



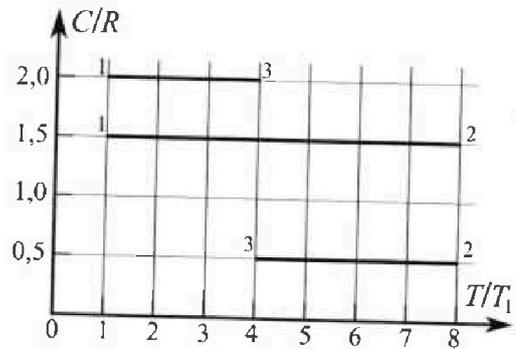
Олимпиада «Физтех» по физике,  
февраль 2023

Вариант 10-02

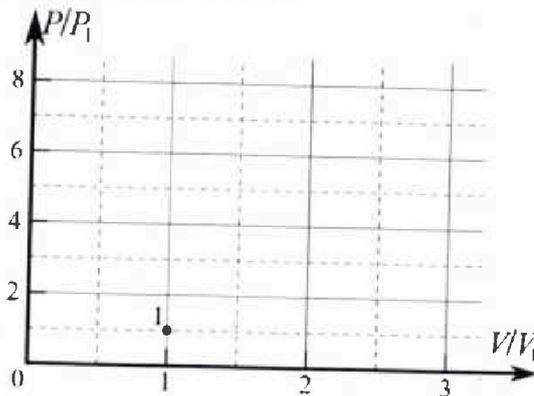


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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).

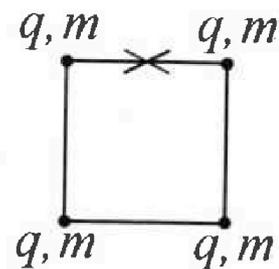


- 1) Найдите работу  $A_{31}$  внешних сил над газом в процессе 3-1.
- 2) Найдите КПД  $\eta$  цикла.
- 3) Постройте график цикла в координатах  $(P/P_1, V/V_1)$ , где  $P_1$  и  $V_1$  давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка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

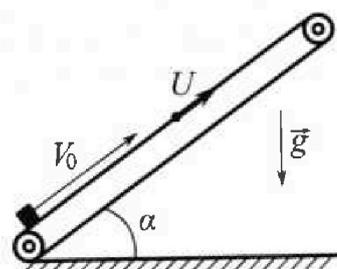
2) На каком расстоянии  $S$  от точки старта находится стенка?

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.).

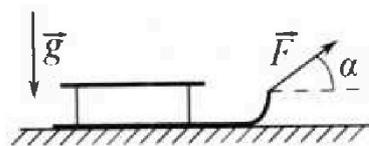
2) Через какое время  $T_1$  после старта скорость коробки во втором опыте будет равна  $U = 1$  м/с?

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



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

1)  Пусть время полета  $2t \Rightarrow$  время падения камня = времени полета до высшей точки  $= t$ ;  $V_y$  и  $V_x$  проекции  $V_0$  на оси  $y$  и  $x$  соответственно.  $t = \frac{V_y}{g}$

Как известно, проекция скорости в высшей точке  $= 0 \Rightarrow 0 = V_y - gt \Rightarrow V_y = V_0 \sin \alpha = gt = \frac{V_0}{2}$

П.к. по условию радиус траектории по оси  $x$  равен  $L$  и его вертикальная скорость не меняется  $\Rightarrow$

$$\Rightarrow 2t V_x = 2t V_0 \cos \alpha = 2t \frac{V_0}{2} = L \Rightarrow L = \frac{V_0^2}{2g} \Rightarrow V_0 = \sqrt{2g} = \sqrt{2 \cdot 10} = \sqrt{20} \text{ м/с} \quad \text{Ответ: } V_0 = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

2)   $\alpha$  - угол, под которым падает мяч;  $t$  - время полета

П.к.  $H$  - максимальная высота (по условию)  $\Rightarrow$  в момент столкновения мяча с  $H$  в высшей точке траектории  $\Rightarrow$  мяч падает из состояния покоя, проекция скорости на ось  $y = 0$ , а проекция скорости на ось  $x$  во время полета не меняется и  $V_{x, \text{max}} = V_0 \cos \alpha$

$$3C): \left( mgH + \frac{mV_0^2 \cos^2 \alpha}{2} \right)_{\text{к}} - \left( \frac{mV_0^2}{2} \right)_{\text{н}} = 0 \Rightarrow gH = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2} \Rightarrow \sin^2 \alpha = \frac{2gH}{V_0^2}$$

Пусть по оси  $y$ :  $H = \frac{gt^2}{2}$  (П.к.  $V_y = gt$ )  $\Rightarrow t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$  Пусть по оси  $x$ :  $S = V_0 \cos \alpha t \Rightarrow \cos^2 \alpha = \frac{S^2}{2HV_0^2}$

$$\Rightarrow \frac{2gH}{V_0^2} - \frac{S^2}{2HV_0^2} = 1 \Rightarrow S = \sqrt{(V_0^2 - 2gH) \frac{2H}{g}} = \sqrt{(200 - 22) \cdot 2} = \frac{26}{10} = 2,6 \text{ м} \quad \text{Ответ: } S = 2,6 \text{ м}$$



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!



$$\sin \alpha = 0,6 = \frac{3}{5} \Rightarrow \cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$= 2$$

Заметим, что  $L_1$  - время скольжения  $\Rightarrow \frac{V_0}{a} = \frac{V_0}{g} = \frac{3}{5} c$ , а путь, пройденный за  $t_1$ , равен  $L_1 = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{9}{2 \cdot 5} = 1,8 m$

За это время блок пройдет  $L_2 = \frac{a t_1^2}{2} = \frac{4}{2 \cdot 5} = 0,16 m \Rightarrow S = L_1 + L_2 = 1,96 m$  Ответ  $S = 1,96 m$



Исконная точка остановки, когда путь от начала движения до остановки равен  $\Rightarrow \Rightarrow T_0 = \frac{V_0 - 0}{a} = 0,5 c$  Ответ  $T_0 = 0,5 c$

3) Исконная точка остановки, когда путь будет равен скорости  $\Rightarrow$  и одновременно времени  $\Rightarrow$

$$\text{Сначала пройден вверх на } L_1 = \frac{(V_0 - 0)^2}{2a} = \frac{5}{4} = 1,25 m, \text{ а потом спускается вниз на } L_2 = \frac{0^2}{2a} = \frac{1}{4} = 0,25 m$$

учитывая что время равно времени  $L = L_1 + L_2 = \left( \frac{V_0^2}{2a} + \frac{0^2}{2a} \right) = 2 m$  Ответ  $L = 2 m$



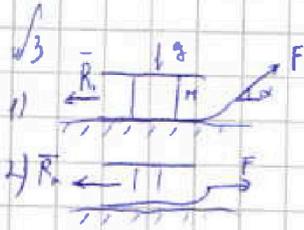
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



$R$  - сила реакции  $\Rightarrow R_1 = \mu(mg - F \sin \alpha)$  и  $R_2 = \mu mg$

$\mu$  т.к. из равновесия вертикальной струны  $K \Rightarrow$  из равновесия сжатия всех звеньев за равное расстояние  $L \Rightarrow 2 \frac{R_1}{m} L = \frac{mv^2}{L}$  и  $2 \frac{R_2}{m} L = \frac{mv^2}{L} \Rightarrow R_1 = R_2$

тогда  $R_1' = F \cos \alpha - R_1$  и  $R_2' = F - R_2 \Rightarrow F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha) = F - \mu mg \Rightarrow \mu = \frac{F - F \cos \alpha}{F \sin \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$  Ответ:  $\mu = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$

Далее нужно считать изменение энергии  $\int (dW_k - W_{tr}) = -R_2 S \Rightarrow \int = \frac{K \sin \alpha}{g \mu (1 - \cos \alpha)}$

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

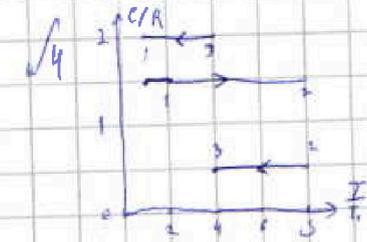
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи, решение которой представлено на странице:

- 1  2  3  4  5  6  7

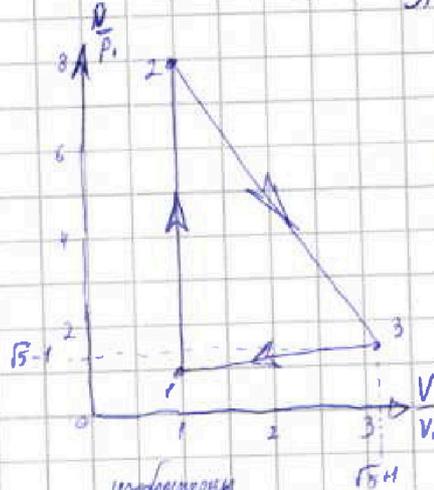
МФТИ

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



1) Для участка 3-1:  $2DR_0T_1 = -A_{31} - \frac{3}{2}DR_0T_1 \Rightarrow A_{31} = \frac{3}{2}DR_0T_1 = 24 \text{ Дж}$

~~Ответ:  $A_{31} = 24 \text{ Дж}$~~   $A_{31} = 24 \text{ Дж}$



3) Заметим, что  $e = \frac{3}{2}R$  соответствует изохорной процессу  $\Rightarrow$

точка 2 соответствует  $(1, 3)$   $(8, 1) T_1 R \frac{8T_1}{T_1} = 8$

Снова для участка 3-1: пусть координаты точки 3 -  $(\alpha, \beta)$

$\Rightarrow \alpha\beta = \frac{DR_0T_1}{P_1V_1} (3)$  и  $A_{31} = \frac{(\alpha-1)\beta(\beta-1)V_1}{2}$  и  $P_1V_1 = DR_0T_1$  и  $A_{31} = \frac{3}{2}DR_0T_1$

$\Rightarrow \alpha\beta = 4$  и  $1 = \alpha\beta + \beta - \alpha - 1 \Rightarrow \alpha - \beta = 4 \Rightarrow \beta = \sqrt{5} - 1$  и  $\alpha = \sqrt{5} + 1$

$\Rightarrow 3: (\sqrt{5} + 1; \sqrt{5} - 1)$

На участках 1-2 и 2-3  $e = \text{const} \Rightarrow$  изохорный процесс

изохорный процесс  $\Rightarrow$  работа в процессе 23

2)  $\eta = \frac{|A_{23}| + |A_{31}|}{2Q_{12}}$  где  $A_{23} = (\frac{1}{2}R - \frac{3}{2}R)DR_0T_1 = -DR_0T_1 = -4DR_0T_1$  и  $|A_{31}| = \frac{3}{2}DR_0T_1 \Rightarrow \eta = \frac{5}{2} \frac{DR_0T_1}{2DR_0T_1} = \frac{5}{4} = 125\%$

$\leftarrow$  изменение энергии  $Q_{12} = \frac{3}{2}DR_0T_1 = \frac{3}{2}DR_0T_1$

Ответ:  $\eta = \frac{5}{4} = 125\%$

Ответ:  $\eta = \frac{5}{21}$

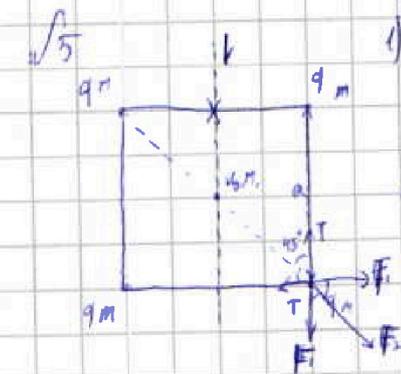
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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) Т.к. система симметрична относительно  $z$  и  $y$  осей, то достаточно рассмотреть только  $F_1$  - сила вверху соседних зарядов  $F_2$  - горизонтальная ось.

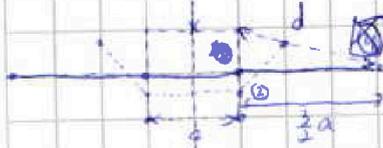
решением равенства сил на  $z$  ось (выбравим к этой формуле (т.к. равенство сил на ось  $z$  и  $y$  ей аналогично))

$$2T \cos 45^\circ = F_2 + 2F_1 \cos 45^\circ \text{ где } F_2 = \frac{kq^2}{2a^2} \text{ и } F_1 = \frac{kq^2}{a^2}$$

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

~~Ответ:  $q = \sqrt{\frac{T a \sqrt{2}}{k(1 + 2\sqrt{2})}}$~~

$l$  - ось симметрии, которая не деформируется при перемещении зарядов (ионы)



2) Сделаем, что изначально не деформируется центр иона системы и после перемещения не поворачивается никакая внешняя сила  $\Rightarrow$  когда все ионы выстроились вдоль линии  $z$  и (не поворачивая свое положение) будут сдвинуты этой линией  $\Rightarrow d = \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{2a}{2}\right)^2} = a\sqrt{\frac{5}{2}}$

(т.к. средние заряды зацепятся друг на друга сильнее всего, а на крайние все ослабевают  $\Rightarrow$  все ионы в итоге будут наклонены) Ответ:  $d = a\sqrt{\frac{5}{2}} = a\sqrt{2,5}$

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

т.к.  $\frac{kq^2}{a^2} = 2\sqrt{2}Ta$

3) Запишем  $3 \sum F_z: \left( \frac{kq^2}{a} + \frac{kq^2}{2,5a} + \frac{kq^2}{4a} - kK \right) - \left( \frac{4kq^2}{a} + \frac{2kq^2}{\sqrt{2}a} \right) = 0 \Rightarrow K = Ta \cdot \left( \frac{1,95 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right)$

Ответ:  $K = Ta \left( \frac{1,95 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}} \right)$

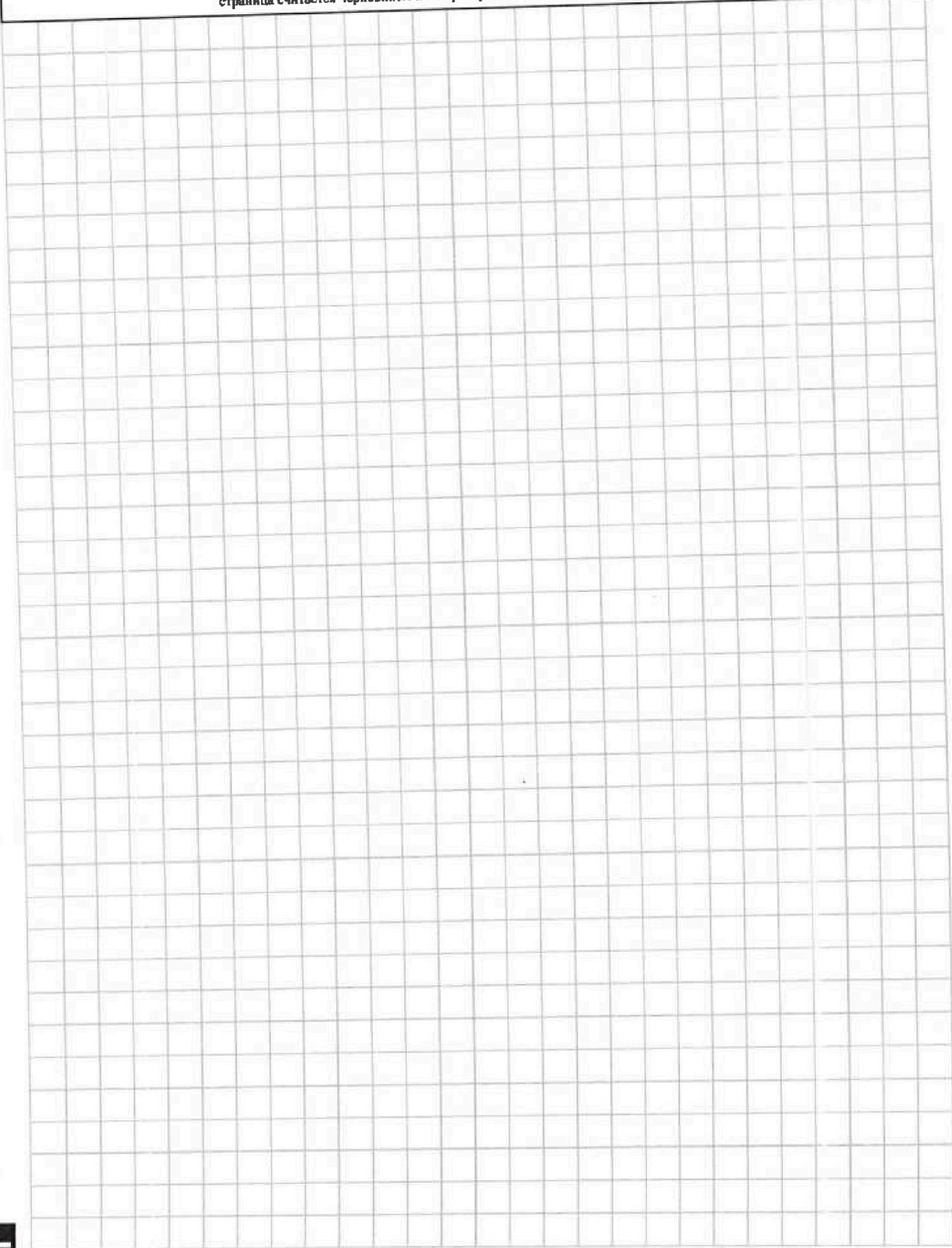


На одной странице можно оформлять только одну задачу.  
Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

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!





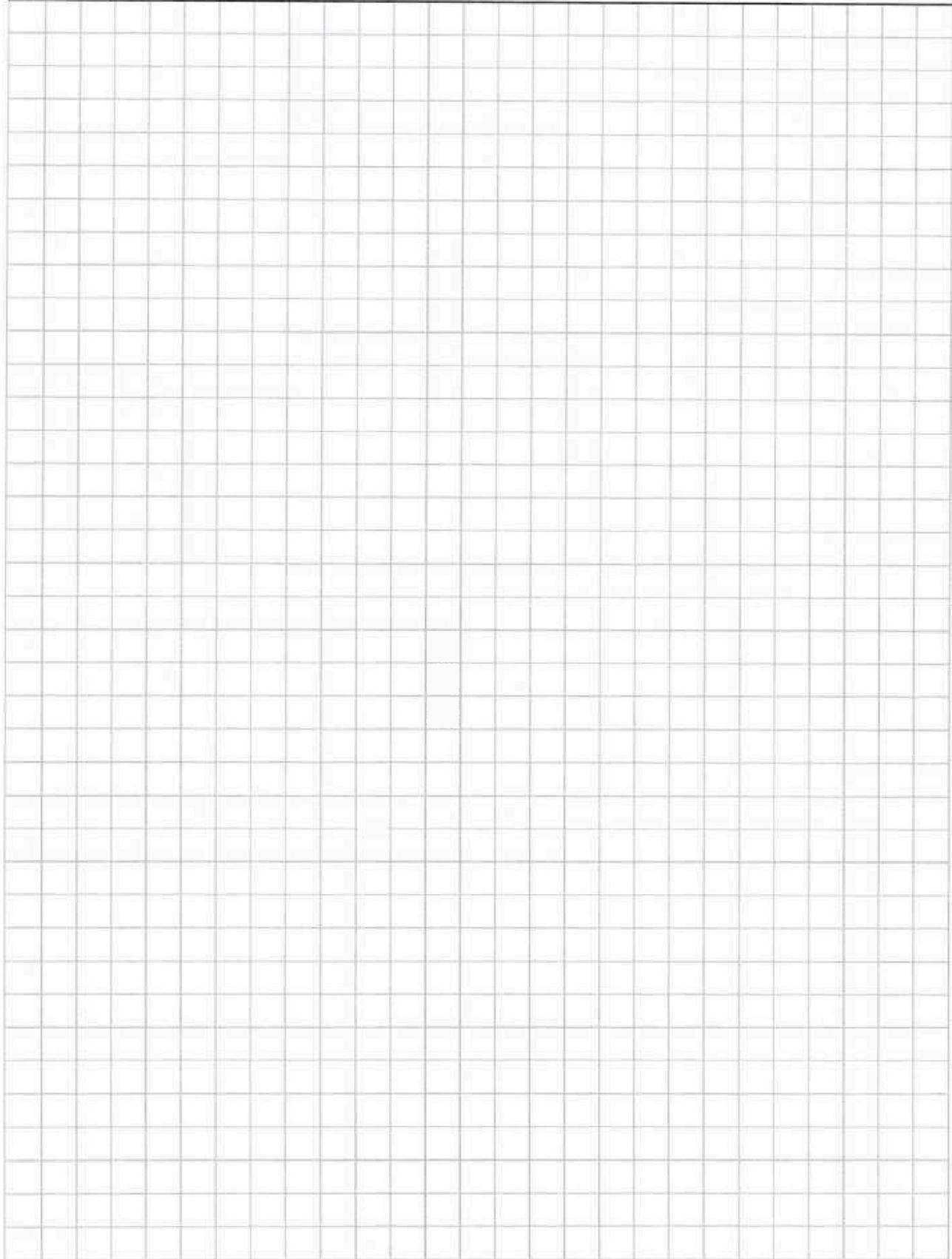
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!





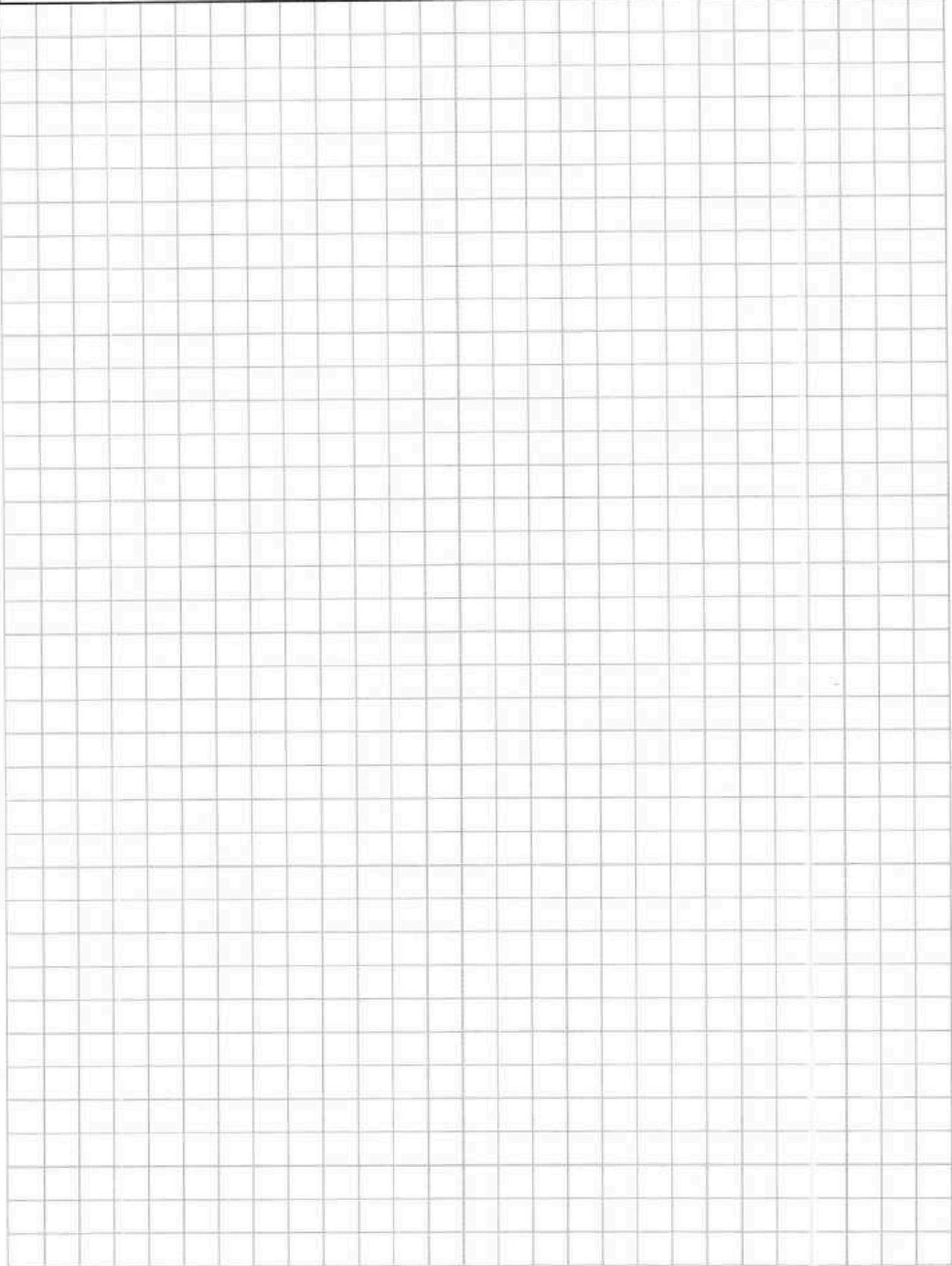
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,  
решение которой представлено на странице:

1	2	3	4	5	6	7
<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!

√5

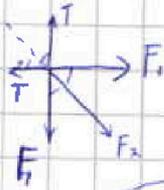
9.

9.

$$\sqrt{2}T = F_2 + \sqrt{2}F_1$$

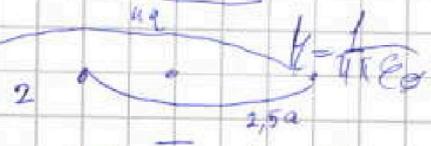
$$F_1 = \frac{kq^2}{a^2} \text{ и } F_2 = \frac{kq^2}{2a^2}$$

$$\begin{array}{r} \times 831 \\ 24 \dots \\ \hline 2993 \end{array}$$



$$\sqrt{2}T = \left[ \frac{kq^2}{a^2} (1 + \frac{1}{2}) \right]$$

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



$$\frac{a}{2} \sqrt{\frac{1+g}{\sqrt{g}}}$$

$$pv$$

$$d\beta = 4$$

$$(1-\beta) 4 - 3\beta = k, \beta + \left(\frac{3}{2} - 3\beta\right)$$

$$-3\beta - 2k_0\beta$$

$$\frac{3}{2} = \frac{(1-\beta)(\beta-1)}{2}$$

$$\alpha = \beta$$

$$3 = 4 - 1$$

$$4 - 1,5$$

$$2,5 \frac{5}{2}$$

$$\frac{300 - 8,31}{8,31}$$

$$\frac{24^3}{3}$$

$$\beta + 2 = \frac{d}{3}$$

$$A_{23} = \frac{a^2}{C} \left( \frac{2}{3} \right) \frac{dR_{21}}{F_{41}}$$

$$2 - \beta = 2 \quad d = 2 + \beta$$

$$\beta + 2\beta - 4 = 0$$

$$\beta = \frac{-(-1 + \sqrt{1+1})}{(\sqrt{5}-1)(\sqrt{5}+1)} = \frac{\sqrt{5}-1}{4}$$

$$\frac{4kq^2}{a} = \frac{2kq^2}{2a}$$

$$\frac{(3 + \sqrt{2})kq^2}{a} = \frac{4\pi\epsilon_0}{2} \cdot \frac{kq^2}{a} \left( \frac{3}{2} + \frac{1}{4} \right)$$

$$\frac{2}{5}$$

$$\frac{4}{5}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2,14\sqrt{2}kq^2}{4\pi\epsilon_0}}$$

$$\frac{kq^2}{a} \left( 3 + \sqrt{2} - \frac{1}{4} - \frac{1}{5} \right)$$

$$0,25 \cdot 0,8$$

$$\frac{10}{2}$$

$$\frac{kq^2}{a}$$

$$\sqrt{2}T a (1,25 + \sqrt{2})$$

$$4\sqrt{2}$$

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!

1)  $V_{\text{сид}} = gt$   
 $V_{\text{сид}} = \frac{L}{t}$   
 $gt = \frac{L}{t} \Rightarrow 2gt^2 = L \Rightarrow t = \sqrt{\frac{L}{2g}}$   
 $\sin \alpha = \frac{V_{\text{сид}}}{V_0} = \frac{L}{V_0 t}$   
 $V_0 = \frac{L}{t \sin \alpha} = \frac{L}{\sqrt{\frac{L}{2g}} \sin \alpha} = \sqrt{\frac{2Lg}{\sin^2 \alpha}}$   
 $\cos \alpha = \frac{V_{\text{гор}}}{V_0} = \frac{V_0 \sin \alpha}{V_0} = \sin \alpha$   
 $\alpha = 45^\circ$   
 $V_0 = \sqrt{\frac{2Lg}{\sin^2 45^\circ}} = \sqrt{2Lg}$   
 $V_0 = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 9.8} = 14 \text{ м/с}$

2)  $H = \frac{V_0^2}{2g}$   
 $V_0 = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 10} = 14 \text{ м/с}$   
 $S = \frac{V_0^2}{2a} = \frac{14^2}{2 \cdot 9.8} = 10 \text{ м}$   
 $a = g \cos \alpha = 9.8 \cdot \frac{4}{5} = 7.84 \text{ м/с}^2$   
 $V_0 = at = 14 \Rightarrow t = \frac{14}{7.84} = 1.78 \text{ с}$   
 $L = V_0 t = 14 \cdot 1.78 = 25 \text{ м}$

2)  $V_5 = aT$   
 $I_1 = \frac{5}{10} = 0.5 \text{ с}$   
 $S = \frac{V_1^2}{2a} = \frac{25}{2 \cdot 10} = 1.25 \text{ м}$   
 $L = S - S = 1 \text{ м}$

3)  $A_1 = a \cos \alpha - \mu g \sin \alpha = a - \mu g \Rightarrow 1 = \cos \alpha + \mu \sin \alpha$   
 $2A_1 L = V_0^2 = 2A_2 L$   
 $K = \mu g S M$   
 $S = \frac{K}{\mu g}$

4)  $R_1 = R_2 = 8$   
 $\frac{R}{2} = C_V$   
 $\frac{2}{3} R_1 V_0 - R_1 V_1 = 2 R_1 T_1$   
 $\frac{2}{3} \cdot 8 \cdot V_0 - 8 \cdot V_1 = 2 \cdot 8 \cdot T_1$   
 $\frac{2}{3} \cdot 8 \cdot 12 - 8 \cdot 4 = 2 \cdot 8 \cdot T_1$   
 $16 - 8 = 16 T_1 \Rightarrow T_1 = 0.5$   
 $\beta = \frac{1+3}{4} = 1$   
 $2\beta - \beta - 1 = 0$