Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Фейерверк массой $m = 1$ кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3$ с разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва $K = 1800$ Дж. ~~На землю осколки падают в течение $\tau = 10$ с~~.

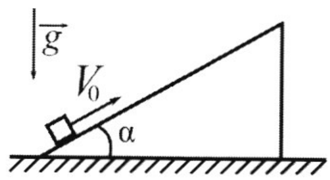
1) На какой высоте H взорвался фейерверк?

2) В течение какого промежутка времени τ осколки будут падать на землю?

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

Через какое време после взрыва первый осколок упадет на землю?

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол α такой, что $\cos\alpha = 0,6$. Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость V_0 (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту $H = 0,2$ м. Масса клина в два раз больше массы шайбы. Ускорение свободного падения g=10 м/с^2.



1) Найдите начальную скорость V_0 шайбы.

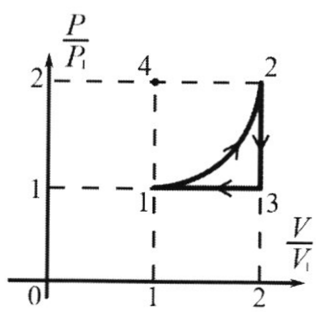
2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) Найдите ускорение a модели.

2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^0$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1$ м. 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 4. Считать заданными давление P_1 и объём V_1.



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

2) Найдите работу A газа за цикл.

3) Найдите КПД η цикла.

5. Заряд Q >0 однородно распределен по сфере радиуса R. В первом опыте на расстоянии $3R$ от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом q >0.

1) Найдите силу F_1, действующую на заряженный шарик.

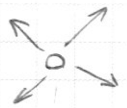
Во втором опыте заряд q однородно распределяют по стержню длины R, стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии $3R$ от центра.

2) Найдите силу F_2, с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1.



Пусть скорости всех осколков по величине равны v.

Тогда кин. энергия кусочка с массой m_i равна $K_i = \frac{m_i v^2}{2}$

Если просуммировать энергию каждого кусочка, получится полная кин. энергия $K = \frac{mv^2}{2}$, откуда $v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}} = 60\,м/с$

Очевидно, первым упадёт осколок, полетевший вертикально вниз, а последним – вертикально вверх. Для первого:

$H = v_0 t_1 + \frac{g t_1^2}{2}$; $t_1 = \frac{\sqrt{v^2 + 2gH} - v}{g}$

Для второго $H + v t_2 - \frac{g t_2^2}{2} = 0$; $t_2 = \frac{v + \sqrt{v^2 + 2gH}}{g}$

Разность времен $\tau = t_2 - t_1 = \frac{2v}{g}$

Фейерверк разрывается в высшей точке траектории, значит если его начальная скорость v_0, то $v_0 - gT = 0$, $v_0 = gT$, и $H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{gT^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2 = 45\,м$

Время падения первого осколка $t_1 = \frac{\sqrt{v^2 + 2gH} - v}{g} = \frac{\sqrt{60^2 + 2 \cdot 10 \cdot 45} - 60}{10} = \frac{\sqrt{4500} - 60}{10}$ с

Если же использовать данные $\tau = \frac{2v}{g}$, то $v = \frac{g\tau}{2} = 50\,м/с$, $t_1 = \frac{\sqrt{3400} - 50}{10}$ с

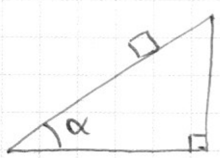
Т.е. если использовать данные K, то $t_1 = (\sqrt{45} - 6)$ с, а если использовать τ, то ответ $t_1 = (\sqrt{34} - 5)$ с. Задача переопределена.

Ответ: $H = 45\,м$; $t_K = (\sqrt{45} - 6)$ с или $t_\tau = (\sqrt{34} - 5)$ с.

(после дополнения выбираем t_K)

$t_K \approx 0{,}7$ с.

№ 2.



Когда шайба поднимается на максимальную высоту, она останавливается относительно клина, и оба они имеют некую горизонтальную скорость v.

ЗСИ в проекции на гориз. ось: $m v_0 \cos\alpha = (m + 2m) v \Rightarrow v = \frac{1}{3} v_0 \cos\alpha$

$H = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{gT^2}{2} = 5 \cdot 3^2 = 5 \cdot 9 = 45$ м

$K = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{3600}{1}} = 10\sqrt{36} = 60$ м/с

С высоты 45 м со скор 60 м/с вниз.

$45 = 60t + \frac{10 \cdot t^2}{2} = 60t + 5t^2$

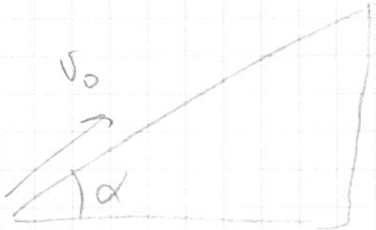
$t^2 + 12t - 9 = 0$

$D = \sqrt{36+9} - 6 = \sqrt{45} - 6 = 3\sqrt{5} - 6 = 3(\sqrt{5} - 2) =$

$\approx 3(2{,}23 - 2) \approx 3 \cdot 0{,}23 \approx 0{,}7$ с

№ 2

$\sqrt{\frac{2}{11}}$ $3{,}5^2 =$



$\sqrt{11} \approx 3{,}5$

$\times \begin{array}{r} 35 \\ 35 \\ \hline 175 \\ 105 \\ \hline 1225 \end{array}$

$mV_0 \cos\alpha = 3mu, \ u = \frac{1}{3} V_0 \cos\alpha = 0{,}2V_0$

$\times \begin{array}{r} 3{,}3 \\ 3{,}3 \\ \hline 99 \\ 99 \\ \hline 10{,}89 \end{array}$

$\frac{mV_0^2}{2} = mgH + \frac{3m \cdot (0{,}2V_0)^2}{2},$

$V_0^2 = 2gH + 3 \cdot (0{,}2V_0)^2 = 2gH + 0{,}04 \cdot 3V_0^2$

$0{,}435 \approx 2{,}15$ м/с

$0{,}88V_0^2 = 2gH; \ 0{,}44V_0^2 = gH$

$\frac{100}{0{,}44}$ $3{,}32$

$V_0^2 = \frac{gH}{0{,}44} = \frac{25}{11}$

$\frac{1{,}41}{3{,}32}$

$V = \frac{5}{\sqrt{11}} gH$

$\frac{141}{332}$

$\times \begin{array}{r} 332 \\ 44 \\ \hline 1328 \\ 1328 \\ \hline 14608 \end{array}$

$\times \begin{array}{r} 332 \\ 4 \\ \hline 1328 \end{array}$

$\frac{2}{0{,}44} = \frac{200}{44} = 2$

282,50

$0{,}4 \ 332 =$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

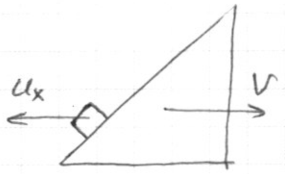
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ЗСЭ: $\frac{mv_0^2}{2} = mgH + \frac{3m\cdot v^2}{2} = mgH + \frac{mv_0^2\cos^2\alpha}{6} \Rightarrow mv_0^2\left(1-\frac{\cos^2\alpha}{3}\right) = 2mgH$,

$v_0^2 = \frac{6gH}{3-\cos^2\alpha} = \frac{6\cdot 10\cdot 0{,}2}{3-0{,}6^2} = \frac{2}{0{,}5-0{,}1\cdot 0{,}6} = \frac{2}{0{,}44} = \frac{200}{44} = \frac{50}{11}$ м²/с²

$v_0 = 5\sqrt{\frac{2}{11}}$ м/с $\approx 2{,}15$ м/с

Рассмотрим, когда шайба вернулась в исходную точку.



Пусть в проекции на горизонтали у шайбы скорость u_x, как показано на рисунке. Из ЗСИ $m(v-u_x) = mv_0\cos\alpha$,

$u_x = v - v_0\cos\alpha$

В системе отсчёта клина гориз. скорость шайбы $u_x + v = 2v - v_0\cos\alpha$

Но она движ. без отрыва, тогда можно найти вертикальную составляющую из условия $\cancel{\frac{u_y}{u_x}}$ $\frac{u_y}{2v-v_0\cos\alpha} = tg\alpha$, $u_y = 2v\,tg\alpha - v_0\sin\alpha$

Нужно найти v_0 для случая равных масс аналогично п.1:

$mv_0\cos\alpha = 2mv$; $\frac{mv_0^2}{2} = mgH + \frac{2mv^2}{2}$

$v = \frac{1}{2}v_0\cos\alpha$; $mv_0^2\left(1-\frac{\cos^2\alpha}{2}\right) = 2mgH$; $v_0^2 = \frac{4gH}{2-\cos^2\alpha} = \frac{4\cdot 10\cdot 0{,}2}{2-0{,}36} = \frac{2}{0{,}5-0{,}09} = \frac{2}{0{,}41} = \ldots$

$= \frac{200}{41}$ м²/с²; $v_{02} = 10\sqrt{\frac{2}{41}}$ м/с

и $u_y = 2v\,tg\alpha - v_{02}\cancel{\cos\alpha}\sin\alpha$

Далее запишем ЗСЭ: $\frac{mv_{02}^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{m(u_x^2+u_y^2)}{2}$

$v_{02}^2 = v^2 + (v - v_{02}\cos\alpha)^2 + (2v\,tg\alpha - v_{02}\overset{\sin}{\cancel{\cos}}\alpha)^2$

$v_{02}^2 = v^2 + v^2 + v_{02}^2\cos^2\alpha - 2v\cdot v_{02}\cos\alpha + 4v^2tg^2\alpha + v_{02}^2\overset{\sin^2\alpha}{\cancel{\cos^2\alpha}} - 4v\cdot v_{02}\,tg\alpha\sin\alpha$

$0 = 2v^2 - 2vv_{02}\cos\alpha - 4vv_{02}\,tg\alpha\sin\alpha + 4v^2tg^2\alpha$

$0 = v^2(1+2tg^2\alpha) - v\cdot v_{02}(\cos\alpha + 2\sin\alpha\,tg\alpha) \Rightarrow v = v_{02}\cos\alpha$

$v = v_{02}\frac{\cos\alpha + 2\sin\alpha\,tg\alpha}{1+2tg^2\alpha} = v_{02}\cdot\frac{0{,}6+2\cdot 0{,}8\cdot 4/3}{1+2\cdot\left(\frac{4}{3}\right)^2} = v_{02}\cdot\frac{0{,}6+\frac{6{,}4}{3}}{1+\frac{32}{9}} = v_{02}\frac{5{,}4+19{,}2}{9+32} = v_{02}\cdot\frac{24{,}6}{41}$

$v = 0{,}6v_{02} = 6\sqrt{\frac{2}{41}}$ м/с

$$\begin{array}{r} 132 \\ \times 132 \\ \hline 264 \\ 396 \\ 132 \\ \hline 17424 \end{array}$$

$mv_0\cos\alpha = mv - mu_x$

$u_x = v - v_0\cos\alpha$

$(2v - v_0\cos\alpha)\,tg\alpha = 2v\,tg\alpha - v_0\sin\alpha = u_y$

$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{m(u_x+u_y)^2}{2}$

$\cancel{v_0^2} = v^2 + v^2 + \cancel{v_0^2\cos^2\alpha} - 2vv_0\cos\alpha + 4v^2tg^2\alpha + \cancel{v_0^2\sin^2\alpha} - 4vv_0\,tg\alpha\sin\alpha$

$2v^2 + 4v^2tg^2\alpha = 2vv_0\cos\alpha(1 + 2tg^2\alpha)$

$2v^2(1+2tg^2\alpha) = 2vv_0\cos\alpha(1+2tg^2\alpha)$

$v = v_0\cos\alpha$

144, 169

$mv_0\cos\alpha = 2mv$, $v = \frac{1}{2}v_0\cos\alpha = 0{,}3v_0$

$$\begin{array}{r} 1{,}32 \\ \times 1{,}32 \\ \hline 264 \\ 264 \\ \hline 2904 \end{array}$$

$\frac{mv_0^2}{2} = mgH + m\cdot 0{,}09v_0^2$

$v_0^2 = 2gH + 0{,}18v_0^2$

$\sim \sqrt{1{,}76}$ м/с

$0{,}82v_0^2 = 2gH$

$v_0^2 = \frac{gH}{0{,}41} = \frac{2}{0{,}41} = \frac{200}{41}$, $v_0 = 10\sqrt{\frac{2}{41}}$; $v = 6\sqrt{\frac{2}{41}}$

$\sqrt{\frac{72}{41}}$

$$\begin{array}{r|l} 72 & 41 \\ -41 & 1{,}76 \\ \hline 310 & \\ -287 & \\ \hline 230 & \end{array}$$

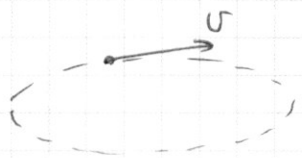
☑ черновик ☐ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__ (Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: $v_0 = 5\sqrt{\frac{2}{11}}$ м/с $\approx 2{,}15$ м/с, $v = 6\sqrt{\frac{2}{41}}$ м/с $\approx 1{,}32$ м/с.

№ 3.



1) Сила, действующая со стороны модели на сферу, равна $2mg$, где m - масса автомобиля.

В проекции на скорость (по касат. к траектории) сила не действует, т.к. в ином случае машина имела бы ускорение в проекции на это направление, а действуют на нее только полная сила реакции и сила тяжести, имеющая нулевую проекцию на это направление.

Тогда полная сила реакции $2mg$ направл. перпендикулярно скорости.

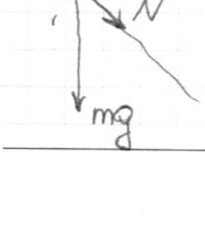
Её вертик. проекция равна силе тяж. mg, тогда горизонтальная

$F_x = \sqrt{(2mg)^2-(mg)^2} = mg\sqrt{3}$ – эта сила обеспечивает ~~у~~ нормальное ускорение, которое совпад. с полным ускорением модели $a = \frac{F_x}{m} = g\sqrt{3} \approx 17{,}3$ м/с^2

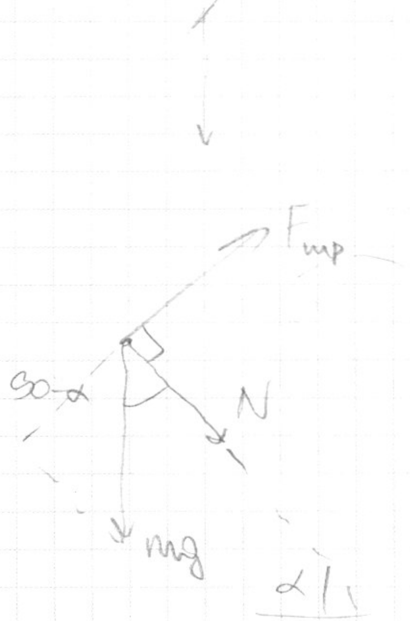
2) ~~В проекции на плоскость движения~~

В этом случае в проекции на скорость сила трения должна компенсировать составляющую силы тяжести $mg\cos\alpha$, тогда проекция силы трения на скорость равна $mg\cos\alpha$.

Сила нормальной реакции направлена к центру окружности, по кот. движется модель. Расставим силы, действ. на нее:



Крайний случай, когда машина может соскользнуть, очевидно, достигается либо в верхней, либо в нижней точке траектории.



$$mg\sin\alpha + N = m\frac{v^2}{R}$$

$$F_{mp} = mg\cos\alpha$$

$$mg\cos\alpha \le \left(m\frac{v^2}{R} - mg\sin\alpha\right)\mu$$

$$\mu\frac{v^2}{R} \ge g(\cos\alpha + \mu\sin\alpha)$$

$$v^2 \ge gR\left(\sin\alpha + \frac{\cos\alpha}{\mu}\right)$$

$$v \ge \sqrt{gR\left(\sin\alpha + \frac{\cos\alpha}{\mu}\right)}$$

$$v_{min} = \sqrt{gR\left(\sin\alpha + \frac{\cos\alpha}{\mu}\right)}$$

$\sqrt{10(}$

$$\sqrt{\frac{10}{\sqrt{2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{0{,}8}\right)}$$

$$\sqrt{\frac{10}{\sqrt{2}} \cdot \frac{9}{4}} = \sqrt{\frac{45}{2\sqrt{2}}} = 3\sqrt{\frac{5}{2\sqrt{2}}} \text{ м/с}$$

$2\sqrt{2} = 2{,}82$

$$\begin{array}{r|l} 50 & 28 \\ \underline{28} & 1{,}8 \\ 220 & \end{array}$$

1,78

1,34

$3 \cdot 1{,}34 \approx 5$ м/с

$$\begin{array}{r|l} 500 & 282 \\ \underline{282} & 1 \\ 2180 & \end{array}$$

$\frac{4}{3}$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

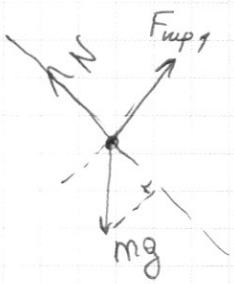
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Для положения вверху: 1) $N + mg\sin\alpha = m\frac{v^2}{R}$

2) $F_{тр1} = mg\cos\alpha$, 3) $F_{тр2} = 0$ (проекции на направление движения в данный момент сила тяжести не имеет); 4) $F_{тр1} \le \mu N$

Тогда $mg\cos\alpha \le \mu m\left(\frac{v^2}{R} - g\sin\alpha\right)$; $\frac{v^2}{R} \ge g\left(\sin\alpha + \frac{\cos\alpha}{\mu}\right)$

Т.е. $v \ge \sqrt{gR(\sin\alpha + \cos\alpha/\mu)}$ – условие того, что модель не отрывается в верхней точке.



Для нижней точки скорость, очевидно, может быть ~~больше~~ меньше, т.к. N здесь больше из-за смены направл. проекции силы тяжести

Тогда $v_{min} = \sqrt{gR\left(\sin\alpha + \frac{\cos\alpha}{\mu}\right)} = \sqrt{10 \cdot 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{0{,}8}\right)} =$
$= \sqrt{10 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{9}{4}} = \sqrt{\frac{45}{2\sqrt{2}}} = 3\sqrt{\frac{5}{2\sqrt{2}}}$ м/с

Ответ: 1) $a = g\sqrt{3}$ ($\approx 17{,}3$ м/с^2); 2) $v_{min} = 3\sqrt{\frac{5}{2\sqrt{2}}}$ м/с ≈ 4 м/с.

№ 4.

Для малого изменения параметров газа $\delta Q = PdV + \frac{i}{2}\nu R dT$

Процесс расширения – участок 1-2. Тогда $Q = A_{12} + \Delta U_{12}$

$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}(4P_1V_1 - P_1V_1) = \frac{9}{2}P_1V_1$ – изменение внутр. энергии газа.

Работу же A можно посчитать так площадь под кривой 12.

Сначала в безразмерных ед.: $\frac{A}{A_0} = 1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 - \frac{\pi \cdot 1 \cdot 1}{4} = 2 - \frac{\pi}{4}$

Тогда $A_{12} = A_0\left(2 - \frac{\pi}{4}\right) = \left(2 - \frac{\pi}{4}\right)P_1V_1$

$Q = A_{12} + \Delta U_{12} = \left(2 + \frac{9}{2} - \frac{\pi}{4}\right)P_1V_1 = \frac{26 - \pi}{4}P_1V_1$

Работа газа за цикл A – площадь внутри графика цикла,

$A = P_1V_1\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$

?

$\frac{4-\pi}{26-\pi} = \frac{0,86}{28,86}$

$\frac{86}{2286}$

86 | 2286
- 0 | 0,037
8600
6858
17420
16002
1418
4

36
40

d

$F_2\, dl -$

$0,14 \cdot 0,25 = 0,03$

$\frac{26-\pi}{4} = 8,5$

$\frac{kQdq}{3R} - \frac{kQdq}{4R} =$

$\frac{kQdq}{12R}$

$6,5 - 0,78$

$5,72$

$1-\frac{\pi}{4} = 1 - 0,75 - 0,037 = 0,25 - 0,04$

$\frac{21}{570}$ -

$F_2\, dl = \frac{kQ}{12R} \cdot dq$

$570 \times 0,038$

$F_2 = \frac{kQq}{12R^2}$

57
× 38
456
171
2166

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

На участке 12 тепло подводилось, на участке 23 отводилось (работа = 0, а внутр. энергия ↓), на участке 31 отводилось (работа < 0, V ↓, и внутр. энергия ↓). Тогда подведённое тепло за цикл $Q_+ = Q$.

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{P_1V_1(1-\pi/4)}{P_1V_1\frac{26-\pi}{4}} = \frac{4-\pi}{26-\pi}$$

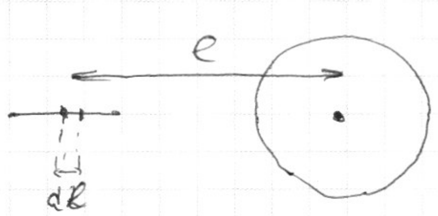
Ответ: $Q = \frac{26-\pi}{4}P_1V_1 \approx 5{,}7P_1V_1$; $A = \left(1-\frac{\pi}{4}\right)P_1V_1 \approx 0{,}21P_1V_1$; $\eta = \frac{4-\pi}{26-\pi} \approx 3{,}8\%$.

№ 5.

Сферически симметричное тело можно рассматривать как точечный заряд, сосред. в центре тела, т.к. заряд находится снаружи сферы. Тогда можно рассмотреть взаимодействие точечных зарядов $Q>0$ и $q>0$, наход. на расстоянии $3R$ друг от друга, и $F_1 = k\frac{Q\cdot q}{(3R)^2} = \frac{kQq}{9R^2}$

При этом заряды отталкиваются, т.к. они одноимённые (оба > 0)

2)



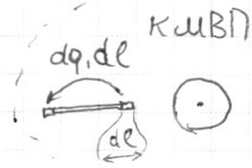
Разобьём стержень на много малых ($dl \ll l$) участков и выберем один из них длиной dl, наход. на расстоянии l от центра сферы.

Сила взаимод. сферы с этим кусочком

$dF = k\frac{Q\cdot dq}{l^2}$, но $dq = \frac{q}{R}\cdot dl$, т.к. стержень заряжен однородно.

$dF = \frac{kQq}{R}\cdot\frac{dl}{l^2}$. Согласно принципу суперпозиции это выражение можно проинтегрировать: $F_2 = \int\limits_{3R}^{4R} dF = \frac{kQq}{R}\int\limits_{3R}^{4R}\frac{dl}{l^2} = \frac{kQq}{R}\int\limits_{3R}^{4R} l^{-2}dl =$

$= \frac{kQq}{R}\cdot\left(\frac{1}{3R}-\frac{1}{4R}\right) = \frac{kQq}{R^2}\cdot\left(\frac{1}{3}-\frac{1}{4}\right) = \frac{kQq}{R^2}\cdot\frac{1}{12}$



Ответ: $F_1 = \frac{kQq}{9R^2}$; $F_2 = \frac{kQq}{12R^2}$. (обе силы отталкивания).

Этот же рез-т можно получить из мет. вирт. перем: $F_2\,dl = E_1 - E_2 = dq\left(\frac{kQ}{3R}-\frac{kQ}{4R}\right)$, $\frac{dq}{dl} = \frac{q}{R}$

(это более красивый способ, чем интегрирование, и о нем стоило упомянуть).

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)