Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

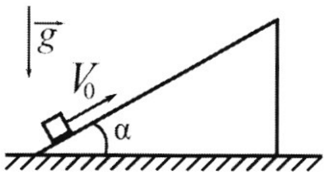
1. Фейерверк массой $m = 2$ кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва $H = 65$ м. На землю осколки падают в течение $\tau = 10$ с.

1) Найдите начальную скорость V_0 фейерверка.

2) Найдите суммарную кинетическую энергию K осколков сразу после взрыва.

Ускорение свободного падения g=10 м/с^2. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол $\alpha = 30^0$. Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают начальную скорость $V_0 = 2$ м/с (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения g=10 м/с^2.



1) На какую максимальную высоту H над точкой старта поднимется шайба на клине?

2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения g=10 м/с^2.

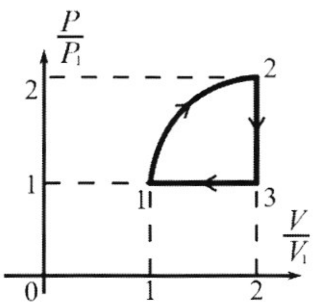
3. По внутренней поверхности проволочной металлической сферы радиуса $R = 1,2$ м равномерно со скоростью $V_0 = 3,7$ м/с движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Масса модели $m = 0,4$ кг. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) С какой по величине силой P модель действует на сферу?

2) Рассмотрим модель автомобиля равномерно движущуюся по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = \dfrac{\pi}{6}$. Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} такого равномерного движения. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,9$.

Ускорение свободного падения g=10 м/с^2.

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1–2 –дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна T_1.



1) Какое количество Q теплоты подведено к газу в процессе расширения?

2) Найдите работу A газа за цикл.

3) Найдите КПД η цикла.

Универсальная газовая постоянная R.

5. Заряд Q >0 однородно распределен по сфере радиуса R. В первом опыте на расстоянии $2R$ от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом q >0.

1) Найдите силу F_1, действующую на заряженный шарик.

Во втором опыте заряд q однородно распределяют по стержню длины R, стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии $2R$ от центра.

2) Найдите силу F_2, с которой заряд сферы действует на заряженный стержень.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k. Явлениями поляризации пренебрегите.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

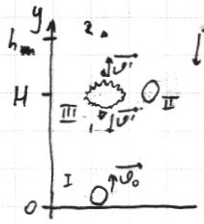
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1:

Дано:
$m = 2$ кг
$H = 65$ м
$\tau = 10$ с
$v_0 - ?$
$K - ?$

Реш-е: $\exists\, h_m$ – высота, на к-рую поднялся осколок, взлетевший после взрыва вертикально, v' – скорость $\forall$ осколка отн. Земли



$$v_y^2 - v_{0y}^2 = 2g_yH$$

$$v_0^2 = 2gH \Rightarrow v_0 = \sqrt{2gH}.$$

$$v_0 = \sqrt{2\cdot 10\,м/с^2 \cdot 65\,м} = \sqrt{13\cdot 100}\ м/с = 10\sqrt{13}\ м/с$$

$650 \cdot 2 = 1300$

Т.к. v' и H одинаковы для $\forall$ осколка, то быстрее всего на землю упадёт осколок 1, у к-рого $\vec{v'}\uparrow\uparrow\vec{g}$, а медленнее всего – тот, у к-рого $\vec{v'}\uparrow\downarrow\vec{g}$ (№2)

Ур-я движ. осколков
$$\begin{cases} y_1 = H - v't - \frac{gt^2}{2} & (1) \\ y_2 = H + v't - \frac{gt^2}{2} & (2) \\ y_1 = 0 \text{ при } t = t_1;\ y_2 = 0 \text{ при } t = t_2 \end{cases}$$

(1): $\Rightarrow H - v't_1 - \frac{gt_1^2}{2} = 0$

$$\frac{g}{2}t_1^2 + v't_1 - H = 0$$

$$\sqrt{D} = \sqrt{v'^2 + 2gH}$$

$$\left[\begin{array}{l} t_{11} < 0 \\ t_{12} = t_1 = \dfrac{\sqrt{v'^2+2gH} - v'}{g} \quad (3) \end{array}\right.$$

(2): $H + v't_2 - \frac{gt_2^2}{2} = 0$

$$\frac{g}{2}t_2^2 - v't_2 - H = 0$$

$$\sqrt{D} = \sqrt{v'^2 + 2gH}$$

$$\left[\begin{array}{l} t_{21} < 0 \\ t_{22} = \dfrac{v' + \sqrt{v'^2+2gH}}{g} \quad (4) \end{array}\right.$$

$\tau = t_2 - t_1$ (5)

(3),(4)→(5): $\tau = \frac{1}{g}\left(v' + \sqrt{v'^2+2gH} - \sqrt{v'^2+2gH} + v'\right) = \frac{2v'}{g}$

Тогда $v' = \frac{g\tau}{2}$ (6)

реш-е далее – см. стр. 2

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

№1 (пр.)

$$K = \sum_i \frac{m_i v'^2}{2} = \sum_i \frac{m_i}{2} v'^2 =$$

$$= \sum_i \frac{v'^2}{2} m_i = \frac{v'^2}{2} \sum_i m_i = \frac{v'^2}{2} \cdot m = \frac{m v'^2}{2} \quad (7)$$

(6)→(7): $K = \frac{m}{2}\left(\frac{g\tau}{2}\right)^2 = \frac{m}{2} \frac{g^2\tau^2}{4} = \frac{m g^2 \tau^2}{8}$.

$$K = \frac{2\,кг \cdot 100\,м^2/с^4 \cdot 100\,с^2}{8} = 25 \cdot 100\,Дж = 2500\,Дж$$

Ответ: $v_0 = 10\sqrt{13}$ м/с; $K = 2500$ Дж.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2:

Дано:
$m_ш = m_к = m$
$\alpha = 30°$
$v_0 = 2\,м/с$
$\mu = 0$; $y_{ш\,III} = 0$
1) H - ?
2) v - ?

Реш-е: 1) $E_{k1} = E_{k2}$

$$0 + \frac{mv_0^2}{2} + 0 + 0 = mgH + \cancel{\frac{mv_к^2}{2}} + 0 + \frac{mv_{к2}^2}{2}$$

$$mv_0^2 = 2mgH + 2mv_к^2 \quad (1)$$

$\cancel{\vec{p_1} = \vec{p_2}}$ $\quad p_{x1} = p_{x2}$

$$mv_0\cos\alpha + 0 = mv_{к2} + mv_{к2} = 2mv_к \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_к = \frac{v_0\cos\alpha}{2} \quad (2) \qquad (2)\to(1): \; v_0^2 = 2gH + \frac{v_0^2\cos^2\alpha}{1}$$

$$v_0^2 - v_0^2\cos^2\alpha = 2gH \Rightarrow H = \frac{v_0^2(1-\cos^2\alpha)}{2g}.$$

$$H = \frac{4\,м^2/с^2\left(1-\frac{3}{4}\right)}{2\cdot 10\,м/с^2} = \frac{2\cdot\frac{1}{4}}{10}\,м = \frac{1}{20}\,м = 0{,}05\,м.$$

2) $E_{k1} = E_{k3}$

$$0 + \frac{mv_0^2}{2} + 0 + 0 = 0 + \frac{mv^2}{2} + 0 + \frac{mv_{к3}^2}{2}$$

$$v_0^2 = v^2 + v_{к3}^2 \quad (3) \Rightarrow v_{к3} = \sqrt{v_0^2 - v^2}$$

$p_{x1} = p_{x3}$

$$mv_0\cos\alpha + 0 = mv\cos\beta + mv_{к3}$$

$$v\cos\beta = v_x = v_{к3} - v_3\cos\alpha \Rightarrow v_{к3} = v\cos\beta + v_3\cos\alpha \quad (6)$$

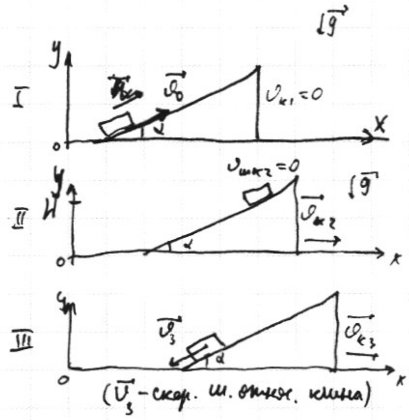
$$(4): \; v^2 = v_3^2 + v_{к3}^2 - 2v_3v_{к3}\cos\alpha$$

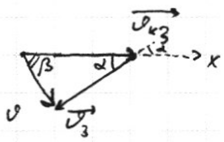
$$(3),(4): \; v_0^2 = v_3^2 + v_{к3}^2 - 2v_3v_{к3}\cos\alpha + v_{к3}^2 = v_3^2 + 2v_{к3}^2 - 2v_{к3}v_3\cos\alpha \quad (7)$$

$$(6),(7): \; v_0^2 = v_3^2 + 2v^2\cos^2\beta + 4vv_3\cos\alpha\cos\beta + 2v_3^2\cos^2\alpha - 2v_3\cos\alpha(v\cos\beta + v_3\cos\alpha)$$

$$v_0^2 = v_3^2 + 2v^2\cos^2\beta + 4vv_3\cos\alpha\cos\beta + \cancel{2v_3^2\cos^2\alpha} - 2vv_3\cos\alpha\cos\beta - \cancel{2v_3^2\cos^2\alpha}$$

$$v_0^2 = v_3^2 + 2v^2\cos^2\beta + 2vv_3\cos\alpha\cos\beta$$





$$\vec{v} = \vec{v_{к3}} + \vec{v_3}$$

т. cos:
$$v^2 = v_3^2 + v_{к3}^2 - 2v_3v_{к3}\cos\alpha \quad (4)$$

т. sin:
$$\frac{v}{\sin\alpha} = \frac{v_3}{\sin\beta} \quad (5)$$

$$\sin\beta = \frac{v_3\sin\alpha}{v}$$

$$\cos\beta = \sqrt{1 - \frac{v_3\sin\alpha}{v}} \quad (отт)$$

Ответ: $H = 0{,}05$ м.

□ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

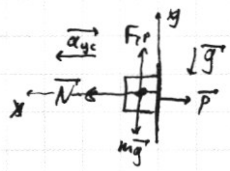
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N3:

Дано:
$R = 1{,}2$ м
$v_0 = 3{,}7$ м/с
$m = 0{,}4$ кг
$\alpha = \pi/6$
$\mu = 0{,}9$
$v = const$

1) P - ?
2) v_{min} - ?

Реш-е: 1) авт. маленький, поэтому считаем, что он движ. по окружн. по стене, перпендик. $\vec{g}$.

1) 

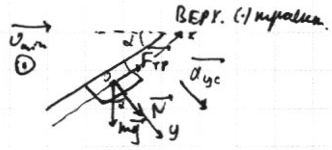
$$\vec{R} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = \vec{a}_{цс} m$$

$$\begin{array}{l} OX: \\ Oy: \\ \end{array}\begin{cases} N = ma_{цс} \\ F_{тр} - mg = 0 \\ F_{тр} = \mu N \end{cases} \Rightarrow \mu m a_{цс} = mg \Rightarrow a_{цс} = \frac{g}{\mu}$$

$$\begin{cases} N = \frac{mg}{\mu} \\ N = P \ (\text{III з.Н.}) \end{cases} \Rightarrow P = \frac{mg}{\mu}.$$

$$P = \frac{0{,}4\text{кг} \cdot 10\text{м/с}^2}{0{,}9} = \frac{40}{9}\text{Н}.$$

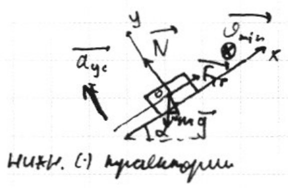
2) авт. маленький, поэтому участок сферы, по к-рому он движется, плоским считаем.



$$\vec{R} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{тр} = m\vec{a}_{цс}$$

Верх:
$$\begin{array}{l} OX: \\ Oy: \\ \end{array}\begin{cases} F_{тр} - mg\sin\alpha = 0 \\ N + mg\cos\alpha = ma_{цс} \\ F_{тр} = \mu N \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu N = mg\sin\alpha \\ N = m(a_{цс} - g\cos\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu m a_{цс} - \mu m g\cos\alpha = mg\sin\alpha \\ a_{цс} = \frac{v^2_{minВ}}{R} \end{cases}$$



$$\mu v^2_{minВ} = gR(\sin\alpha + \cos\alpha)$$

Низ:
$$\begin{array}{l} OX: \\ Oy: \\ \end{array}\begin{cases} F_{тр} - mg\sin\alpha = 0 \\ N - mg\cos\alpha = ma_{цс} \\ F_{тр} = \mu N \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu N = mg\sin\alpha \\ N = m(a_{цс} + g\cos\alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu m a_{цс} + \mu m g\cos\alpha = mg\sin\alpha \\ a_{цс} = \frac{v^2_{minН}}{R} \end{cases}$$

$$\mu v^2_{minН} = gR(\sin\alpha - \cos\alpha)$$

Т.о. $$v_{minВ} = \sqrt{\frac{gR(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\mu}} \quad (1)$$

$$v_{minН} = \sqrt{\frac{gR(\sin\alpha - \cos\alpha)}{\mu}}, \ \alpha \in \frac{\pi}{4} \quad (2)$$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

№3 (пр.)

~~ϑ_{min} – наименьшая из ϑ_B и ϑ_H, но дост~~

ϑ_{min} должна быть достаточна для удержание авт. в верхн. (·) тр.

Т.к. $\vartheta_B > \vartheta_H$ $(\sin\alpha + \cos\alpha > \sin\alpha - \cos\alpha,\ \alpha < \pi/2)$, поэтому $\vartheta_{min} = \vartheta_B$

$$\vartheta_{min} = \sqrt{\frac{gR(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\mu}}.$$

$$\vartheta_{min} = \sqrt{\frac{10\,м/с^2 \cdot \cancel{1{,}2}^4\,м\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}\right)}{\cancel{0{,}9}_3}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 4}{3}\,\frac{\sqrt{3}+1}{2}}\ м/с \approx \cancel{\sqrt{\frac{10 \cdot 4}{3_{10}}\,\frac{2{,}8^7}{2}}\ м/с = \sqrt{\frac{10 \cdot 4 \cdot 7}{10 \cdot 2}}\ м/с =}$$

$$\approx \sqrt{\frac{\cancel{10} \cdot 4 \cdot \cancel{2{,}7}^9}{\cancel{3}_{10} \cdot 2}}\ м/с = \sqrt{\frac{4 \cdot 9}{2}}\ м/с = 6\sqrt{2}\ м/с$$

Ответ: $P = \frac{40}{9}\,Н$; $\vartheta_{min} = 6\sqrt{2}\ м/с$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4!

Дано:
$\nu = 1$ моль
$T_I = T_1$

$Q_{12} = Q$ - ?
A - ?
η - ?

Реш-е: Если через (·) 1 и 2 провести изотермы, то $T_2 > T_1$, т.к. лежит выше

1-2: $p\uparrow$, $V\uparrow$, $T\uparrow$, $A \neq 0$, $\Delta U \neq 0$, Q - пол.
~~2-3: p=const,~~
2-3: $V = const$, $p\downarrow$, $T\downarrow$, $A = 0$, $\Delta U \neq 0$, Q - отд.
3-1: $p = const$, $V\downarrow$, $T\downarrow$, $A' \neq 0$, $\Delta U \neq 0$, Q - отд.

из гр. (геометрически) $R_{окр} \neq p_1 = V_1$ (численно), т.к. $R_{окр} = 2p_1 - p_1 = 2V_1 - V_1$

1) $Q = \Delta U_{12} + A_{12}$

$$A_{12} = S_{фиг} = S_{\square} + S_{\triangle} = (2p_1 - p_1)(2V_1 - V_1) + \frac{\pi}{4}(\underbrace{p - p_1}_{R})^2 = p_1V_1 + \frac{\pi}{4}p_1V_1 = p_1V_1\left(1 + \frac{\pi}{4}\right) = \nu RT_1\left(1 + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$\begin{cases} \Delta U_{12} = U_2 - U_1 = \frac{3}{2}\nu RT_2 - \frac{3}{2}\nu RT_1 \\ p_1V_1 = \nu RT_1 \\ p_2V_2 = 4p_1V_1 = \nu RT_2 \end{cases} \Rightarrow \Delta U_{12} = \frac{3}{2}(4p_1V_1 - p_1V_1) = \frac{9}{2}p_1V_1 = \frac{9}{2}\nu RT_1$$

$$Q = \frac{9}{2}\nu RT_1 + \left(1 + \frac{\pi}{4}\right)\nu RT_1 = \frac{18 + \pi + 4}{4}\underset{1}{\nu} RT_1 \approx \frac{25}{4}RT_1$$

2) ~~$A = A_{12} - A_{31} = (1 + \frac{\pi}{4})\nu RT_1 - (2p_1 - p_1)($~~

$$A = A_{12} - A_{31} = S_{\triangle} = \frac{\pi}{4}p_1V_1 \text{ (из вып.)} = \frac{\pi}{4}\underset{1}{\nu} RT_1 = \frac{\pi RT_1}{4}$$

3) $$\eta = \frac{A_ц}{Q_{нал}} = \frac{A}{Q} = \frac{\frac{\pi RT_1}{4}}{\left(\frac{9}{2} + \frac{\pi}{4} + 1\right)RT_1} \cong \frac{\pi}{4\left(\frac{25}{4}\right)} = \frac{\pi}{25}$$

Ответ: $Q = \frac{25}{4}RT_1$; $A = \frac{\pi}{4}RT_1$; $\eta = \frac{\pi}{25}$

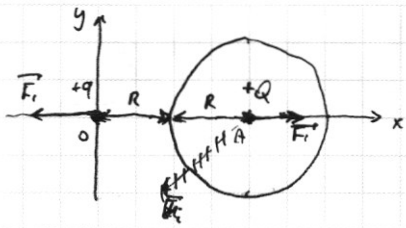
N5:

Дано:
$Q > 0$
$q > 0$
R

$F_1 - ?$
$F_2 - ?$

Реш-е:

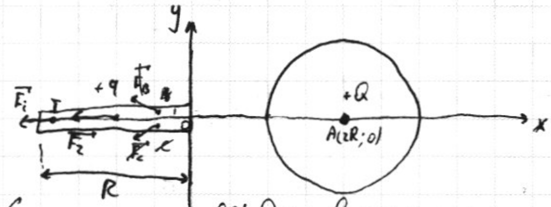
1) ~~F~~ Поскольку Q расположен в шаре и распределен равномерно, мы можем считать, что весь заряд Q ~~вне шара~~ сведён в (·) A — центр шара (т.к. $\varphi_Q = \frac{kQ}{r}$, $r > R$ для $\forall$ не лежащей внутри шара точке пространства) ~~поле, созд. зарядом Q вне шара~~



$$F_1 = \frac{kqQ}{(2R)^2} = \frac{kqQ}{4R^2}$$

2) Аналогично п. 1 считаем, что ~~по~~ весь заряд Q расположен в (·) A. $F_{2y} = -F_2$ для стержня

~~+ ∀ (·) B стержня и симметрич. ей относ. Ox~~ (·) C

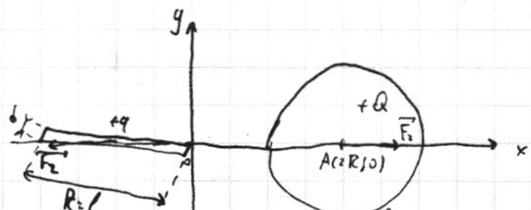


ось Ox проведена так, что через неё проходят ц. оснований стержня на рис.

[(·) C всегда $\forall$ стержню, ~~так~~ т.к. по усл. стержень проходит через Ox.
$\exists$

$\exists \rho_q$ — плотность распред. заряда в стержне.

~~$q = \rho_q R S$~~



такой случай возможен, но требует учёта толщины стержня d. В стержне $l >> d$, поэтому мы пренебрегли незначв. величиной

В стержне его длина много больше толщины, поэтому последней пренебрежём.

$+ \forall$ (·) стержня:

$F_2 = \sum_i F_i$ ~~$= \sum_i \dots$~~ $\exists X$ — расст. от ~~кон~~ (·) стерж. до (·) O
l — расст. от (·) стерж. до (·) A

$$F_2 = \sum_i \frac{k \cdot Q \cdot q_i}{(R + x_i)^2} = kQ \sum_i \frac{q_i}{(x_i + R)^2} = kQ \sum_i \frac{q_i}{x_i^2 + 2Rx_i + R^2} = \cancel{\int_0^l \frac{kQ\,dq}{l^2} = kQ \int_0^R}$$

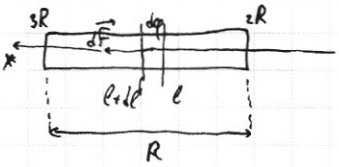
~~$\exists \{ F_i = dF.$~~
~~ρ_q заряд $\forall$ (·) ...~~ q_0 — заряд $\forall$ (·) стержня, ~~i — кол-во точек.~~

$dF = \frac{kQq_0}{l^2}$

~~$F_{xy} = \int_{2R}^{3R} dF = \int_{2R}^{3R} \frac{kQq_0}{l^2}$~~

см. стр. 9 следующ.

$\exists\ \rho_q$ – лин. плотн. заряда $q = \rho_q R$, тогда для т(.): $dq = \rho_q \cdot dl$



$$dF = \frac{kQ\,dq}{(l)^2} = \frac{kQ\rho_q\,dl}{l^2} = \frac{kQ\rho_q}{l^2}dl.$$

$$\cancel{F = \left|\int_{2R}^{3R} dF\right| = \left|\int_{2R}^{3R}\frac{kQ\rho_q}{l^2}dl\right| = \left|kQ\frac{q}{R}\int_{2R}^{3R}\frac{1}{l^2}dl\right| = \left|\frac{kQq}{R}\left(\frac{1}{9R^2}-\frac{1}{4R^2}\right)\right| = \frac{kqQ}{R}}$$

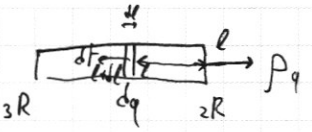
$$F = \left|\int_{2R}^{3R} dF\right| = \left|\int_{2R}^{3R}\frac{kQ\rho_q}{l^2}dl\right| = kQ\frac{q}{R}\left(\frac{3}{l^3}\Big|_{2R}^{3R}\right) = kQ\frac{q}{R}\ \ldots$$

В этом случае благодаря симметрии и равном. распр. заряда считаем, что q расположен в ц. стержня на расст. $l = 2R + \frac{R}{2} = \frac{5R}{2}$.

Тогда $F_2 = \frac{kQq\cdot 2^2}{(5R)^2} = \frac{4}{25}\frac{kqQ}{R^2}$

Ответ: $F_1 = \frac{kqQ}{4R^2}$; $F_2 = \frac{4}{25}\frac{kqQ}{R^2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$q = \rho_q R$

$F = F(q, l)$

$dF = F(l)$

$q = \Sigma \rho_q dq$

$\int_{2R}^{3R} \frac{kqQ}{l^2}$

$\int_{2R}^{3R} \frac{kQ\rho_q}{l^2} dl = kq$

$\rho_q l = q \qquad dq = \rho_q \cdot dl$

$dF = \frac{kQ\,dq}{l^2} =$

$F = \int_{2R}^{3R} dF = \int_{2R}^{3R} \frac{kQ\,dq}{l^2} = kQ\left(\frac{dq}{l^2}\Big|_{2R}^{3R}\right) = kqQ\left(\frac{1}{9R^2} - \frac{1}{4R^2}\right) = kqQ\left(\frac{5}{36R^2}\right) = \frac{5kqQ}{36R^2}$

$\left(\frac{5R}{2}\right)^2 = \left(\frac{25R^2}{4}\right)' \Rightarrow \frac{25}{2}R$

$dF = \frac{kQ\,dq}{(dl)^2}$

$\int \frac{dq}{dl} = \frac{q}{l}$

$F = \int_{2R}^{3R} \frac{kQ\,dq}{dl} =$