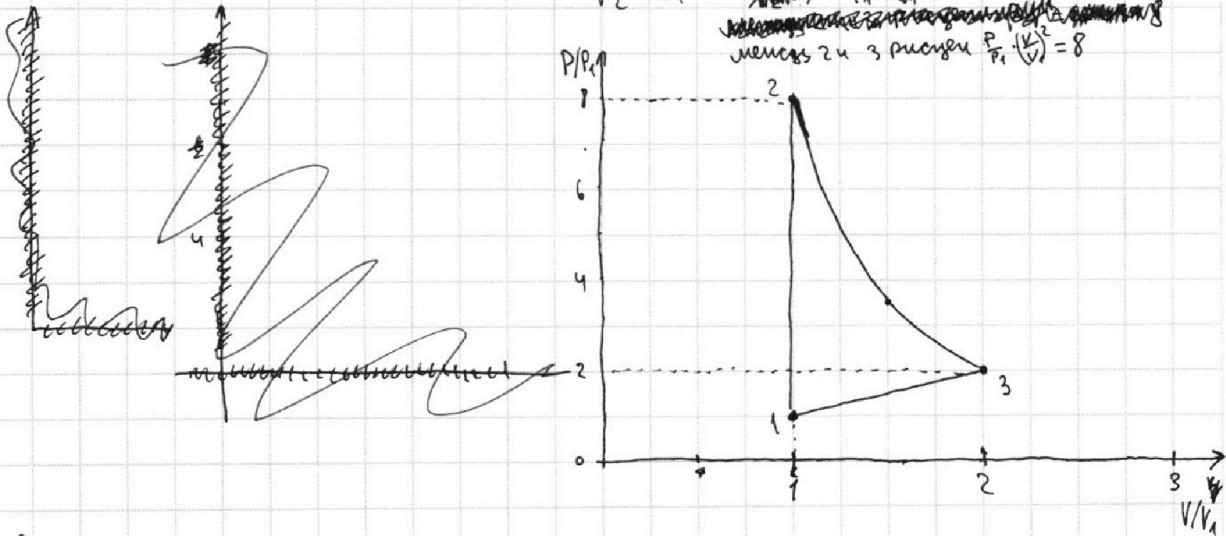
~~$$P_1 V_2 = J R T_1$$~~

~~$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} = 8 \Rightarrow P_2 = 8P_1$$~~

$$V_2 = V_1$$

~~$$\frac{P_2}{P_1} \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = 8 \cdot 1^2 = 8$$~~

менее 2 и 3 рисунки  $\frac{P_2}{P_1} \cdot \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 = 8$



Ответ: работа  $A_{31}$  над газом равна  $2483 \text{ Дж}$   
 коэффициент  $\eta = \frac{1}{4,2} \approx 0,238$

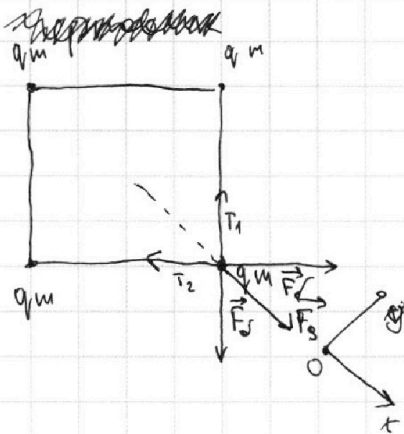
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Посчитаем силу взаимодействия  
или  $q$  с одним зарядом  
Очевидно из симметрии могут  
быть маркированы силы взаимодей-  
ствия будут равными ил  
Очевидно из симметрии  $T_1 = T_2 = T$

$$O_x: F_3 + 2F_1 \cdot \cos 45^\circ = 2T \cdot \cos 45^\circ$$

$$\frac{kq^2}{2a^2} + 2 \frac{kq^2}{a^2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 2T \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\frac{2\sqrt{2}kq^2}{2a^2} + \frac{kq^2}{2a^2} = \sqrt{2}T$$

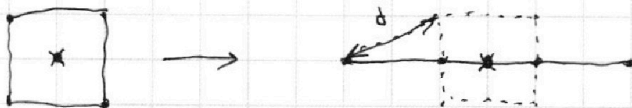
$$(2\sqrt{2}+1)kq^2 = 2\sqrt{2}a^2T$$

$$|q| = \sqrt{\frac{2\sqrt{2}a^2T}{(2\sqrt{2}+1)k}}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$$|q| = \sqrt{\frac{8\sqrt{2}a^2T\pi\epsilon_0}{2\sqrt{2}+1}}$$

Т.к. внешних сил нет зарядов системы не изменят  
положения



$$d = \sqrt{a^2 + \frac{1}{4}a^2} = \frac{\sqrt{5}}{2}a$$

ответ: 1:  $|q| = \sqrt{\frac{2\sqrt{2}a^2T}{(2\sqrt{2}+1)k}} = \sqrt{\frac{8\sqrt{2}a^2T\pi\epsilon_0}{2\sqrt{2}+1}}$   
3:  $d = \frac{\sqrt{5}}{2}a$





На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи,  
страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

5) ~~Путь~~ 2

Ответ: 0 т.к. маршрут действует друг на друга  
пути ~~вправо~~ и влево и нет ~~кнопки~~  
силы которой бы один маршрут

На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



Handwritten physics solution on grid paper. The solution includes several diagrams and calculations:

- Diagram 1 (top left):** A projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.
- Diagram 2 (top right):** A projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.
- Equations:**
  - $S = \frac{V_h^2}{2a} = \frac{2k}{2\mu g} = \frac{k}{\mu g}$
  - $H = V_0 \sin \beta + \frac{g t^2}{2}$
  - $S = V_0 \cos \beta \cdot t$
  - $t = \frac{S}{V_0 \cos \beta}$
  - $H = t g \beta \cdot S - \frac{g S^2}{2 V_0^2} - \frac{g S^2 + g^2 \beta^2}{2 V_0^2}$
  - $H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{g S^2}{2 V_0^2} - \frac{g S^2 + V_0^2}{2 V_0^2 g^2 \beta^2} = \frac{V_0^2}{2g}$
- Calculations:**
  - $\frac{V_k^2}{2a} = \frac{36}{2 \cdot 10}$
  - $\frac{10\sqrt{2}}{2} = 7,07$
  - $\frac{100}{84} = 1,19$
  - $\frac{160}{126} = 1,27$
  - $\frac{340}{340} = 1$
  - $\frac{340}{32} = 10,625$
  - $\frac{320}{280} = 1,14$
  - $\frac{10\sqrt{42}}{2} = 3,27$
  - $\frac{100}{84} = 1,19$
  - $\frac{160}{126} = 1,27$
  - $\frac{340}{336} = 1,01$
  - $\frac{400}{400} = 1$
  - $320 \times 16 = 5120$
  - $3$
- Diagram 3 (middle left):** A diagram showing a projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.
- Diagram 4 (middle right):** A diagram showing a projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.
- Diagram 5 (bottom left):** A diagram showing a projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.
- Diagram 6 (bottom right):** A diagram showing a projectile path starting at height 20, reaching a peak at height 40, and ending at height 10. The initial velocity is  $10\sqrt{2}$  at a  $45^\circ$  angle.



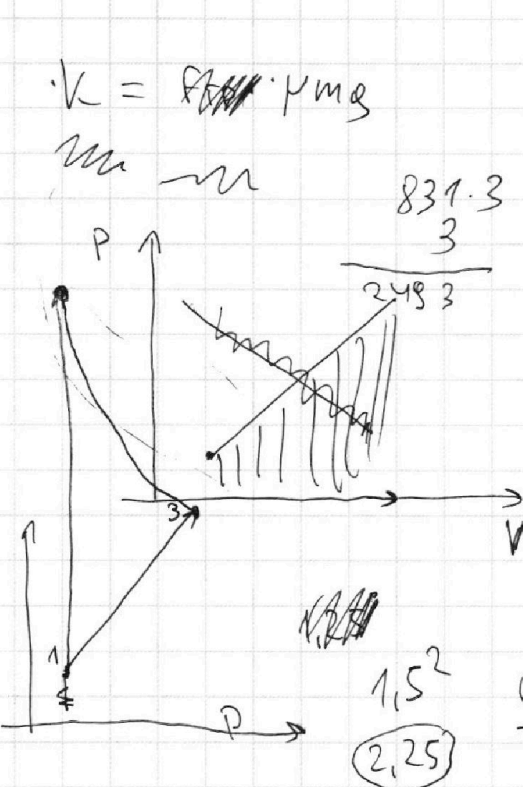
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

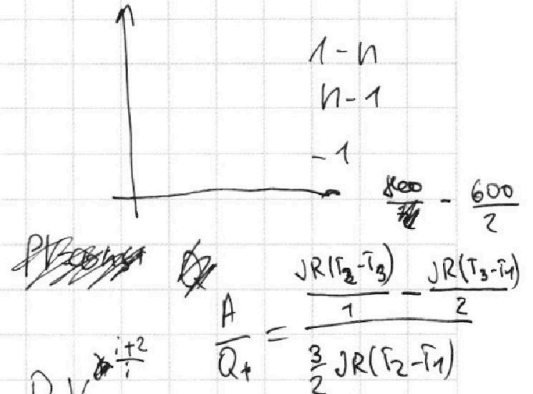
- 1  2  3  4  5  6  7

**МФТИ**

Если отмечено более одной задачи или не отмечено ни одной задачи, страница считается черновиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!



$$\frac{C - C_V}{C - C_P}$$



$$C_V = \frac{8}{2.25} = \frac{8.4}{3}$$

$$\frac{800 - 300}{\frac{3}{2} \cdot 1000} = \frac{500}{1500} = \frac{5}{21}$$

$$C_P \cdot V \cdot \Delta T = A + \Delta U$$

$$C_P = (i+2)R$$

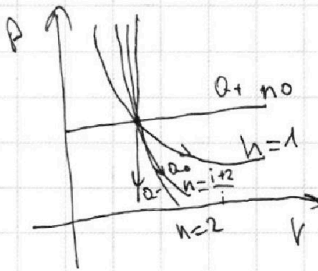
$$C_P = \left(\frac{2+i}{2}\right)R$$

$$\kappa_{23} = \frac{0.8 - 2.5}{0.8 - 1.8} = \frac{-2}{-1} = 2 \quad \kappa = \frac{C - C_P}{C - C_V}$$

$$P = \frac{1}{V^2} \quad \kappa_{13} = \frac{2R - \frac{5}{2}R}{2R - \frac{3}{2}R} = \frac{-0.5R}{0.5R} = -1$$

$$C_P = \frac{5}{2}R \quad C_V = \frac{3}{2}R$$

$$\kappa - 1 \quad \frac{P}{V} = \text{const} \quad P = \text{const} \cdot V$$



$$\kappa_{12} = \frac{1.5R - 2.5R}{1.5R - 1.5R} = \infty$$

$$1 - \frac{Q_-}{Q_+} \quad \frac{A}{Q_+} \quad \frac{P_3 V_3 - P_1 V_1}{1 - \kappa} \quad \kappa - 1$$

