

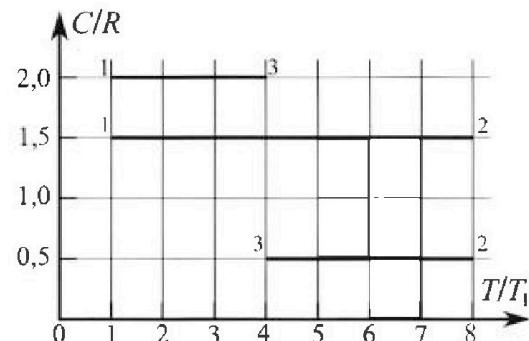
# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2023

## Вариант 10-02

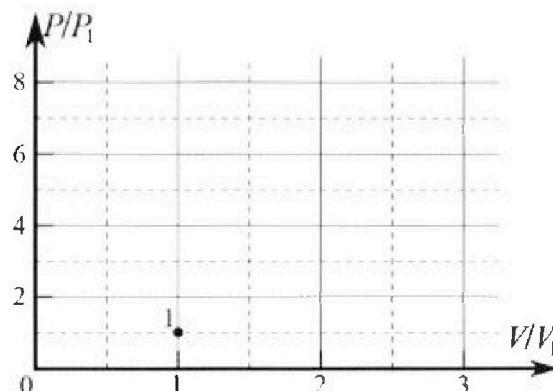


*Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.*

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).

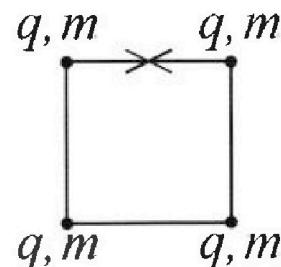


- 1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 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  $T$ .

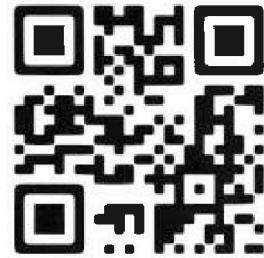
- 1) Найдите абсолютную величину  $|q|$  заряда каждого шарика. Одну нить пережигают.
- 2) Найдите кинетическую энергию  $K$  любого, выбранного Вами шарика, в тот момент, когда шарики будут находиться на одной прямой.
- 3) На каком расстоянии  $d$  от точки старта будет находиться в этот момент любой из двух шариков, изначально расположенных вверху (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.

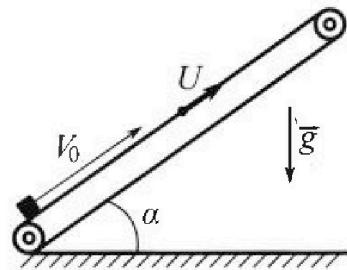
1) Найдите начальную скорость  $V_0$  мяча.

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.).

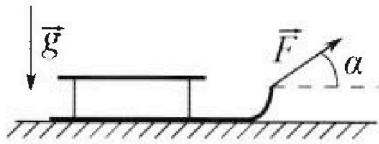
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

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                        |
| <input checked="" 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) Выразим длину полета мяча в через время его полета  $t$ :

$$L = V_0 \cos \alpha \cdot t \quad (1), \text{ где } t \text{ можно найти из ур-ия}$$

координат мяча:  $0 = 0 + V_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$ , откуда

$$t = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g}. \text{ Подставим полученное выражение в (1):}$$

$$L = \frac{2V_0^2 \sin 2\alpha}{g}, \text{ откуда } V_0 = \sqrt{\frac{L^2}{2 \sin 2\alpha}} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

2)

Дадим систему для перемещения мяча из  $(0, 0)$  в

$$\mathbf{m. (S, H):} \int H = 0 + V_0 \sin \alpha \cdot t, - \frac{gt^2}{2}, \text{ где } t, - \text{ время}$$

$$\left. \begin{array}{l} S = 0 + V_0 \cos \alpha \cdot t, \\ \end{array} \right. \text{ перемещения.}$$

$$t = \frac{S}{V_0 \cos \alpha}, \text{ тогда } H = S \operatorname{tg} \alpha - \frac{gS^2}{2V_0^2} \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right)$$

Последнее выражение K-максимальное, найдем

$$H'(L) = \frac{S}{\cos^2 \alpha} - \frac{gS^2}{2V_0^2} \cdot 2 \operatorname{tg} \alpha = 0, \text{ откуда } \operatorname{tg} \alpha = \frac{V_0^2}{gS},$$

наша величина ур-ие где  $S$ :

$$H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{gS^2}{2V_0^2} \cdot \left( \frac{1}{\cos^2 \operatorname{arctg} \left( \frac{V_0^2}{gS} \right)} \right)^2, \text{ откуда } gS^2$$

Решив ур-ие, получим  $S$ .

$$\text{При условии } \frac{V_0^2}{gS}: H = \frac{V_0^2}{g} - S, S = \frac{V_0^2}{g} - H = 16,4 \text{ м}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

МФТИ

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

Найдем ускорение, действующее на скейтера:

Запишем 3-ю Кинематическую формулу:

$$\bar{F}_{\text{тр}} + \bar{N} + m\bar{g} = m\bar{a}$$

В координатах  $Ox$  и  $Oy$ :  $\begin{cases} N - mg \cos \alpha = 0 \quad (Oy) \\ -F_{\text{тр}} - mg \sin \alpha = ma, \text{ отсюда} \end{cases}$

$$a = -g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad \text{или} \quad a = -10 \text{ м/с}^2$$

$$1) S = 0 + v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 1 \text{ м}$$

2) Переходим в систему отсчета, связанную с скейтером, тогда скорость должна будет определяться в ней:

$$0 = v_0 - u T_1, \quad T_1 = -\frac{v_0 - u}{a} = 0,5 \text{ с.}$$

3) Не выходя из данной системы отсчета, найдем

броня же kommerce тело приобретет скорость  $-u$ :

$$-u = v_0 - u + a T_2; \quad T_2 = -\frac{v_0}{a} = 0,6 \text{ с.}$$

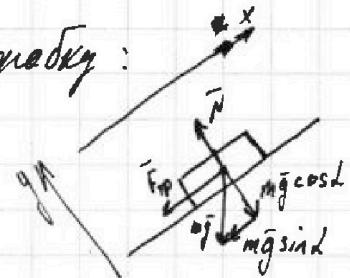
Найдем расстояние  $L_1$ , пройденное телом:

$$L_1 = L_1' + u T_2 = (v_0 - u) T_2 + \frac{a T_2^2}{2} + u T_2 = 1,8 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: 1) } S = v_0 T + \frac{a T^2}{2} = 1 \text{ м;}$$

$$2) T_1 = \frac{u - v_0}{a} = 0,5 \text{ с}$$

$$3) L_1 = v_0 T_2 + \frac{a T_2^2}{2} = 1,8 \text{ м}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



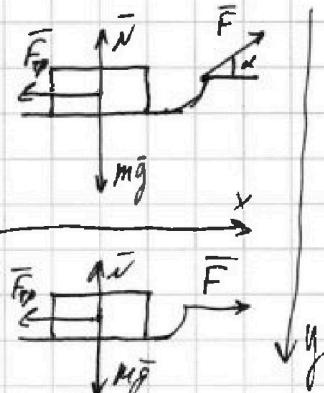
- 1  2  3  4  5  6  7

МФТИ

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

Метод Даламбера II З-к Кинематика для разгона санок б-2-х

уравнение I  $\begin{cases} mg - N - F \sin \alpha = 0 \quad (O_y) \\ F \cos \alpha - F_{tp} = ma_1 \quad (O_x) \end{cases}$



II  $\begin{cases} mg - N = 0 \quad (O_y) \\ F - F_{tp} = ma_2 \quad (O_x) \end{cases}$

Зададим, что конечные скорости санок  $v_1 = v_2$ ,

так как в обоих случаях санки присоединены к кр. ж. к.  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  ускорение во время разгона同一, т.к.  $L = \frac{v_1^2}{2a_1} = \frac{v_2^2}{2a_2} \Rightarrow a_1 = a_2$  (т.к. пути при разгоне равны).

1) Тогда справедливо будет:  $F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = F - \mu mg$ ;

отсюда  $\mu = \frac{F \cos \alpha}{mg - F \sin \alpha}$

2) Запишем ЗСД для замедляющихся санок:

$K = S \cdot F_{tp} ; \quad S = \frac{K}{\mu mg}$

Ответ: 1)  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha} ; \quad 2) \quad S = \frac{K}{\mu mg}$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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

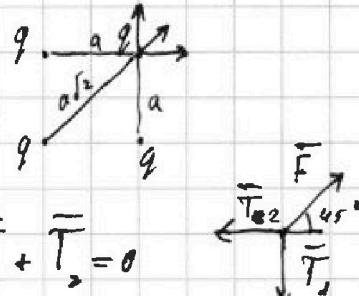
МФТИ

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

1) Используя принцип суперпозиции найдем силу  $\bar{F}$ ,  
действующую на 1 заряд:

$$\bar{F} = k \frac{q^2}{a^2} \cdot \sqrt{2} + k \frac{q^2}{2a^2}$$

Запишем II з-н Ньютона для него:  $\bar{F} + \bar{T}_1 + \bar{T}_2 = 0$

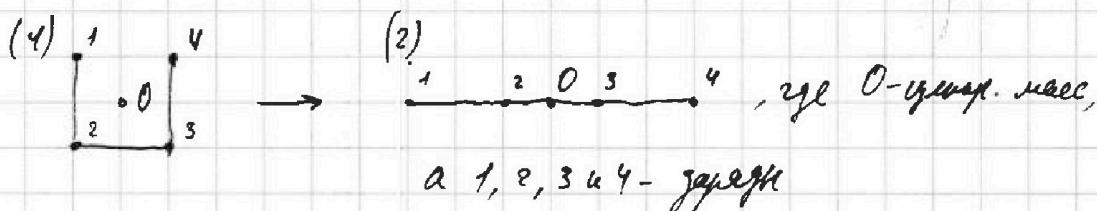


Тогда в трёхмере, получим:  $T = T_1 = F \sin 45^\circ =$

$$= k \frac{q^2}{a^2} \left( \sqrt{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{4} \right), \text{ сила}$$

$$|q| = 4a \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 T}{4 + \sqrt{2}}}$$

3) Пользуясь об-вом центра масс решаем, видим что  
она уедет вправо из (1) в (2):



Тогда ~~заряды~~, например n. 4 перейдет в положение (2),

$$\text{представив расстояние } d = a \sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{a\sqrt{5}}{2}$$

$$\text{Ответ: 1) } |q| = 4a \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 T}{4 + \sqrt{2}}}$$

$$2) \quad d = \frac{a\sqrt{5}}{2}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

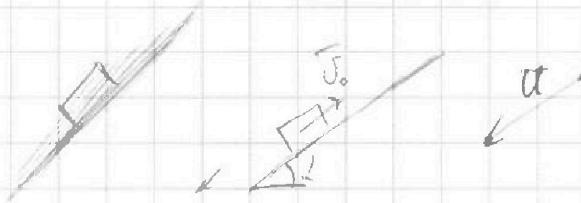
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:



- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!



$$T_1 = \frac{V_0 - U}{a} = 0,5 \text{ c}$$

$$\frac{U^2 - U_0^2}{2a} = \frac{1-36}{20} = \frac{9}{4} \Rightarrow U = 3 \text{ m/s}$$

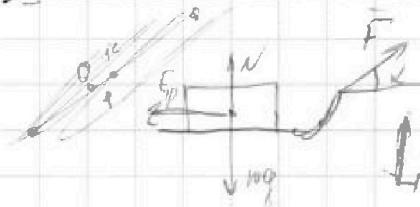
$$T_2 = \frac{U + U_0}{a} = 0,5 \text{ c}, \quad -U = V_0 - a T_2$$

$$= \frac{U + U_0}{a} = 0,49 \text{ c}$$

$$L = L_1' + U \cdot T_2$$

$$L = V_0 T_2 \rightarrow \frac{a T_2^2}{2} + U T_2 = 4,2 - 5 \cdot 0,49 + 0,4 = 6,08 \left( 0,6 - 3,5 + 1 \right) =$$

$$= 6,08 \cdot 0,49 = 2,45 \text{ м}$$



$$N = mg - F \sin \alpha : F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = ma_1$$

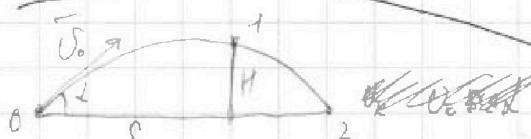
$$L = \frac{V_0^2}{2a_1} \quad K = \frac{m a_1^2}{2} = \frac{\mu b^2}{2} : a_1 = a_2 = \alpha$$

$$F \cos \alpha - \mu mg - F \sin \alpha = = \frac{V_0^2}{2a_2} \quad N = mg \quad F = \mu mg = m a_2$$

$$= F - \mu mg ; \quad F \cos \alpha - \mu F \sin \alpha = F ; \quad \cos \alpha - \mu \sin \alpha = 1 \quad \mu g k = \frac{g \tan \alpha}{\sin \alpha}$$

$$\therefore K = F S$$

$$S = \frac{K^2}{F} = \frac{\frac{m a_1^2}{2}}{F} = \frac{\frac{m \alpha^2}{2}}{F} = \frac{m \alpha^2}{2 F} = \frac{m \alpha^2}{2 \mu mg} = \frac{\alpha^2}{2 \mu g}$$



$$t_1 = \frac{s}{V_0 \cos \alpha} \quad H = s g \alpha - \frac{g}{2} \left( \frac{s}{V_0 \cos \alpha} \right)^2$$

$$H = 0 + V_0 \sin \alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2}$$

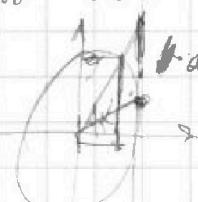
$$H(t) = s g t \tan \alpha - \frac{s}{\cos^2 \alpha} - \frac{g s^2}{2 V_0^2} \cdot \frac{2 \sin \alpha}{\cos^2 \alpha} = 0$$

$$[S] = 0 + V_0 \cos \alpha \cdot t_1$$

$$\operatorname{tg} t_1 = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} \quad g t_1 = \frac{V_0^2}{g s}$$

$$H = \frac{V_0^2}{g} - \frac{g s^2}{2 V_0^2} \left( \frac{1}{\cos^2 \alpha} \operatorname{arctg} \left( \frac{V_0^2}{g s} \right) \right)$$

$$\operatorname{tg} t_1 = \frac{a}{s \sin \alpha} \quad \frac{1}{x} = \frac{a}{s \sin \alpha}$$



На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,

решение которой представлено на странице:



- |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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!

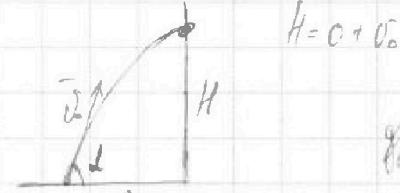


$$V_0 = \sqrt{\frac{1}{2} g^2 / \sin 2\alpha} = \sqrt{2g} = 10\sqrt{2} \approx 14.1 \text{ m/s}$$

$$L = V_0 \cos \alpha \cdot t = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$0 = 0 + V_0 t - \frac{g t^2}{2}$$

$$t = \frac{2 V_0 \sin \alpha}{g}$$



$$H = 0 + 0$$

1 ~~2~~

~~3~~

4 ~~123~~

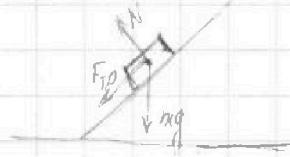
5 ~~123~~

6 ~~123~~

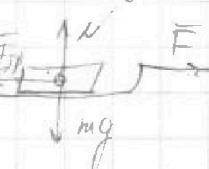
7 ~~123~~



$$\text{I } \sum mg = N + F \sin \alpha$$



$$\text{II } N = mg$$



$$\sum F \cos \alpha - \mu (mg - F \sin \alpha) = ma_1$$

$$\sum F \cos \alpha = ma_1$$

$$\sum F - \mu mg = ma_2$$

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

$$k \frac{q^2}{a} = F \quad \Rightarrow \quad F = \sqrt{2k \frac{q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2m^2}}$$

$$S = 0 + V_0 t - \frac{at^2}{2} =$$

$$= 6 - 5 = 1 \text{ m.}$$



$$C_{mA} T = \Delta U + A$$

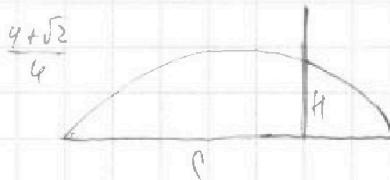
$$C_{mA} T = \frac{3}{2} \nu R_A T + \int_{V_1}^{V_2} \frac{\partial P T}{V} dV = \frac{3}{2} \nu R T + \nu R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$P V = \nu R T$$

$$C_m = \frac{3}{2} \nu R + \nu R \left( \ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$T = k \frac{q^2}{a^2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = C = \frac{\nu R}{m} \left( \frac{3}{2} + \nu R \frac{V_2}{V_1} \right) =$$

$$= k \frac{q^2}{a^2} \left( 1 + \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = R \frac{\frac{3}{2} + \nu R \frac{V_2}{V_1}}{\mu}$$



$$\frac{4\sqrt{2}}{4}$$

$$4\sqrt{2}$$

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

$$= R \frac{\frac{3}{2} + \nu R \frac{V_2}{V_1}}{\mu}$$





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"/> |

 **МФТИ**

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!



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

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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



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!

МФТИ