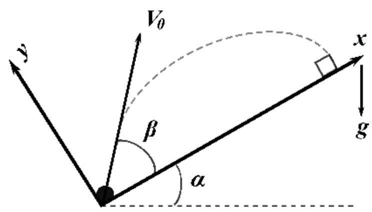
Олимпиада «Физтех». 2019 г. Физика. Билет 10-01



1. Время полёта (*одинаково при выстреле вверх по склону и вниз*):

$t_п = \frac{2V_0 \sin\beta}{g\cos\alpha} = \frac{V_0\cos\beta}{g\sin\alpha} \Rightarrow \frac{\sin\beta}{\cos\beta} = \frac{\cos\alpha}{2\sin\alpha}$ (1)

При выстреле вверх по склону: $S_1 = \frac{V_0^2\cos^2\beta}{2g\sin\alpha}$ (2)

1) При выстреле вниз по склону: $S_2 = \frac{3}{2}\frac{V_0^2\cos^2\beta}{g\sin\alpha} = 3S_1 = 2100$ м.

2) При выстреле вдоль горизонтальной поверхности: $L = \frac{2V_0^2\sin\beta\cos\beta}{g}$ (3),

(1),(2) → (3): $L = 2S_1\cos\alpha$ $\qquad L = \sqrt{3}S_1 \approx 1212$ м

2. ЗСЭ для шайбы: $\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + mgh$; $h = R(1-\cos\alpha) \Rightarrow a_ц = \frac{V^2}{R} = 2g\cos\alpha$

1) $|P| = |N| = m\left(a_ц + g\cos\alpha\right) = 3mg\cos\alpha = \frac{3\sqrt{3}}{2}mg \approx 2{,}6mg$

2) Чаша начнёт скользить при $P\sin\alpha = \mu(3mg + P\cos\alpha) \Rightarrow \mu = \frac{P\sin\alpha}{3mg+P\cos\alpha}$; $\mu = \frac{\cos\alpha\cdot\sin\alpha}{1+\cos^2\alpha} =$

$= \frac{\sqrt{3}}{7} \approx 0{,}25$

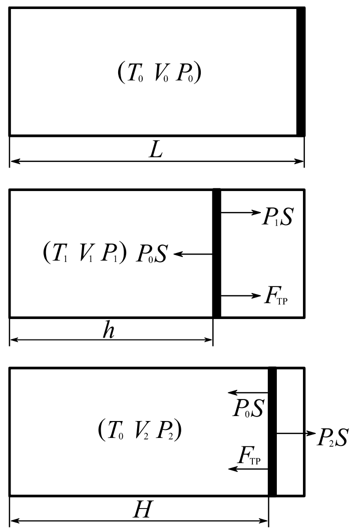
3. После соударения из ЗСИ: $\qquad V_1 = V_0\sin\alpha = \frac{V_0}{2}$ (1)

1) Из (1): $\sin\alpha = \frac{1}{2}$, $\alpha = 30^0$, $\quad d = R$

2) После соударения шайбы разлетаются под прямым углом

$(V_1T)^2 + (2R + TV_2)^2 = S^2$; $\qquad T^2(V_2^2 + V_1^2) + 4RV_2T + 4R^2 - S^2 = 0$

$T = \frac{-4RV_2 + \sqrt{4S^2\left(V_2^2+V_1^2\right) - 16R^2V_1^2}}{2\left(V_2^2+V_1^2\right)}$ $\qquad T = \frac{\sqrt{S^2-R^2} - \sqrt{3}R}{V_0}$.



4. 1) $\begin{cases} P_1\cdot S + F_{тр} = P_0S \\ P_2\cdot S = P_0S + F_{тр}\end{cases} \Rightarrow \quad P_1 + P_2 = 2P_0$ (1)

$\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{P_2V_2}{T_0} \Longrightarrow P_2 = P_0\frac{V_0}{V_2}$ (2)

(2)→ (1) $\frac{P_1}{P_0} = 2 - \frac{V_0}{V_2}$ (3); $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_0V_0}{T_0} \Longrightarrow T_1 = T_0\frac{P_1V_1}{P_0V_0}$ (4)

(3)→ (4) $T_1 = T_0\left(2\frac{h}{L} - \frac{h}{H}\right)$

$T_1 = 300\left(2\frac{0{,}4}{0{,}5} - \frac{0{,}4}{0{,}46}\right) = 219\frac{3}{23} \approx 219K.$

2) $F_{тр} = S(P_2 - P_0) = P_0S\left(\frac{L-H}{H}\right) = \frac{20\cdot10^3}{23} = \frac{20}{23}$кН ≈ 870Н

3) V = const $\ Q_{V_2} = \Delta U = 5hSP_0\left(\frac{L}{H} - 1\right) = \frac{40}{23}$ кДж $\approx 1{,}7$ кДж

5. U = const

1) $U = \frac{5}{2}R\nu T_1 + \frac{5}{2}R\cdot1{,}5\nu\cdot\frac{5}{4}T_1 = \frac{115}{16}\nu RT_1$

$U = 2{,}5\nu C_{V_{см}}\cdot T_2$

$U = 2{,}5\nu\cdot\frac{5}{2}RT_2 = 6{,}25\nu RT_2$; $\qquad T_2 = 1{,}15T_1$

2) $P_2 = \frac{2{,}5\nu RT_2}{V} = 2{,}875\frac{\nu RT_1}{V}$.

Олимпиада «Физтех». 2019 г. Физика. Билет 10-02

1. Из решения задачи 1 билета 10-01:

1) $S_1 = \frac{L}{2\cos\alpha} = 1875$ м;

2) $S_2 = 3S_1 = \frac{3L}{2\cos\alpha} = 5625$ м

2. ЗСЭ для шарика $mgl = mgl(1-\cos\alpha) + \frac{mV^2}{2}$; $\Rightarrow a_ц = \frac{V^2}{l} = 2g\cos\alpha$;

1) $|P| = |T| = m(a_ц + g\cos\alpha) = 3mg\cos\alpha = \frac{3\sqrt{3}}{2}mg \approx 2{,}6mg$

2) Брусок начнёт скользить при $P\cdot\sin\alpha = \mu(Mg + P\cdot\cos\alpha)$; $\Rightarrow \mathrm{M} = 3m\left(\frac{\sin 2\alpha}{2\mu} - \cos^2\alpha\right)$;

$M = 3m\left(\frac{7}{8} - \frac{2}{4}\right) = \frac{9}{8}m \approx 1{,}125m$

3. Из решения задачи 3 варианта 10-01:

$V_0 = \frac{\sqrt{S^2-R^2}-\sqrt{3}R}{T}$.

4. Из решения задачи 4 варианта 10-01:

1) $T_0 = \frac{T_1}{\left(2\frac{h}{L}-\frac{h}{H}\right)} = \frac{T_1}{\left(2\frac{0,6}{1,2}-\frac{0,6}{1}\right)} = 2{,}5T_1 = 750K$;

2) $F_{тр} = P_0S\left(\frac{L-H}{H}\right) = 100\cdot10^3\cdot0{,}1\left(\frac{1,2-1}{1}\right) = 2\cdot10^3H = 2$ кН

V = const; $\mathrm{Q}_{\mathrm{V}_1} = \frac{5}{2}(\mathrm{P}_0 - \mathrm{P}_1)\mathrm{V}_0 = \frac{5}{2}\mathrm{P}_0\mathrm{LS}\left(\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{H}} - 1\right) = \frac{5}{2}\cdot100\cdot10^3\cdot1{,}2\cdot0{,}1\left(\frac{1,2}{1}-1\right) =$

$= 6\cdot10^3 = 6$ кДж

5. U = const

1) $U = \frac{5}{2}R\nu T_1 + \frac{5}{2}R\cdot2\nu\cdot\frac{4}{3}T_1 = \frac{55}{6}\nu RT_1$

$U = 3\nu\cdot\frac{5}{2}RT_2 = \frac{15}{2}\nu RT_2$; $T_2 = \frac{11}{9}T_1$

2) $P_2 = \frac{3\nu RT_2}{V} = \frac{11}{3}\frac{\nu RT_1}{V}$.

Олимпиада «Физтех». 2019 г. Физика. Билет 10-03

1. 1) $H = \frac{(V_0 \sin\alpha)^2}{2g} = 6{,}05$ м

2) t_1- время полета 1-го мяча до стенки $\quad t_1 = \frac{l}{V_0 \cos\alpha} \quad$ (1)

$$h = V_0 \sin\alpha \cdot t_1 - \frac{g t_1^2}{2} = V_0 \sin\alpha \cdot \frac{l}{V_0\cos\alpha} - \frac{g}{2}\frac{l^2}{V_0^2\cos^2\alpha} = l\cdot \mathrm{tg}\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2\cos^2\alpha} = l\cdot\mathrm{tg}\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(1+\mathrm{tg}^2\alpha) \qquad (2)$$

Аналогично для 2-го мяча: $h = l\cdot\mathrm{tg}2\alpha - \frac{gl^2}{2\left(\frac{V_0}{2}\right)^2}(1+\mathrm{tg}^2 2\alpha)$ (3)

Из (2), (3): $l\cdot\mathrm{tg}\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(1+\mathrm{tg}^2\alpha) = l\cdot\mathrm{tg}2\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(4+4\cdot\mathrm{tg}^2\alpha)$

$l = \frac{2V_0^2(\mathrm{tg}2\alpha - \mathrm{tg}\alpha)}{g(3+4\mathrm{tg}^2 2\alpha - \mathrm{tg}^2\alpha)} = \frac{\sqrt{3}}{11}\frac{V_0^2}{g}$ (4); (4)→(2): $h = \frac{9}{121}\frac{V_0^2}{g} = 3{,}6$ м

3) Полное время полета 2-го мяча: $T_2 = \frac{2\left(\frac{V_0}{2}\right)\sin 2\alpha}{g} = \frac{V_0 \sin 2\alpha}{g} = \frac{\sqrt{3}}{2}\frac{V_0}{g}$

Время полета 2-го мяча до стенки: $t_2 = \frac{l}{\frac{V_0}{2}\cos 2\alpha} = \frac{4\sqrt{3}}{11}\frac{V_0}{g}$; $\quad \tau = T_2 - t_2 = \frac{3\sqrt{3}}{22}\frac{V_0}{g} \approx 0{,}52$ с.

2. 1) Рассмотрим движение в системе отсчёта нижней пластины, тогда
$v = \frac{v_1+v_2}{2} - v_2 = \frac{v_1 - v_2}{2} = 0{,}1$ м/с

2) Запишем 2-й закон Ньютона в системе, где центр сферы неподвижен (v'- скорость жука):

$v' = \frac{(v_1+v_2)}{2} = 0{,}5$ м/с; $\quad N - mg\cos\alpha = \frac{mv'^2}{R}$; $N = mg\cos\alpha + \frac{mv'^2}{R}$; $F_{\text{тр}} = mg\sin\alpha$

$$P = \sqrt{N^2 + F_{\text{тр}}^2} = \sqrt{(mg)^2 + \left(\frac{mv'^2}{R}\right)^2 + \frac{2m^2 g v'^2\cos\alpha}{R}}.$$

P_{max} при $\cos\alpha = 1$, т.е. α=0: $P_{max} = mg + \frac{mv'^2}{R} = m\left(g + \frac{v'^2}{R}\right) = 12{,}5\cdot 10^{-3}$ Н.

3. XY – неподвижная система отсчёта. Ось Y в момент удара проходит через центры 1-й и 2-й шайб (от 1-й ко 2-ой), ось X – через точку касания шайб (направо вверх). β – угол между $\vec{v}$ и осью Y.

$\sin\beta = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}$; $\quad \beta$=30^0 $\quad v'_{1x} = v\sin\beta = \frac{v}{2}$

При абсолютно упругом ударе силы взаимодействия действуют вдоль оси Y, поэтому проекции импульсов и скоростней шайб на ось x сохраняются.

Записав ЗСЭ и ЗСИ на ось у можно показать, что $v'_{2y} = v_{1y}$, $v'_{1y} = v_{2y} = -2v\cos\beta$

$$v'_1 = \sqrt{v'^2_{1x} + v'^2_{1y}} = \sqrt{v^2\sin^2\beta + 4v^2\cos^2\beta} = v\sqrt{1+3\cos^2\frac{\pi}{6}} = \frac{\sqrt{13}}{2}v \approx 1{,}8v.$$

$V_1 = v'_1 = \frac{\sqrt{13}}{2}v$ – ответ на 1-й вопрос. $\quad \mathrm{tg}\gamma = \frac{v\sin\beta}{2v\cos\beta} = \frac{1/2}{2\cdot\sqrt{3/2}} = \frac{1}{2\sqrt{3}}$

$\alpha = \pi - \beta - \gamma = \frac{5}{6}\pi - \gamma$, где $\mathrm{tg}\gamma = \frac{1}{2\sqrt{3}}$ - ответ на 2-й вопрос ($\alpha \approx 2{,}33$ рад $\approx 133^0$).

Замечание: задачу можно решить проще, перейдя в С.О., движущуюся со скоростью $\vec{V}$.

Тогда $\alpha = \pi - \delta$, где $\mathrm{tg}\delta = \frac{3\sqrt{3}}{5}$.

4. $(P_{\text{св}} + P_0)S = P_0 S + Mg \Rightarrow P_{\text{св}} = 0{,}5P_0 = 0{,}5\cdot 10^5$Па (1)

$P'_{\text{св}}S = P_0 S + Mg \Rightarrow P'_{\text{св}} = 1{,}5P_0$ (2)

$\left.\begin{array}{l} P'_{\text{св}}Sh = \nu R T_2 \\ P_{\text{св}}SH = \nu R T_1 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{P'_{\text{св}}}{P_{\text{св}}}\frac{h}{H} = \frac{T_2}{T_1}$; $\quad h = \frac{P_{\text{св}}}{P'_{\text{св}}}\frac{T_2}{T_1}H = \frac{0{,}5\cdot 280}{1{,}5\cdot 373}\cdot 20 \approx 5$ см

5. $U_{\text{He}} + U_{N_2} = U'_{\text{He}} + U'_{N_2}$; $\quad \nu C_{V\text{He}}\cdot T_1 + 3\nu C_{VN_2}\cdot\frac{6}{5}T_1 = \nu C_{V\text{He}}\cdot T_2 + 3\nu C_{VN_2}\cdot T_2$

$\left(\frac{3}{2} + 3\cdot\frac{5}{2}\cdot\frac{6}{5}\right)T_1 = \left(\frac{3}{2} + 3\cdot\frac{5}{2}\right)T_2$; $\quad T_2 = \frac{3+18}{3+15}T_1 = \frac{7}{6}T_1$ (1); $\quad P'_{\text{He}} = \frac{\nu R T_2}{V}$; $\quad P'_{N_2} = \frac{3\nu R T_2}{V}$ (2)

$P = P'_{\text{He}} + P'_{N_2} = \frac{4\nu R T_2}{V} = \frac{4\nu R}{V}\cdot\frac{7}{6}T_1 = \frac{14}{3}\frac{\nu R T_1}{V}$.

Олимпиада «Физтех». 2019 г. Физика. Билет 10-04

1. 1) $\tau = \frac{V_0 \sin\alpha}{g} = 0{,}9$ с; 2) t_1- время полета 1-го мяча до стенки $t_1 = \frac{l}{V_0\cos\alpha}$ (1)

$h = V_0\sin\alpha \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = V_0\sin\alpha\cdot\frac{l}{V_0\cos\alpha} - \frac{g}{2}\frac{l^2}{V_0^2\cos^2\alpha} = l\cdot\text{tg}\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2\cos^2\alpha} = l\cdot tg\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(1+\text{tg}^2\alpha)$ (2)

Аналогично для 2-го мяча: $h = l\cdot\text{tg}2\alpha - \frac{gl^2}{2\left(\frac{V_0}{2}\right)^2}(1+\text{tg}^2 2\alpha)$ (3)

Из (2), (3): $l\cdot\text{tg}\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(1+tg^2\alpha) = l\cdot\text{tg}\,2\alpha - \frac{gl^2}{2V_0^2}(4+4\cdot\text{tg}^2\alpha)$

$l = \frac{2V_0^2(\text{tg}2\alpha - \text{tg}\alpha)}{g(3+4\text{tg}^2 2\alpha - \text{tg}^2\alpha)} = \frac{\sqrt{3}}{11}\frac{V_0^2}{g}$ (4); (4)→(2): $h = \frac{9}{121}\frac{V_0^2}{g} = 2{,}4$ м

3) Дальность полёта 2-го мяча без стенки: $l_2 = \frac{\left(\frac{V_0}{2}\right)^2\sin 4\alpha}{g} = \frac{V_0^2\sin 4\alpha}{4g} = \frac{\sqrt{3}V_0^2}{8g}$

$L = l_2 - l = \left(\frac{\sqrt{3}}{8} - \frac{\sqrt{3}}{11}\right)\frac{V_0^2}{g} = \frac{3\sqrt{3}}{88}\frac{V_0^2}{g} \approx 1{,}9$ м.

2. 1) В системе отсчёта, где центр сферы неподвижен, скорость жука
$v' = \frac{v_1+v_2}{2}$, поэтому $T = \frac{2\pi R}{v'} = \frac{4\pi R}{v_1+v_2} \approx 0{,}63$ с

2) запишем 2-й закон Ньютона в системе, где центр сферы неподвижен. Предположим, что сила реакции сферы в верхней точке направлена вниз. $N + mg = \frac{mv'^2}{R}$; $N = \frac{mv'^2}{R} - mg < 0$

$P = |N| = m\left(g - \frac{v'^2}{R}\right) = 0{,}01$ Н (Жук действует на сферу с силой Р, направленной вниз).

3. XY – неподвижная система отсчёта. Ось Y в момент удара проходит через центры 1-й и 2-й шайб (от 1-ой ко 2-ой), ось X – через точку касания шайб (влево вниз).

β – угол между $\vec{v}$ и осью Y. $\sin\alpha = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}$; $\alpha = 30^0$

При абсолютно упругом ударе силы взаимодействия действуют вдоль оси Y, поэтому проекции импульсов и скоростней шайб на ось *x* сохраняются.

Записав ЗСЭ и ЗСИ на ось у можно показать, что $v'_{2y} = v_{1y}$, $v'_{1y} = v_{2y}$ $v'_{2y} = v\cos\alpha$

$v'_2 = \sqrt{v'^2_{2x} + v'^2_{2y}} = \sqrt{4v^2\sin^2\alpha + v^2\cos^2\alpha} = v\sqrt{1+3\sin^2\frac{\pi}{6}} = \frac{\sqrt{7}}{2}v.$

$V_2 = v'_2 = \frac{\sqrt{7}}{2}v$ – ответ на 1-й вопрос.

$\text{tg}\gamma = \frac{v\cos\alpha}{2v\sin\alpha} = \frac{\sqrt{3}/2}{2\cdot\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$; $\beta = \frac{\pi}{3} + \gamma$, где $\text{tg}\gamma = \frac{\sqrt{3}}{2}$ – ответ на 2-ой вопрос;

($\beta \approx 1{,}76$ рад $\approx 100{,}9^0$)

Замечание: задачу можно решить проще, перейдя в С.О., движущуюся со скоростью $\vec{V}$.

4. 1) $P_0SH = \frac{M_{\text{пара}}}{\mu}RT_1 \Longrightarrow M_{\text{пара}} = \frac{\mu P_0SH}{RT_1} = 1{,}4$ г; 2) $(P_{\text{св}} + P_0)S = P_0S + Mg \Longrightarrow P_{\text{св}} = 0{,}3P_0$ (1)

$P'_{\text{св}}S = P_0S + Mg \Rightarrow P'_{\text{св}} = 1{,}3P_0$ (2)

$\left.\begin{array}{l} P'_{\text{св}}Sh = \nu RT_2 \\ P_{\text{св}}SH = \nu RT_1 \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{P'_{\text{св}}}{P_{\text{св}}}\frac{h}{H} = \frac{T_2}{T_1}$; $h = \frac{P_{\text{св}}}{P'_{\text{св}}}\frac{T_2}{T_1}H = \frac{0{,}3\cdot 277}{1{,}3\cdot 373}\cdot 30 \approx 5{,}1$ см

5. $U_{\text{He}} + U_{O_2} = U'_{\text{He}} + U'_{O_2}$; $\nu C_{V\text{He}}\cdot T_1 + 2\nu C_{VO_2}\cdot\frac{4}{5}T_1 = \nu C_{V\text{He}}\cdot T_2 + 2\nu C_{VO_2}\cdot T_2$

$\left(\frac{3}{2} + 2\cdot\frac{5}{2}\cdot\frac{4}{5}\right)T_1 = \left(\frac{3}{2} + 2\cdot\frac{5}{2}\right)T_2$; $T_2 = \frac{3+8}{3+10}T_1 = \frac{11}{13}T_1$ (1)

$P'_{\text{He}} = \frac{\nu RT_2}{V}$; $P'_{O_2} = \frac{2\nu RT_2}{V}$ (2); $P = P'_{\text{He}} + P'_{O_2} = \frac{3\nu RT_2}{V} = \frac{3\nu R}{V}\cdot\frac{11}{13}T_1 = \frac{33}{13}\frac{\nu RT_1}{V}$

Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех». 2019 г.
Билеты 10-01, 10-02.

Задача 1. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит…….…..………..………………………………. 5 очков
   Найдена связь углов α и β…………………………………...…3 очка
2) 2-й вопрос стоит…...…………….…………………….……… 5 очков

Задача 2. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит…..…...………………………………..………. 5 очков
   Правильно записан ЗСЭ ………………………….…………. 2 очка
   Найдено нормальное ускорение…………………………….2 очка
2) 2-й вопрос стоит…...………..…………………………………. 5 очков

Задача 3. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит…..……..……………………………………..6 очков
   Есть понимание, как соблюдается ЗСИ ………………..…. 1 очко
2) 2-й вопрос стоит…..……..………………..………………….. 4 очка
   За $S=V_0T$……………………………………………………….2 очка

Задача 4. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит…….……..……………………………….... 4 очка
2) 2-й вопрос стоит…..…………………………………….....… 4 очка
3) 3-й вопрос стоит…..……………………………………………2 очка

Задача 5. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит………..…..…………………………….…... 6 очков
2) 2-й вопрос стоит………..…..……………………………..…. 4 очка

Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех». 2019 г.
Билеты 10-03, 10-04.

Задача 1. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 4 очка
2) 2-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 3 очка
3) 3-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 3 очка

Задача 2. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 5 очков
2) 2-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 5 очков
   Правильный 2-ой закон Ньютона…………………….....……3 очка
   Ответ на 2-ой вопрос…………………………………………….2 очка

Задача 3. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит……………..…………………………………..6 очков
   Есть все правильные ур-ия для ЗСИ ………………………. 2 очка
   Есть правильный ЗСЭ (или следствие из него)…………….2 очка
   Ответ на 1-й вопрос………………………………………...2 очка
2) 2-й вопрос стоит……………..…………..…………………….. 4 очка

Задача 4. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 5 очков
2) 2-й вопрос стоит ……………………………………………..… 5 очков

Задача 5. (10 очков)

1) 1-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 5 очков
2) 2-й вопрос стоит ……………..……………………………….……… 5 очков