

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.

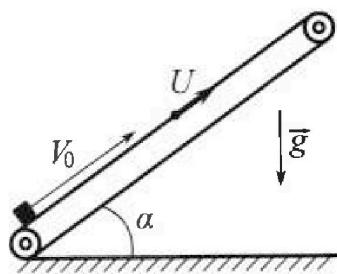
↙ 2) На каком расстоянии S от точки старта находится стенка?

Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Мяч движется в плоскости перпендикулярной стенке. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

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

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

Движение коробки прямолинейное.



↙ 1) Какой путь S пройдет коробка в первом опыте к моменту времени $T = 1 \text{ с}$?

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

↙ 2) Через какое время T_1 после старта скорость коробки *во втором опыте* будет равна

$$U = 1 \text{ м/с}$$

↙ 3) На каком расстоянии L от точки старта скорость коробки обратится в ноль *во втором опыте*? Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. 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 α 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 μ 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.





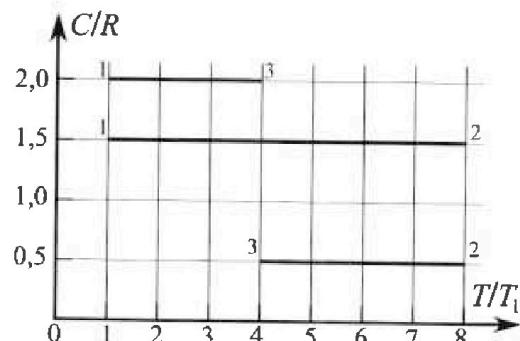
**Олимпиада «Физтех» по физике,
февраль 2023**

Вариант 10-02

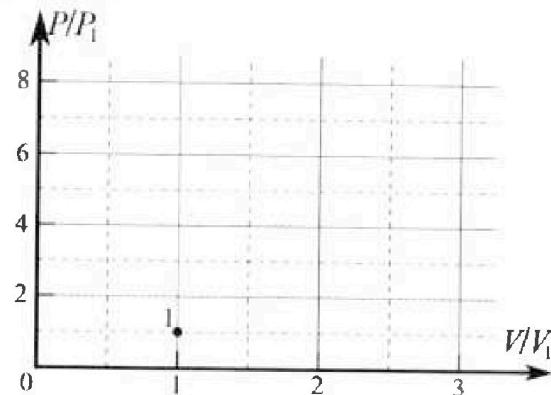


Во всех задачах, в ответах допустимы обыкновенные дроби и радикалы.

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).

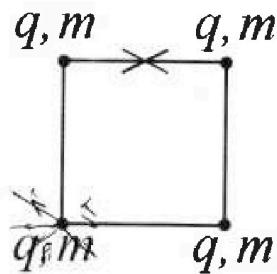


- 1) Найдите работу A_{31} внешних сил над газом в процессе 3-1.
 2) Найдите КПД η цикла.
 3) Постройте график цикла в координатах $(P/P_1, V/V_1)$, где P_1 и V_1 давление и объём в состоянии 1. Для построения графика перенесите шаблон (см. ниже) в чистовик своей работы. Точка 1 на графике соответствует 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 ϵ_0 . Действие сил тяжести считайте пренебрежимо малым.



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.

$$h = \frac{V_0^2 \sin 2\varphi}{g} \Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{gh}{\sin 2\varphi}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 3,6}{\sin 80^\circ}} = 1052 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Пусть угол броска при котором $H = 3,6$ — это
(1) $s = V_0 \cos \varphi \cdot t$, где t — время полёта до
удара об стенку.

$$(2) H = V_0 \sin \varphi t - \frac{gt^2}{2}$$

Также (3) $V_0^2 t^2 = s^2 + H^2 + \frac{g^2 t^4}{4} + gt^2 H$ ~~но т.к. H максимален, то~~

из (1): $t = \frac{s}{V_0 \cos \varphi}$ подставим в (2):

$$H = s \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} - \frac{g s^2}{2 V_0 \cos^2 \varphi} \Rightarrow 2 V_0^2 \cos^2 \varphi H = 2 V_0^2 s \sin \varphi \cos \varphi - g s^2$$

$$2 V_0^2 \cos^2 \varphi H = V_0^2 s \sin 2\varphi - g s^2$$

$$\cancel{g} s^2 - \frac{V_0^2 \sin^2 2\varphi}{8} s + \frac{2 V_0^2 \cos^2 \varphi}{8} H = 0$$

~~т.к. H максимален, то~~ Т.к. H максимален, то

$$H = \frac{V_0 \sin \varphi}{2g}; s = \frac{V_0^2 \sin 2\varphi}{2g} \Rightarrow$$
 подставим в ур-е.

$$s^2 - \frac{V_0^2 \sin^2 2\varphi}{8} s + 4H \cdot \left(\frac{V_0^2}{2g} - \frac{V_0^2 \sin^2 \varphi}{2g} \right) = 0$$

$$s^2 - 2s^2 + 4H \left(\frac{V_0^2}{2g} - H \right) = 0$$

$$s^2 = 4H \left(\frac{V_0^2}{2g} - H \right) = 2H V_0^2 - 4H^2$$

$$s = 2 \sqrt{H \left(\frac{V_0^2}{2g} - H \right)} = 2 \sqrt{3,6 \cdot \left(\frac{100}{20} - 3,6 \right)} \text{ м} =$$

$$= 2 \sqrt{3,6 \cdot 6,4} \text{ м} = 2 \sqrt{\frac{36 \cdot 64}{100}} \text{ м} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 8}{10} \text{ м} = 9,6 \text{ м}$$

Ответ: $V_0 = 1052 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $s = 9,6 \text{ м}$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

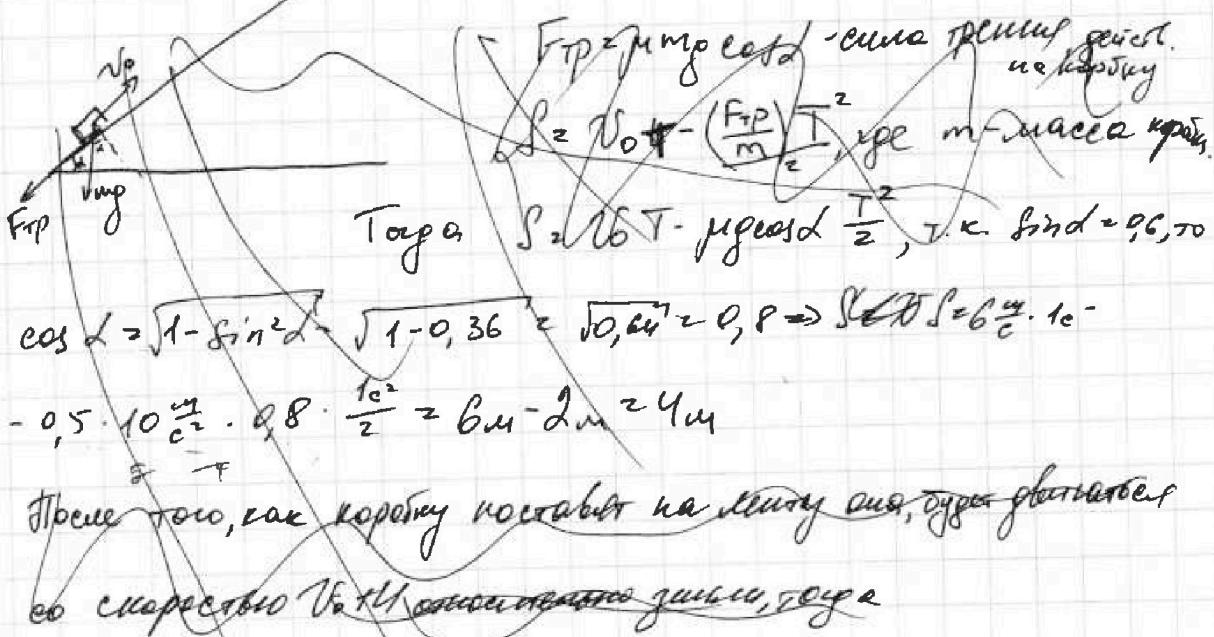
- | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/>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

МФТИ



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

№2.



Тогда саже корабль будет двигаться со скоростью $V_0 - U$ при

(0,5 м/с)

постановке на листу, значит $V_0 - U - \frac{F_{\text{тр}}}{m} \mu g \cos d \frac{T^2}{2} = U$

$$\mu g \cos d \frac{T_0^2}{2} = V_0 - 2U$$

$$\sqrt{\frac{2(6-2)}{10(0,67+0,5)}} = \sqrt{\frac{8}{10}} = \sqrt{0,8} = 0,8$$

$$0 = 10T$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{2(V_0-2U)}{\mu g \cos d}} = \sqrt{\frac{2(6-2)}{\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 0,8}}$$

$F_{\text{тр}} = \mu g \cos d$, где m -масса корабля.

$$S = V_0 T - \left(m g \sin d + \mu g \cos d \right) \frac{T^2}{2}$$

$$= V_0 T - \frac{g T^2}{2} / \left(\sin d + \mu \cos d \right) = 6 \text{м} - \frac{5 \text{м}}{10} = 1 \text{м}$$

Во втором случае корабль движется со скоростью $V_0 + U$, значит
относительная скорость $(V_0 + U)$ относительно

$$V_0 - U = (\mu g \cos d + g \sin d) T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{V_0 - U}{\mu g \cos d + g \sin d} = \frac{5}{10} \text{с} = 0,5 \text{с}$$



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"/> |

МФТИ

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

Когда скорость коробки станет ~~равной~~ значение U , то сре-
днее трение начнет свое изнашивание на проце-
цессах и будет пытаться ~~затормозить~~ коробку, тогда
 $h = V_0 T_1 - \frac{g(\mu_{\text{коэф}} + \sin d) T_1^2}{2} + V_0 T_2 - \frac{g(\sin d - \mu_{\text{коэф}}) T_2^2}{2}$, где

$$T_2 - \text{время, за которое скорость коробки снизится с } U \text{ до } 0,$$

$$\text{тогда } U = g(\sin d - \mu_{\text{коэф}}) T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{U}{g(\sin d - \mu_{\text{коэф}})} = \frac{1}{10 \cdot 0,92} \text{ с} = 0,5 \text{ с}$$

$$\Rightarrow h = V_0 (T_1 + T_2) - \frac{g(\mu_{\text{коэф}} + \sin d) T_1^2}{2} - \frac{g(\sin d - \mu_{\text{коэф}}) T_2^2}{2} (\mu_{\text{коэф}} + \sin d + \sin d - \mu_{\text{коэф}}) =$$

$$= 2V_0 T_1 - \frac{g T_1^2}{2} \sin d = 2 \cdot 6 \text{ м} - 1,5 \text{ м} = 4,5 \text{ м}$$

Ответ: $s = 4,5 \text{ м}$

$$T_1 = 0,5 \text{ с}$$

$$h = 4,5 \text{ м}$$

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

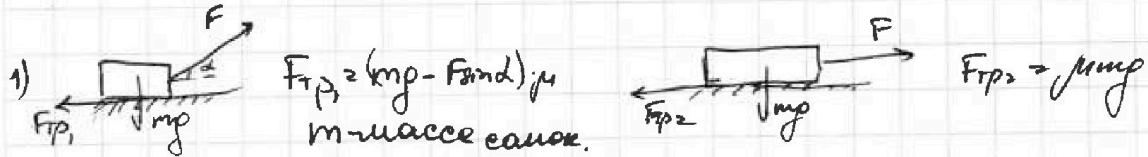
Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

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

№3.



$$\text{Тогда } R = (F_{\text{одл}} - F_{\text{тр}}) \cdot l = (F - F_{\text{тр}})l, \text{ где } l - \text{длина}$$

участка наклона, где санки разгоняются до кон. эн. к.

$$F_{\text{одл}} - F_{\text{тр}} = F - F_{\text{тр}}_2$$

$$F \cos \alpha - \mu mg + \mu F_{\text{одл}} = F - \mu mg$$

$$\cos \alpha - \mu g \sin \alpha = 1$$

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

а) $\delta_2, k = \frac{m v^2}{2}$, где v -скорость, до которой разгонялись
санки, тогда $v = \sqrt{\frac{2k}{m}}$, тогда δ_2 в силу теоремы обратности:

$v = 0$, т.е. $k = 0$ и ~~также~~ кинет. энергия саней равна 0.

Значит $R = \mu mg S$. $k = R_{\text{тр}} = \mu mg S$, т.е. под. сила $F_{\text{тр}}$
равна $k m g$, то в обоих случаях $F_{\text{тр}} = \mu mg$, а $A_{\text{тр}} = \mu mg^2$ -работа
силы трения до остановки санок, значит $S = \frac{k}{\mu mg} =$
 $= \frac{k_{\text{одл}}}{mg(\cos \alpha - 1)}$.

$$\text{Ответ: } \mu = \frac{\cos \alpha - 1}{\sin \alpha}; S = \frac{k_{\text{одл}}}{mg(\cos \alpha - 1)}.$$

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

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:

- | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <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 чирковиком и не проверяется. Порча QR-кода недопустима!

н/у.

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \Rightarrow Q = A + \alpha U = Jc_{0T} \Rightarrow Q_{31} = A_{31} + \alpha U_{31} = J \cdot c_{0T} \cdot \Delta T_{31}$$

$$Q \quad C_{31} = 2R \text{ из градусов}, \Delta T_{31} = \frac{3T_1}{4T_1 + T_1} = \frac{3T_1}{5T_1}, \Delta U_{31} = \frac{3}{2} JR \cdot 3T_1$$

$$A_{31} = J \cdot 2R \cdot 3T_1 + \frac{3}{2} JR \cdot 3T_1 = \frac{3}{2} JR \cdot 3T_1, f = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot 100 =$$

$$= 231 \cdot 8,31 \cdot 300 = 2193 \text{ Дж.}$$

~~$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{A_{31} + A_{12} + A_{23}}{Q_{12}}$$~~

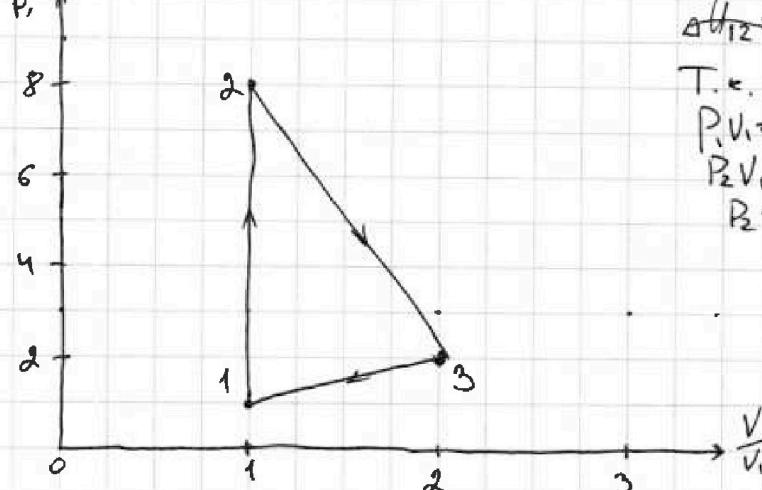
$$Q_{12} = C_{12} \cdot J \cdot \Delta T_{12} = J \cdot 1,5R \cdot 7T_1 = 10,5JR T_1$$

$$A_{12} = Q_{12} - \alpha U_{12} = 10,5JR T_1 - \frac{3}{2} JR \cdot 7T_1 = 0.$$

$$A_{23} = Q_{23} - \alpha U_{23} = \frac{3}{2} JR \cdot 4T_1 + \frac{3}{2} JR \cdot 4T_1 = 4JR T_1$$

$$\eta = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{31}}{Q_{12}} = \frac{4JR T_1 + 0 - \frac{3}{2} JR T_1}{10,5JR T_1} = \frac{4 - \frac{3}{2}}{\frac{21}{2}} = \frac{8-3}{21} =$$

$$\eta = \frac{5}{21}$$



$$\Delta H_{12} = \frac{3}{2} JR \cdot 7T_1$$

T. e. $A_{12} = 0$, т. о. $V = \text{const}$, значит

$$P_1 V_1 = JR T_1$$

$P_2 V_1 = 8JR T_1$, значит

$$P_2 = 8P_1$$

$$P_3 V_3 = 4JR T_1 = 4P_1 V_1$$

$$\text{т.к. } A_{31} = -\frac{3}{2} JR T_1 = -\frac{3}{2} P_1 V_1,$$

то можно написать, что

$$P_3 = 2P_1, V_3 = 2V_1$$

Работа - это площадь под
градусами.

Ответ: $A_{31} = -2193 \text{ Дж.}$; $\eta = \frac{5}{21}$



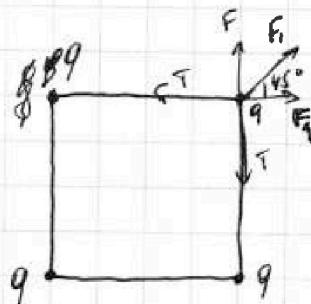
На одной странице можно оформлять только одну задачу.

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!



№5.

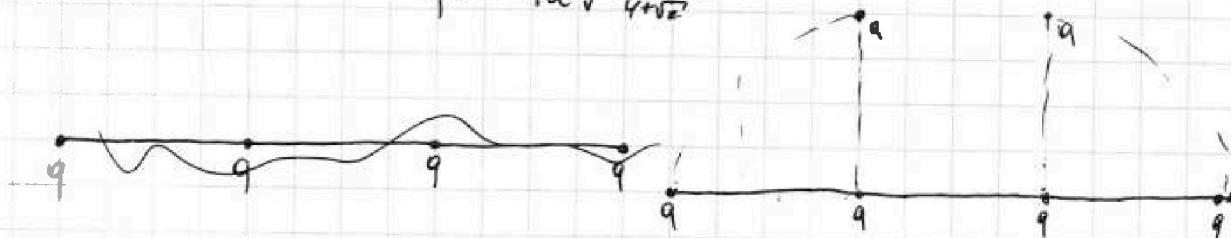
$$F = \frac{kq^2}{a^2}; F_1 = \frac{kq^2}{d^2}, \text{ т.е. } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, d =$$

$$F = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2}; F_1 = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 a^2}.$$

$$T = F + F_1 \cos(45^\circ) = F + \frac{\sqrt{2}F_1}{2} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 a^2} + \frac{\sqrt{2}q^2}{16\pi\epsilon_0 a^2}$$

$$q^2(4+\sqrt{2}) = 16\pi\epsilon_0 q^2 T$$

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



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

На одной странице можно оформлять только одну задачу.

Отметьте крестиком номер задачи,
решение которой представлено на странице:



1

2

3

4

5

6

7

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

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!