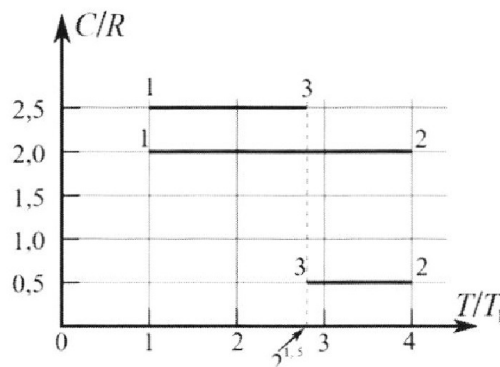


# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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

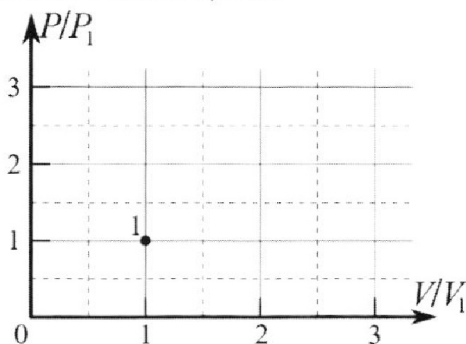
4. Тепловой двигатель работает по циклу 1-2-3-1. Рабочее вещество – один моль одноатомного идеального газа. Для вычисления КПД цикла ученик десятого класса построил график зависимости молярной теплоемкости  $C$  газа (в единицах универсальной газовой постоянной  $R$ ) от температуры в процессах: 1-2, 2-3, 3-1 (см. рис.). Температура газа в состоянии 1  $T_1 = 400$  К, универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).



1) Найдите работу  $A_{12}$  газа в процессе 1-2.

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.



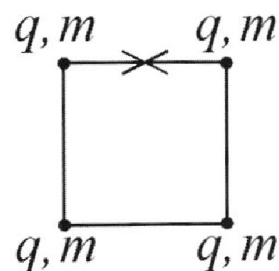
5. Четыре заряженных шарика связаны легкими нерастяжимыми нитями так, что шарики находятся в вершинах квадрата со стороной  $b$  (см. рис.). Масса каждого шарика  $m$ , заряд  $q$ .

1) Найдите силу  $T$  натяжения нитей.

Одну нить пережигают.

2) Найдите скорость  $V$  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)?



Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k$ . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-01

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



1. Мяч, посланный теннисистом вертикально вверх, поднимается на максимальную высоту за  $T = 2$  с.

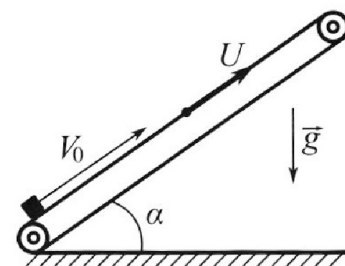
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

2) Теннисист посылает мяч с начальной скоростью  $V_0$  под различными углами к горизонту в направлении высокой вертикальной стенки, находящейся на расстоянии  $S = 20$  м от места броска. На какой максимальной высоте мяч ударяется о стенку?

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

2. Лента транспортера, предназначенного для подъема грузов, образует с горизонтальной плоскостью угол  $\alpha$  такой, что  $\sin \alpha = 0,8$  (см. рис.).

В первом опыте небольшую коробку ставят на покоящуюся ленту транспортера и сообщают коробке начальную скорость  $V_0 = 4$  м/с. Коэффициент трения скольжения коробки по ленте  $\mu = \frac{1}{3}$ . Движение коробки прямолинейное.



1) За какое время  $T$  после старта коробка пройдет в первом опыте путь  $S = 1$  м?

Во втором опыте коробку ставят на ленту транспортера, движущуюся со скоростью  $U = 2$  м/с, и сообщают коробке скорость  $V_0 = 4$  м/с.

2) На каком расстоянии  $L$  от точки старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 2$  м/с?

3) На какой высоте  $H$ , отсчитанной от точки старта, скорость коробки во втором опыте станет равной нулю? 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 скорости  $V_0$  за одинаковое время.

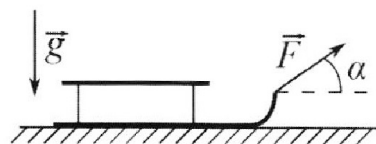
В первом случае санки тянут, действуя постоянной по модулю силой, направленной под углом  $\alpha$  к горизонту (см. рис.).

Во втором случае такая же по модулю сила, приложенная к санкам, направлена горизонтально. После достижения скорости  $V_0$  действие внешней силы прекращается.

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

2) Через какое время  $T$  после прекращения действия силы санки остановятся? Ускорение свободного падения  $g$ .

Санки находятся на горизонтальной поверхности. Движение санок прямолинейное.



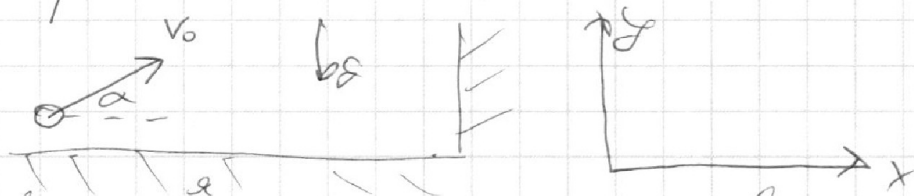
|                                     |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------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

1) Из кинематики равнодек. верт. движения ①  
для максимальной высоты достаточно потребовать:

$$V_0 - gT = 0 \Rightarrow V_0 = gT = 20 \frac{м}{с}$$

2) Пусть термисист посылает мяч под произвольным углом  $\alpha$ .



Направление движения мяча в координатах  $x, y$ :

$$x(t) = V_0 \cos \alpha t$$

$$y(t) = V_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

Найдем  $\tau$  - время полета мяча от старта до стенки

$$\Rightarrow S = V_0 \cos \alpha \cdot \tau \Rightarrow \tau = \frac{S}{V_0 \cos \alpha}$$

$$H = y(\tau) = S \tan \alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2} (\tan^2 \alpha + 1)$$

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

$$\frac{gS^2}{2V_0^2} \tan^2 \alpha - S \tan \alpha + H + \frac{gS^2}{2V_0^2} \quad (*)$$

Заметим, что для максимальной высоты удара достаточно потребовать,



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



**МФТИ**

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

чтобы точка столкновения попала <sup>②</sup>  
на границе преломляемой области  
 $\Rightarrow$  (\*) должно быть ~~только~~ одно решение,  
для этого достаточно приравнять  
дискриминант 0

$$\Rightarrow 0 = S^2 - \frac{gS^2}{V_0^2} \left( 2H_{\max} + \frac{gS^2}{V_0^2} \right)$$

$$\frac{V_0^2}{g} = 2H_{\max} + \frac{gS^2}{V_0^2}$$

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

Подставим числа

$$H_{\max} = \frac{20^2}{20} \text{ м} - \frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 20^2} \text{ м} = 20 \text{ м} - 5 \text{ м} = 15 \text{ м}$$

Ответ:  $V_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$H_{\max} = 15 \text{ м.}$$

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 checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input 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!

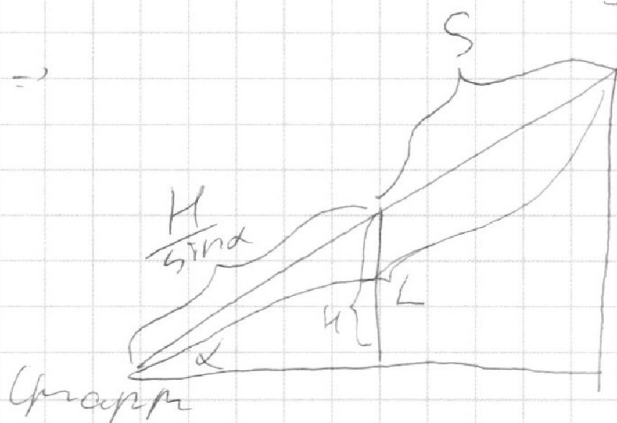
Пусть если  $V_{\text{отн}} = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , то в ИСО  $\text{Лоренца}$   
это будет  $V'_{\text{отн}} = -2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\Rightarrow$  время движения  $\tau$ :  $V_{\text{отн}} + a\tau = V'_{\text{отн}}$

$$\tau = \frac{2 - 0}{-10} = -0,2 \text{ с} \quad \tau = \frac{2}{6} = \frac{1}{3} \text{ с}$$

$\Rightarrow$  в Эйнштейнском ИСО путь опустится  
на  $S = \frac{a\tau^2}{2} = \frac{10 \cdot 0,6^2}{2} = 0,6 \text{ м}$

$$S = \frac{6 \cdot \frac{1}{9}}{2} = \frac{1}{3} \text{ м}$$



$$\frac{H}{\sin \alpha} = L - S = 0,9 \text{ м}$$

$$H = \frac{1,8 - 1}{3} \sin \alpha$$

$$H = 0,09 \text{ м} \cdot 0,8 = 0,07 \text{ м}$$

$$H = \frac{0,8^2}{3} = 0,21 \text{ м}$$

Ответ:

1) ~~0,07 м~~  $T = 0,2 \text{ с}$

2)  $L = 0,6 \text{ м}$

3) ~~0,07 м~~

$H = 0,21 \text{ м}$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

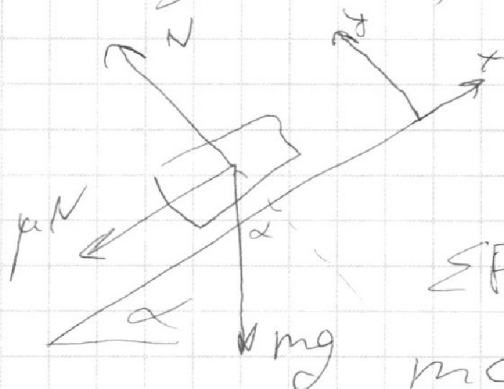


**МФТИ**

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



1) Распишем силы ( $F_f - \mu N$ , т.к. есть проскальзывание), и найдем ускорение ③



$$\sum F_y = 0 = N - mg \cos \alpha$$

$$\Rightarrow N = mg \cos \alpha$$

$$\sum F_x = +mg \sin \alpha - \mu N - mg \cos \alpha$$

$$ma = -mg(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

$$a = -g(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \sqrt{1 - 0,64} = 0,6$$

$$a = -g(0,8 + \frac{0,6}{3}) = -\frac{10}{3} \frac{m}{s^2} \approx -3,33 \frac{m}{s^2}$$

Из кинематики  $V_0 + aT = 0$

$$V_0 T + \frac{aT^2}{2} = S$$

$$4 \frac{a}{2} \cdot T + 5 \frac{a}{2} \cdot T^2 = 1$$

$$5 \frac{a}{2} T^2 + 4 \frac{a}{2} T - 1 = 0$$

$$\Rightarrow T = \frac{-4 + \sqrt{16 + 20}}{10} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ c}$$

Выбираем знак  $\oplus$  перед дискриминантом, чтобы получить  $T > 0$

$$T = \frac{-4 + \sqrt{16 + 20}}{10} = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ c}$$

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 checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input 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!



(4)

$$T = \frac{12 + 17,3}{26} \approx \frac{29,3}{26} \approx 1,13 \text{ с}$$

2) Сила трения зависит от скорости бруска относительно ленты, поэтому перейдем в ИСО ленты.

Тогда скорости  $u$  бруска будут соответствовать скорости

$V_{\text{отн}} = u - U = 0$ . К перемещению в этой ИСО для итогового ответа потребуются прибавить перемещение ленты.

~~Направление~~ Направление  $u$  модуль силы трения в таком движении  $V_{\text{отн}} = 0$  не меняется

$$\Rightarrow a = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ . Как скорость } V_{\text{отн}} = V_0 - u = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Время движения } \tau \Rightarrow V_{\text{отн}} + a\tau = 0$$

$$\tau = \frac{2}{10} = 0,2 \text{ с} \Rightarrow \tau = \frac{6}{26} \text{ с} = \frac{3}{13} \text{ с}$$

$\Rightarrow$  перемещение в лаборатор. ИСО

$$L = V_0 \tau + \frac{a \tau^2}{2} = 10 \cdot 0,2 + \frac{10 \cdot 0,2^2}{2} = 2,2 \text{ м}$$

3) Теперь будем рассматривать движение груза после достижения скорости  $u$ .

После этого момента движение отн. ленте изгибное ~~по~~ направление, поэтому теперь

$$\text{ускорение } a' = g(\cos \alpha - \sin \alpha) = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - 6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

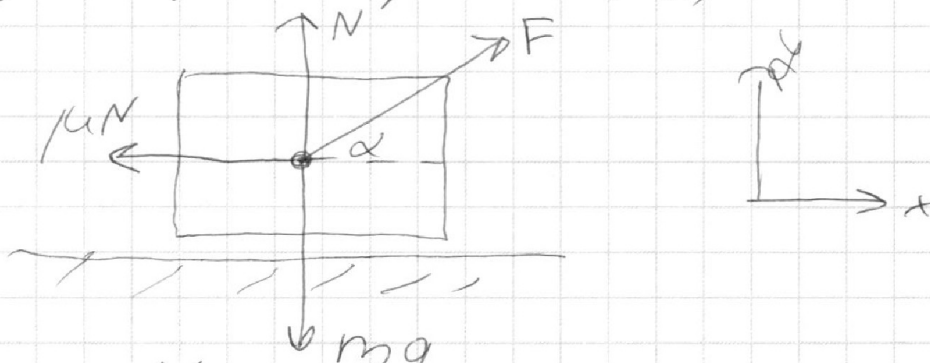
|                          |                          |                                     |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------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

Так как во время разгона  $\alpha$  и масса санок  $m$  постоянны, то и ускорения постоянно  $\Rightarrow$  во всех случаях ускорения должны быть равны ( $v_0 = at$ )  $\Rightarrow$  и сила трения равна ( $F_{\text{тр}}$ ), их равнодействующая  $\{F_P\}$

1)



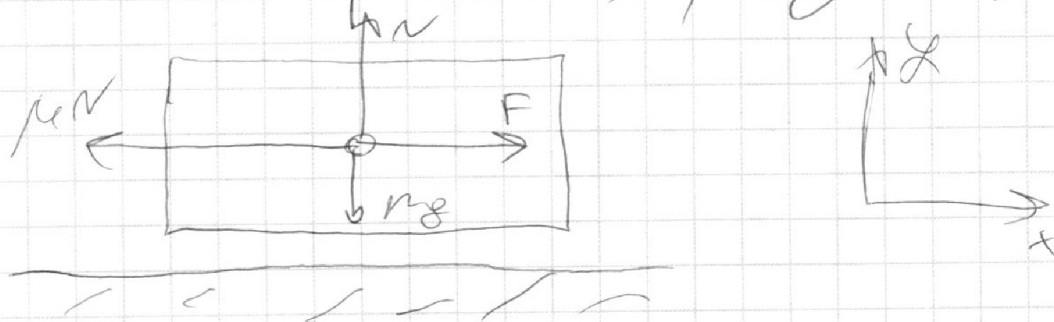
$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &= N + F \sin \alpha - mg \\ \Rightarrow N &= mg - F \sin \alpha \end{aligned}$$

$$\sum F_x = F_P = F \cos \alpha - \mu N$$

Знаки перед силами именно такие, потому что движение должно совершаться в сторону против силы трения

$$\begin{aligned} F_P &= F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = \\ &= F (\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu mg \quad (*) \end{aligned}$$

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                        |
| <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!

МФТИ

7

$$\cancel{N=mg} \quad \Sigma F_y = 0 = N - mg$$

$$\Rightarrow N = mg$$

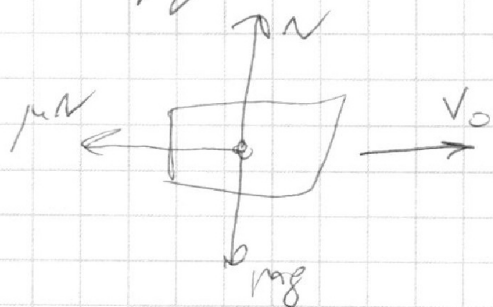
$$\Sigma F_x = F_p = F - \mu N = F - \mu mg \quad (**)$$

$$F_p = (*) = (**) \Rightarrow F - \mu mg = F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - \mu mg$$

$$\Rightarrow 1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$$

$$\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} \rightarrow \mu \text{ выпадает при всех } \alpha \in (0; \frac{\pi}{2})$$

P.S. Силы трения в обоих случаях равны  $\mu N$ , потому что происходит проскальзывание. Теперь  $\mu$  — коэффициент трения, действующий на брусок после прекращения действия  $F$ .



$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow N = mg$$

$$\Sigma F_x = ma = -\mu N$$

$$\Rightarrow a = -\mu g$$

Из кинематич. равенств. движения

$$T = -\frac{v_0}{a} = +\frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0}{g} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

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

$$T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g(1 - \cos \alpha)}$$

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 checked="" type="checkbox"/> | <input 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!



процесс 2-3:  $P V^{\frac{2.5+2.5}{0.5+1.5}} = P V^2 = \text{const}$  (1)  
 $P = \frac{c}{V^2}$  - эл. дугная изобара

$$P_2 V_2^2 = P_3 V_3^2 \Rightarrow P_3 = P_2 \frac{V_2^2}{V_3^2}$$

$$P_2 V_2 = 4 J R T,$$

$$P_3 V_3 = 2\sqrt{2} J R T,$$

$$\Rightarrow \frac{P_2 V_2}{P_3 V_3} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$P_3 = P_2 \cdot \frac{V_2}{\sqrt{2} V_3}$$

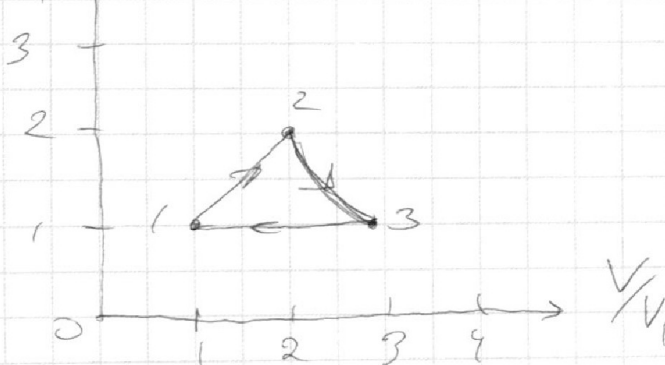
$$\Rightarrow \frac{V_2}{V_3 \sqrt{2}} = \frac{V_2^2}{V_3^2} \Rightarrow V_3 = V_2 \sqrt{2} = 2\sqrt{2} V_1$$

$$P_3 = P_2 \cdot \frac{V_2}{V_3 \sqrt{2}} = \frac{V_2}{2V_2} \cdot 2P_1 = P_1$$

Ответ: 1)  $A_{12} = 4986 \text{ Дж}$

2)  $\eta = 14\%$

3)  $P/P_1$



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 checked="" type="checkbox"/> | <input 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!



$$P dV \left( \frac{C}{R} - \frac{5}{2} \right) = V dP \left( \frac{3}{2} - \frac{C}{R} \right) \quad (10)$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{dP}{P} \left( \frac{\frac{3}{2}R - C}{C - \frac{5}{2}R} \right)$$

Принтегрируем это ~~уравнение~~ ~~уравнение~~

$$\ln V = \ln P + \frac{\frac{3}{2}R - C}{C - \frac{5}{2}R} + C \quad \text{(возле } C \text{ в скобках равенство)}$$

$$V = P^{\frac{\frac{3}{2}R - C}{C - \frac{5}{2}R}} \cdot C' \Rightarrow P V^{\frac{C - \frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R - C}} = \text{const}$$

$$P^{\frac{C - \frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R - C}} V = C'' = \text{const}$$

Для процесса 1-2:

$$P V^{-1} = \text{const} \Rightarrow \frac{P}{V} = \text{const} \quad \text{— закон процесса}$$

$$\Rightarrow \frac{V}{P} = \text{const} \Rightarrow P \propto V$$

$$\frac{V_1}{P_1} = \frac{V_2}{P_2} \quad \text{и} \quad P_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu R T_1$$

$$\Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$P_2 = \frac{P_1 V_1}{V_2} = P_1 \cdot \frac{V_1}{V_2}$$

$$\Rightarrow V_1^2 = V_2^2 \Rightarrow V_2 = 2V_1$$

$$\Rightarrow P_2 = 2P_1$$

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 checked="" type="checkbox"/> | <input 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!



1)  $C_{12} = 2R$

(8)

Нам  $T_2$ :  $C_{12} \Delta T = \frac{3}{2} \bar{V} R \Delta T + A_{12}$

$$A_{12} = (\bar{V} C_{12} - \frac{3}{2} \bar{V} R) \Delta T_{12}$$

$$A_{12} = \bar{V} \frac{1}{2} R \cdot 3T_1 = \frac{3}{2} \cdot 1 \text{ мм} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К} = 6 \cdot 831 \text{ Дж} = 4986 \text{ Дж}$$

2)  $Q_{12} = \bar{V} C_{12} \Delta T = \bar{V} \cdot 2R \cdot 3T_1 =$

1-2:  $= 6 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 300 \text{ Дж} = 19944 \text{ Дж} > 0$

2-3:  $C_{23} = 0,5R$

$$Q_{2-3} = \bar{V} C_{23} \Delta T_{23} = \bar{V} \cdot 0,5R \cdot (\frac{4}{3} T_1 - T_1) < 0$$

$$= 0,5 R T_1 (1 - \sqrt{8}) < 0$$

~~$\bar{V} C_{23} \Delta T_{23} = \frac{3}{2} \bar{V} R \Delta T_{23} + A_{23}$~~

$$A_{23} = \bar{V} \Delta T_{23} (\frac{1}{2} - \frac{3}{2}) R = -\bar{V} R \Delta T_{23}$$

$$A_{23} = 1 \text{ мм} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (4 - \sqrt{8}) \cdot 400 \text{ К}$$

$$\sqrt{8} \approx 2,83$$

$$\rightarrow A_{23} = 8,31 \cdot 4 \cdot 1,17 \text{ Дж} \approx 3889 \text{ Дж}$$



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 checked="" type="checkbox"/> | <input 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!

9)

$$3-1: \quad C_{31} = \frac{5}{2} R$$

$$Q_{31} = \nu C_{31} \cdot \Delta T_{31} = -\nu C_{31} \cdot (2^{4,5} - 1) T_1 < 0$$

$$\nu C_{31} \Delta T_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31} = A_{31}$$

$$\nu R \Delta T_{31} = A_{31} = -\nu R (2^{4,5} - 1) T_1 =$$

$$= -831,4 \cdot 1,83 \text{ Дж} = -6083 \text{ Дж}$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{A_{12} + A_{23} - A_{31}}{Q_{12}} = \frac{4986 + 3889 - 6083}{19944} =$$

$$= \frac{2792}{19944} = 14\%$$

3) Выведем уравнение на изотермы:  
для одного газа

$C = \text{const}$

$$\nu C dT = \frac{3}{2} \nu R dT + p dV$$

$$\nu R dT = p dV + V dp$$

$$\Rightarrow \cancel{\nu} dT = \frac{p dV + V dp}{R}$$

$$\nu dT (C - \frac{3}{2} R) = p dV$$

$$(p dV + V dp) (\frac{C}{R} - \frac{3}{2}) = p dV$$



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

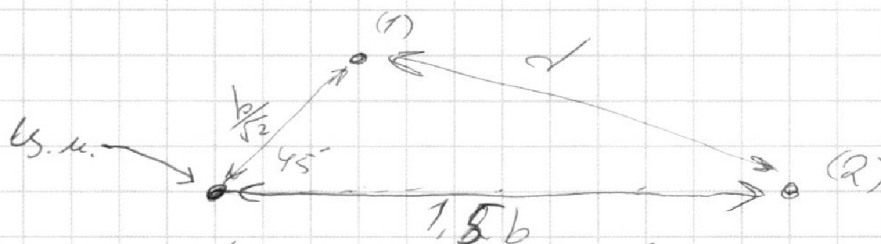
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!

Я нарисую на отдельном рисунке начальное положение  $\vec{u}$  правой верхней (1) шарика и конечное (2)



(2) положение шара справа, а не слева, потому что шарики не вращаются, а разлетаются симметрично (т.к. тангенциальные скорости направлены в противоположные стороны)

По т. косинусов:  $\cos(45^\circ)$

$$d^2 = \frac{b^2}{2} + 2,25b^2 - 2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{b}{\sqrt{2}} \cdot 1,5b =$$

$$= \frac{b^2}{2} + 4b^2 - 2b^2 = 2,5b^2 \Rightarrow d = b\sqrt{2,5} = \frac{b\sqrt{10}}{2}$$

Ответ: 1)  $T = \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b^2} (2\sqrt{2} + 1)$

2)  $V = \sqrt{\frac{kq^2}{3mb} (1 - 3\sqrt{2})}$

3)  $d = \frac{\sqrt{10}}{2} b \approx 0,5\sqrt{5}b$

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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

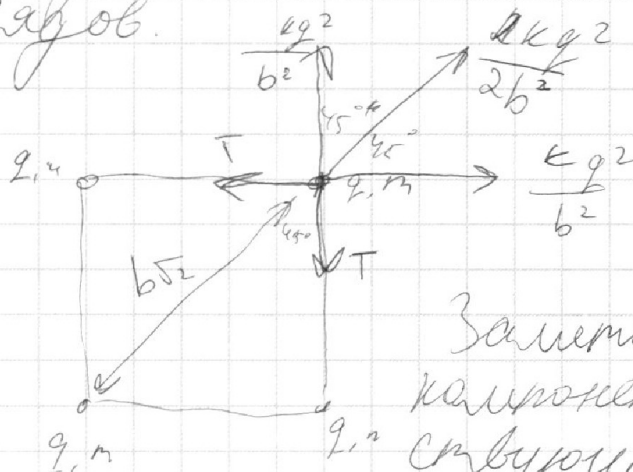
|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!



1) Заметим, что до перетягивания нити (2)  
из симметрии, на все заряды дейст-  
вуют одинаковые силы. Рассмотрим один  
из зарядов.



Заметим, что компоненты сил, действующие перпендикулярно выделенной диагонали скомпенсированы = можно рассмотреть только проекции сил на диагональ

$$\frac{kq^2}{2b^2} + 2 \cdot \frac{kq^2}{b^2} \cdot \cos(45^\circ) = 2T \cos(45^\circ)$$

$$T = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2b^2} \cos \alpha = \frac{kq^2}{b^2} + \frac{kq^2}{2\sqrt{2}b^2}$$

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

2) Заметим, что в данной системе над шариками будут совершаться работы только силы кулоновского взаимодействия, которое является потенциальным. Найдём <sup>потенциальную</sup> энергию <sup>потенциала</sup> верхнего правого заряда до перетягивания



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

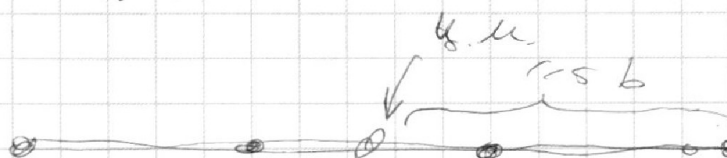
|                          |                          |                          |                          |                                     |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 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!

$$W_0 = + \frac{kq^2}{b} \cdot 2 + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} = + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} (2\sqrt{2} + 1) \quad (13)$$

и в центре.



$$W_k = \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{2b} + \frac{kq^2}{3b}$$

$$W_k = + \frac{kq^2}{6b}$$

$$\text{ЗСЭ: } W_0 = W_1 + \frac{mV^2}{2}$$

$$+ \frac{kq^2}{b} \left( 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = + \frac{kq^2}{b} + \frac{mV^2}{2}$$

$$\frac{mV^2}{2} = - \frac{kq^2}{b} \left( \frac{1}{6} - 2 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \frac{kq^2}{b} \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (14)$$

$$\Rightarrow V = \sqrt{\frac{kq^2}{3mb} (1 + 3\sqrt{2})} \quad (15)$$

3) Так как на систему не действуют внешние силы, то р.м.о. центра масс в.м. покоится (находится в центре начального квадрата)

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 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!



$$V_0 + gT = 0 \quad V_0 = gT = 20 \frac{m}{s}$$

вертикаль

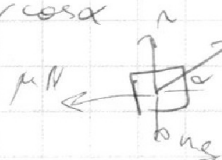
$$N = mg - F \sin \alpha$$

$$V \cos \alpha \cdot t = S$$

$$t = \frac{S}{V \cos \alpha}$$

$$F_F = F(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) = \mu mg$$

$$V \sin \alpha \cdot t = \frac{gt^2}{2} = H$$



$$F_F = F - \mu mg$$

$$\cos \alpha + \mu \sin \alpha = 1$$

$$S \tan \alpha = \frac{g}{2} \cdot \frac{S^2}{V^2} (\tan^2 \alpha + 1) = H$$

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

$$V_0 - \mu g T = 0$$

$$\frac{gS^2}{2V^2} \tan^2 \alpha = S \tan \alpha + H + \frac{gS^2}{2V^2}$$

$$T = \frac{V_0}{\mu g}$$

$$S^2 - \frac{2gS^2}{V^2} \left( H + \frac{gS^2}{2V^2} \right) = 0 \quad \frac{V_0}{g} \cdot \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

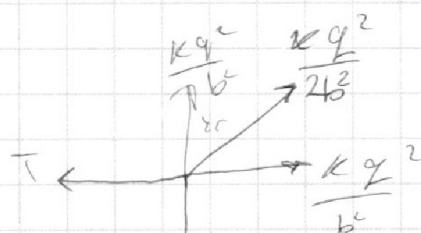
$$\frac{V^2}{2g} - \frac{gS^2}{2V^2} = H$$

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{kq^2}{b} \left( 2 + \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{6} \right) =$$

$$= \frac{kq^2}{b} \left( \frac{1}{6} + \frac{3\sqrt{2}}{6} \right)$$

$$V = \sqrt{\frac{kq^2}{3mb} (1 + 3\sqrt{2})}$$

$$\frac{20^2}{20} - \frac{10 \cdot 20^2}{2 \cdot 20^2} = 20 - 5 = 15 \mu$$



$$W_0 = 2 \cdot \frac{kq^2}{b} + \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} =$$

$$= \frac{kq^2}{b\sqrt{2}} (2\sqrt{2} + 1)$$

$$\frac{kq^2}{2b^2} = \frac{kq^2}{b^2} \cos \sqrt{2} = T \sqrt{2}$$

$$W_1 = \frac{kq^2}{6b} \left( 1 + \frac{1}{6} \right) = \frac{kq^2}{6b}$$

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

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 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!



$$\begin{array}{r} 279206 \\ - 19944 \\ \hline 79760 \\ - 59832 \\ \hline 19928 \end{array}$$

гипотенуза

$$b = \sqrt{\frac{b^2}{2} - 4b^2 - \sqrt{2} \cdot \frac{b}{2} \cdot 2b^2}$$

$$= b\sqrt{\frac{1}{2} + 2} = \sqrt{\frac{5}{2}} b = \frac{\sqrt{10}}{2} b$$



$$0,5 - 2,5$$

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

$$a = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) = -11 - 8 - \frac{6}{3} = -14 \frac{m}{s}$$

$$4 \cdot 0,2 - \frac{10 \cdot 0,2^2}{2} = 0,8 - 0,2 = 0,6$$

$$2 - 8$$

$$2 \cdot 1,41 = 2,82$$

$$0,64$$

$$\begin{array}{r} 0,64 \\ - 0,6 \\ \hline 0,04 \end{array}$$

$$\vec{v} \cos \alpha_{12} = \frac{3}{2} \vec{v} R \sin \alpha_{12} + A_{12}$$

$$A_{12} = 10 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 1000 \cdot 8,31$$

$$\begin{array}{r} 12465,3 \\ - 3 \\ \hline 3739,5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 28 \\ \hline 3324 \\ + 1662 \\ \hline 19944 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 15 \\ \hline 4155 \\ + 831 \\ \hline 1246,5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 6 \\ \hline 4986 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 283 \\ - 283 \\ \hline 0 \\ + 879 \\ \hline 2264 \\ + 566 \\ \hline 8089 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 732 \\ \hline 99 \\ + 1662 \\ \hline 2493 \\ + 5817 \\ \hline 608292 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,17 \\ - 4 \\ \hline 468 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 831 \\ \hline 0 \\ + 6648 \\ \hline 4986 \\ + 3324 \\ \hline 388908 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 4986 \\ + 3869 \\ \hline 8875 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8875 \\ - 6083 \\ \hline 2792 \end{array}$$



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!

*Черновик*

$$16 - 3 = 13 \rightarrow 12 = 48$$

$$\begin{array}{r} 4986 \\ - 3341 \\ \hline 8827 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5300 \overline{) 26} \\ 52 \phantom{00} \\ \hline 100 \phantom{00} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 6 \\ \hline 4986 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 8827 \\ - 6083 \\ \hline 2744 \end{array}$$

*CDT*

$$6 - 4 = 24$$

$$\frac{2744}{19944} = \frac{1372}{9972} = \frac{686}{4986} =$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 24 \\ \hline 3324 \\ + 1662 \\ \hline 19944 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 343 \\ = 2993 \\ - 290 \\ \hline 219 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 34300 \overline{) 2493} \\ 2993 \phantom{00} \\ \hline 9370 \\ - 7479 \\ \hline 1891 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 261 \\ + 58 \\ \hline 319 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 285 \\ - 285 \\ \hline 1425 \\ + 2280 \\ \hline 570 \\ 81225 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 283 \\ - 283 \\ \hline 849 \\ + 2264 \\ \hline 566 \\ 80089 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2493 \\ - 2479 \\ \hline 14 \end{array}$$

*4.*

$$\begin{array}{r} 177 \\ - 4 \\ \hline 173 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 831 \\ - 462 \\ \hline 1348 \\ + 1986 \\ \hline 3324 \\ 384708 \end{array}$$

$$\sqrt{\frac{c-c_p}{c_v-c}} = \gamma$$

$$c = p v^{\frac{c_v-c}{c-c_p}}$$

$$\begin{array}{r} 183 \\ - 4 \\ \hline 179 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 732 \\ - 831 \\ \hline 732 \\ + 2196 \\ \hline 5856 \\ 6082,42 \end{array}$$

$$\gamma C_{dT} - \gamma C_{v dT} = p dV$$

$$(p dV + V dp)(c - c_v) = p dV \cdot \gamma$$

$$p dV (c - c_p) = -V dp (c - c_v)$$

$$\frac{dV}{V} \cdot \frac{(c - c_p)}{c_v - c} = \frac{dp}{p}$$



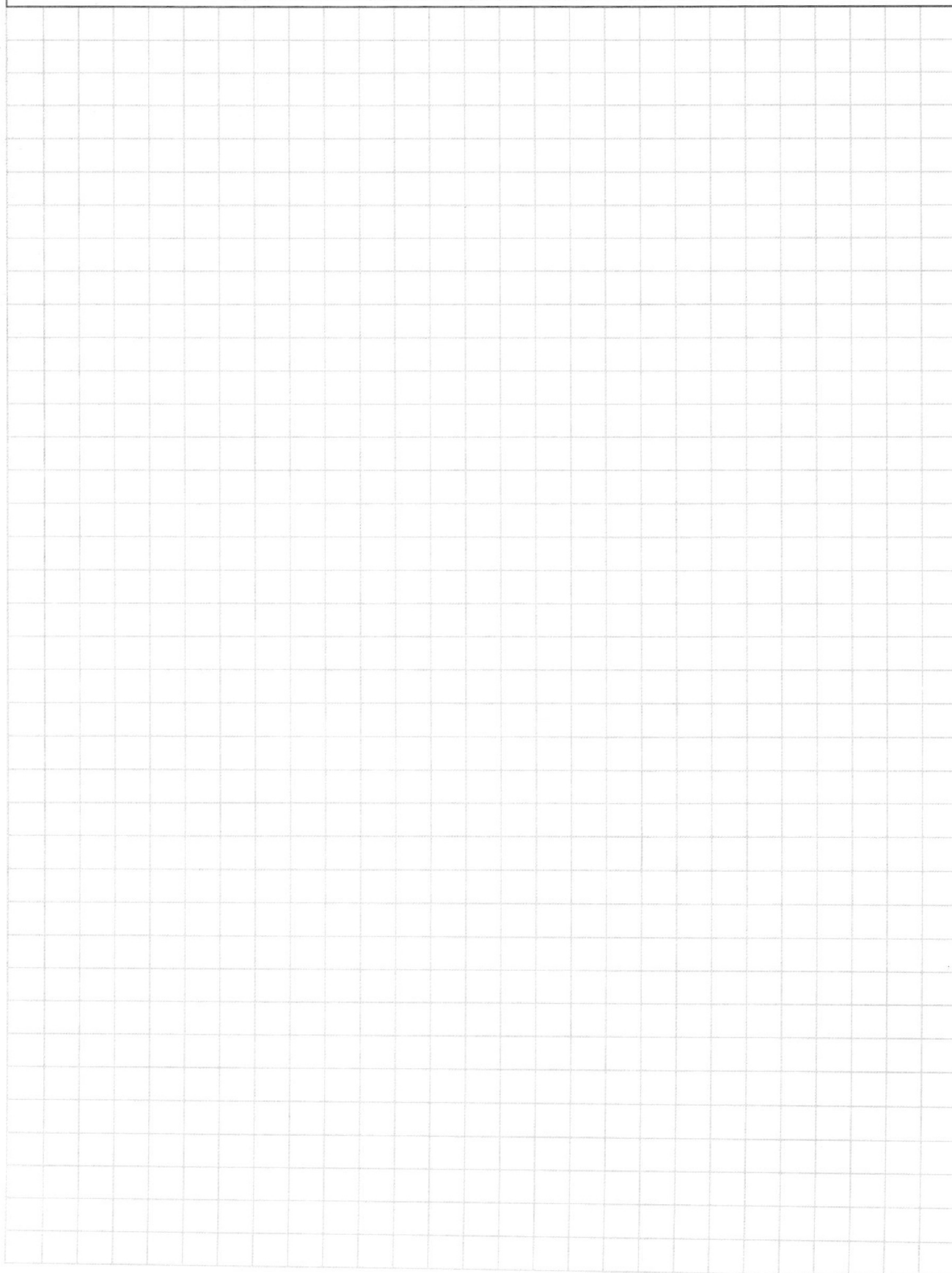
На одной странице можно оформлять **только одну** задачу.

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 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!



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!

процесс 2-3:  ~~$p \propto V^{-2}$~~   $pV^2 = \text{const}$  ~~черновик~~  
 ~~$V = p^{-1/2} = \text{парабола}$~~

~~$\frac{V_2}{p_2} = \frac{V_3}{p_3} \Rightarrow \frac{p_2}{p_3} = \frac{V_3}{V_2}$~~   
 ~~$p_2 V_2^2 = p_3 V_3^2 \Rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{V_2^2}{V_3^2}$~~

$p_2 V_2 = 2 \sqrt{R T_1}$   
 $p_3 V_3 = 2^{1.5} \sqrt{R T_1} \Rightarrow \frac{p_2 V_2}{p_3 V_3} = 2^{-1.5} = \sqrt{2}$

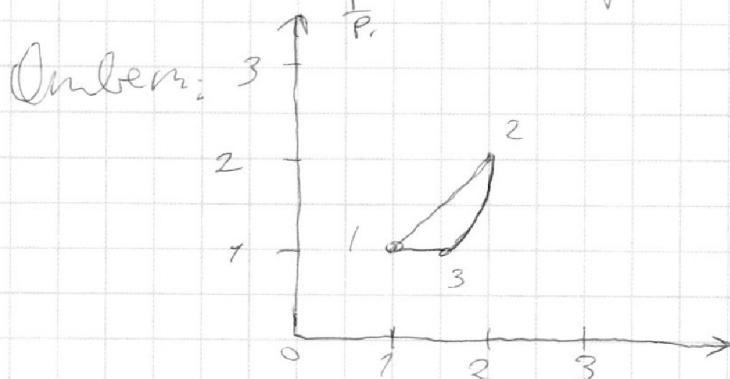
~~$p_3^2 = p_2^2 \frac{V_2^2}{V_3^2}$~~

$\Rightarrow \frac{V_3^2}{2 V_2^2} = 1 \Rightarrow V_3 = \sqrt{2} V_2 = 2.82 V_1 = 2.82 V_1$

=1

~~$p_3 = \frac{p_2 V_2^2}{V_3^2} = p_1$~~

процесс 3-1:  $p \propto V^0$   $V = p = \text{const}$  - изобара



$A_{12} = 4.986 p_1$

$\eta = 18\%$



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 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!

*репробук*

$$\gamma c dT = \gamma c_v dT = p dV$$

$$p dV + V dp (\gamma - \gamma_v) = p dV \cdot R$$

$$p dV (\gamma - \gamma_p) = V dp (\gamma_v - \gamma)$$

$$\frac{dV}{V} \cdot \frac{\gamma - \gamma_p}{\gamma_v - \gamma} = \frac{dp}{p}$$

$$\frac{dp}{p} = \frac{\gamma_v - \gamma}{\gamma - \gamma_p} dV$$

$$p \frac{\gamma_v - \gamma}{\gamma - \gamma_p} = V \cdot C$$

$$V^{-1} \cdot p \frac{\gamma_v - \gamma}{\gamma - \gamma_p} = C$$

$$p V \frac{\gamma - \gamma_p}{\gamma_v - \gamma} = C$$

$$\frac{26}{3} \cdot \frac{3}{13} = \frac{3}{13}$$

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

$$\begin{array}{r|l} 900 & 13 \\ - 78 & 0892 \\ \hline 120 & \\ - 112 & \\ \hline & 30 \end{array}$$