

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-01
Часть 1

1. Пусть V_0 - начальная скорость. Пусть A - точка броска, B - точка максимального подъема, C - точка столкновения. Пусть время $t_{AC} = t_{BC} = \tau$. Тогда $t_{AB} = 2\tau$, $t_{ABC} = 3\tau$.

$$1) H = V_0 \cdot 3\tau - \frac{1}{2}g(3\tau)^2, H = V_0\tau - \frac{1}{2}g\tau^2. \text{ Отсюда } \tau = \sqrt{\frac{2H}{3g}}.$$

$$2) V_0 = g \cdot 2\tau = 2\sqrt{\frac{2}{3}gH}. \quad 3) S = H + 2 \cdot \frac{1}{2}g\tau^2 = \frac{5}{3}H. \quad \text{Задачу можно решить и другими способами.}$$

2. Плотность шара $\rho_0 = 3\rho$, его объем $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, $r = 2R$ - расстояние от центра шара до оси вращения.

$$1) N_1 = \rho_0 Vg - \rho Vg = (\rho_0 - \rho)Vg = \frac{8}{3}\pi R^3 \rho g.$$

2) Горизонтальная составляющая силы Архимеда $F_{A1} = \rho V \cdot \omega^2 r$. Вертикальная составляющая силы Архимеда $F_{A2} = \rho Vg$. На шар действуют еще сила давления N_2 со стороны дна, сила Q со стороны стенки и сила тяжести, равная $\rho_0 Vg$. По второму закону Ньютона для шара в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси $F_{A1} + Q \sin \alpha = \rho_0 V \cdot \omega^2 r$, $F_{A2} + N_2 - \rho_0 Vg - Q \cos \alpha = 0$. Отсюда, с

учетом выражений для ρ_0 , V и r , находим $N_2 = (\rho_0 - \rho)V \left(\frac{\omega^2 r}{\tan \alpha} + g \right) = \frac{8}{3}\pi R^3 \rho (\omega^2 R + g)$.

3. Обозначим $T = 354 \text{ К}$, $P_H = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, V_1 - начальный объем.

$$1) \text{ При сжатии часть пара превратится в воду и пар станет насыщенным. } P_1 = \frac{P_H}{1,8} \approx 0,28 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$2) P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT. \quad V_1 = \frac{m}{\mu} \frac{RT \cdot 1,8}{P_H}. \quad \text{Конечный объем } V_2 = \frac{V_1}{3,5} = \frac{m}{\mu} \frac{RT \cdot 1,8}{P_H \cdot 3,5} \approx 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 5,0 \text{ л.}$$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-01
Часть 2

$$4. 1) \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1}{2}(g \sin \alpha)t_1^2. \quad \text{Тогда } t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g \sin^2 \alpha}} = \frac{5}{3}\sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

2) Пусть $M = 3m$ - масса клина, a - ускорение клина, a_0 - ускорение шайбы относительно клина, N - сила нормальной реакции клина на шайбу. Ускорение шайбы равно сумме переносного (ускорения клина) и относительного ускорений. Уравнение движения для клина в проекциях на горизонтальную ось $F - N \sin \alpha = Ma$. Уравнение движения для шайбы в проекциях на нормаль к поверхности клина

$$N - mg \cos \alpha = ma \sin \alpha. \quad \text{Отсюда } a = \frac{F - mg \cos \alpha \sin \alpha}{M + m \sin^2 \alpha} = \frac{19}{42}g.$$

$$3) \text{ Уравнение движения для шайбы в проекциях на ось вдоль поверхности клина } mg \sin \alpha = m(a_0 + a \cos \alpha). \quad \text{Тогда } a_0 = g \sin \alpha - a \cos \alpha = \frac{5}{21}g. \quad \text{Относительно клина } \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1}{2}a_0 t_2^2.$$

$$\text{Отсюда } t_2 = \sqrt{\frac{2H}{a_0 \sin \alpha}} = \sqrt{\frac{14H}{g}}.$$

$$5. 1) PV = \nu RT, (P + \Delta P)(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T). \quad \text{Отсюда } \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta T}{T}. \quad \text{У нас}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = 0,02, \quad \frac{\Delta V}{V} = -0,01. \quad \text{Тогда } \frac{\Delta T}{T} = 0,01, \quad \text{температура увеличилась на 1\%.}$$

$$2) \Delta Q = \Delta U + \Delta A. \quad \Delta U = \nu \frac{3}{2} R \Delta T, \quad \Delta A = P \Delta V. \quad \text{Тогда } \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta P / P}{\Delta V / V} + 1 \right) + 1 = -\frac{1}{2}.$$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-02
Часть 1

1. Пусть A – точка броска, B – точка максимального подъема, C – точка столкновения. Пусть время $t_{AC} = t_{BC} = \tau$. Тогда $t_{AB} = 2\tau$, $t_{ABC} = 3\tau$.

$$1) V_0 = g \cdot 2\tau, \quad \tau = \frac{V_0}{2g}, \quad t = 3\tau = \frac{3V_0}{2g}.$$

$$2) x = \frac{3\tau}{\tau} = 3. \quad 3) H = V_0\tau - \frac{1}{2}g\tau^2 = \frac{3}{8} \frac{V_0^2}{g}. \quad \text{Задачу можно решить и другими способами.}$$

2. Плотность шара $\rho_0 = 6\rho$, его объем $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, $r = \frac{3}{2}R$ – расстояние от центра шара до оси вращения.

$$1) N_1 = \rho_0 Vg - \rho Vg = (\rho_0 - \rho)Vg = \frac{20}{3}\pi R^3 \rho g.$$

2) Горизонтальная составляющая силы Архимеда $F_{A1} = \rho V \cdot \omega^2 r$. Вертикальная составляющая силы Архимеда $F_{A2} = \rho Vg$. На шар действуют еще сила давления N_2 со стороны дна, сила Q со стороны стенки и сила тяжести, равная $\rho_0 Vg$. По второму закону Ньютона для шара в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси $F_{A1} + Q \sin \alpha = \rho_0 V \cdot \omega^2 r$, $F_{A2} + N_2 - \rho_0 Vg - Q \cos \alpha = 0$. Отсюда, с

учетом выражений для ρ_0 , V и r , находим $N_2 = (\rho_0 - \rho)V \left(\frac{\omega^2 r}{\operatorname{tg} \alpha} + g \right) = \frac{20}{3}\pi R^3 \rho (\omega^2 R + g)$.

3. Обозначим $T = 354$ К, $P_H = 0,5 \cdot 10^5$ Па, V_1 – начальный объем, V_2 – конечный объем.

$$1) \text{ При сжатии часть пара превратится в воду и пар станет насыщенным. } P_1 = \frac{P_H}{3,6} \approx 0,14 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$2) P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT. \quad V_1 = 7V_2. \quad \text{Начальная масса пара } m = \frac{P_H \mu V_2}{RT} \cdot \frac{7}{3,6} \approx 10^{-3} \text{ кг} = 1 \text{ г.}$$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-02
Часть 2

$$4. 1) \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1}{2}(g \sin \alpha)t_1^2. \quad \text{Тогда } t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g \sin^2 \alpha}} = \frac{5}{4} \sqrt{\frac{2H}{g}}.$$

2) Пусть $M = 2m$ – масса клина, a – ускорение клина, a_0 – ускорение шайбы относительно клина, N – сила нормальной реакции клина на шайбу. Ускорение шайбы равно сумме переносного (ускорения клина) и относительного ускорений. Уравнение движения для клина в проекциях на горизонтальную ось $F - N \sin \alpha = Ma$. Уравнение движения для шайбы в проекциях на нормаль к поверхности клина

$$N - mg \cos \alpha = ma \sin \alpha. \quad \text{Отсюда } a = \frac{F - mg \cos \alpha \sin \alpha}{M + m \sin^2 \alpha} = \frac{13}{66} g.$$

$$3) \text{ Уравнение движения для шайбы в проекциях на ось вдоль поверхности клина } mg \sin \alpha = m(a_0 + a \cos \alpha). \quad \text{Тогда } a_0 = g \sin \alpha - a \cos \alpha = \frac{15}{22} g. \quad \text{Относительно клина } \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1}{2} a_0 t_2^2.$$

$$\text{Отсюда } t_2 = \sqrt{\frac{2H}{a_0 \sin \alpha}} = \sqrt{\frac{11H}{3g}}.$$

$$5. 1) PV = \nu RT, \quad (P + \Delta P)(V + \Delta V) = \nu R(T + \Delta T). \quad \text{Отсюда } \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta V}{V} \approx \frac{\Delta T}{T}. \quad \text{У нас}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = -0,01, \quad \frac{\Delta V}{V} = 0,02. \quad \text{Тогда } \frac{\Delta T}{T} = 0,01, \quad \text{температура увеличилась на } 1\%.$$

$$2) \Delta Q = \Delta U + \Delta A. \quad \Delta U = \nu \frac{3}{2} R \Delta T, \quad \Delta A = P \Delta V. \quad \text{Тогда } \frac{\Delta Q}{\Delta U} = 1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta V / V}{\Delta P / P + \Delta V / V} = \frac{7}{3}.$$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-03

Часть 1

1.1) $V_0 = \sqrt{\frac{gS}{\sin 2\alpha}} \approx 14 \text{ м/с.}$

2) В высшей точке траектории $a_n = g = \frac{(V_0 \cos \alpha)^2}{R}$. Ускорение модели в этой точке сонаправлено с ускорением свободного падения и равно по величине $\tilde{a}_n = \frac{V_0^2}{16R} = g \frac{1}{(4 \cos \alpha)^2} = 0,25g$, следовательно, $\vec{F} \uparrow \downarrow m\vec{g}$. По второму закону Ньютона $m\tilde{a}_n = mg - F$, отсюда $F = m(g - \tilde{a}_n) = 1,0 \cdot (10,0 - 2,5) = 7,5 \text{ Н.}$

2.1) В процессе торможения величина ускорения $a = g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) \approx 2 \text{ м/с}^2$.

Далее $\frac{h}{\sin \alpha} = 0,5aT^2$, $T = \sqrt{\frac{2h}{\sin \alpha \cdot g \cdot (\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha)}} = 2 \text{ с.}$

2) Из равенства $V_{MAX}^2 = 2g(\sin \alpha - \mu_2 \cos \alpha) \frac{H-h}{\sin \alpha} = 2g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) \frac{h}{\sin \alpha}$

$$H = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\text{tg} \alpha - \mu_2} h = 3 \text{ м.}$$

3. 1) $N = mg \frac{R}{\sqrt{l(l+2R)}} \approx 2,1 \text{ Н.}$

2) В задаче рассматривается конический маятник во вращающейся жидкости. В этом случае наряду с силами: \vec{T} - натяжения и $m\vec{g}$ - тяжести, на шарик действует \vec{F}_A - сила Архимеда. Центр масс шарика движется в горизонтальной плоскости по окружности радиуса $(l+R)\sin \alpha$ с круговой частотой ω .

По второму закону Ньютона $m\vec{a} = \vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_A$. Переход к проекциям сил и ускорения на вертикальную ось и на радиальное направление приводит к двум соотношениям:

$$mg = \rho_B Vg + T \cos \alpha, \quad m\omega^2(l+R)\sin \alpha = \rho_B V\omega^2(l+R)\sin \alpha + T \sin \alpha,$$

исключив T из которых, находим: $\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2(l+R)} = \frac{10}{10^2 \cdot 0,2} = 0,5$, $\alpha = \frac{\pi}{3}$ рад.

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-03

Часть 2

4. 1) $Q_1 = mc(t - t_0) \approx 2300 \text{ Дж.}$

2) $q_{исп} = m \cdot r = 12430 \text{ Дж.}$

Плотность насыщенного водяного пара при $t = 100^\circ \text{C}$ $\rho = \frac{\mu P}{RT} = 0,58 \text{ кг/м}^3$.

Пар занимает объем $V = \frac{m}{\rho} \approx 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, поршень в процессе испарения поднялся на

$$\Delta h_1 = \frac{V}{S} \approx 0,19 \text{ м.}$$

Далее в изобарном процессе

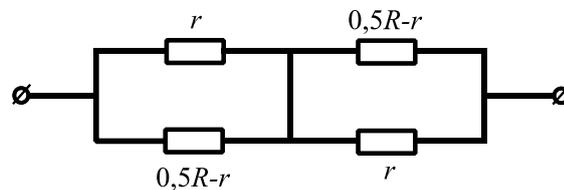
$$q_2 = mc_p \Delta T = Q_2 - r \cdot m = 17430 - 12430 = 5000 \text{ Дж.}$$

С учетом уравнений состояния получаем $PS\Delta h_2 = \frac{m}{\mu} R\Delta T = \frac{R}{\mu c_p} q_2$.

$$\text{Отсюда } \Delta h_2 = \frac{R}{PS\mu c_p} q_2 \approx 0,21 \text{ м.}$$

Поршень переместится на $H = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,4 \text{ м.}$

5. 1) Электрическая схема цепи представлена на следующем рисунке



При $r = \frac{R}{12}$ эквивалентное сопротивление цепи $\frac{5}{36} R$.

В этом случае на кольце рассеивается мощность $P = \frac{36 U^2}{5 R} = 10,8 \text{ Вт.}$

2) Для ответа на второй вопрос задачи вычислим ток через переключку при произвольном положении переключки

$$I = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{\tilde{r}} - \frac{1}{0,5R - \tilde{r}} \right).$$

Подстановка численных значений: $I = \frac{2}{3} \text{ А}$, $U = 6 \text{ В}$, $R = 24 \text{ Ом}$, приводит к

квадратному уравнению

$$\tilde{r}^2 - 21\tilde{r} + 54 = 0,$$

решение которого $\tilde{r} = \frac{R}{8} = 3 \text{ Ом}$. Отсюда $n = \frac{0,5R - \tilde{r}}{\tilde{r}} = \frac{12 - 3}{3} = 3$.

3) В этом случае эквивалентное сопротивление цепи

$$2 \cdot \frac{(0,5R - \tilde{r})\tilde{r}}{0,5R} = \frac{3}{16} R$$

Мощность, рассеиваемая в цепи, равна $P_2 = \frac{16 U^2}{3 R} = 8 \text{ Вт.}$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-04

Часть 1

1. 1) $V_0 = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{2gH} = 20 \text{ м/с.}$

2) В малой окрестности высшей точки полета камня

$$g = \frac{(V_0 \cos \alpha)^2}{R}, \quad 0,5g = \frac{V^2}{R}.$$

$$V = \frac{V_0 \cos \alpha}{\sqrt{2}} = \frac{V_0}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ м/с.}$$

2.1) В процессе торможения величина ускорения

$$a = g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) = 2 \text{ м/с}^2.$$

Далее $V_{MAX}^2 = 2a \frac{h}{\sin \alpha}$, $V_{MAX} = 4,5 \text{ м/с.}$

2) $S = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sin \alpha (\text{tg} \alpha - \mu_2)} h = \frac{0,50 - 0,06}{0,28 \left(\frac{7}{24} - 0,06 \right)} \cdot 1,4 \approx 9,5 \text{ м.}$

3. 1) $F = \frac{mg}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{l+R} \right)^2}} = 2 \frac{mg}{\sqrt{3}} \approx 60 \text{ Н.}$

2) $T = 2\pi \sqrt{\frac{(l+R) \cos \alpha}{g}} \approx 0,56 \text{ с.}$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-04

Часть 2

4. 1) $Q_1 = mc(t - t_0) = 3344 \text{ Дж.}$

В процессе испарения подведено $Q_2 = mr = 22600 \text{ Дж.}$

К моменту полного испарения подведено $Q_1 + Q_2 = mc(t - t_0) + mr = 25944 \text{ Дж.}$

Пар занимает объем $V = \frac{m}{\rho} \approx 17,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$

Далее в изобарном процессе

$$Q_p = mc_p \Delta T = Q - (Q_1 + Q_2) = 33000 - 25944 = 7056 \text{ Дж.}$$

С учетом уравнений состояния в этом процессе

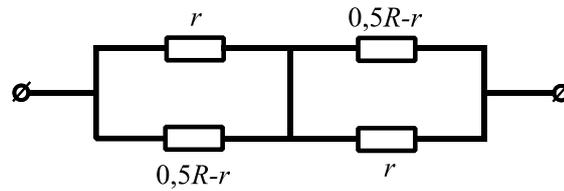
$$P_0 \Delta V_2 = \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{R}{\mu c_p} Q_p$$

приходим к ответу $\Delta V_2 = \frac{R}{P_0 \mu c_p} Q_p \approx 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$

Объем системы в конечном состоянии

$$V = \frac{m}{\rho} + \frac{R}{P_0 \mu c_p} q_2 = (17,2 + 14,8) \cdot 10^{-3} \approx 32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

5. 1) Электрическая схема цепи представлена на следующем рисунке



При $r = \frac{R}{4}$ эквивалентное сопротивление цепи $\frac{R}{4}$.

В этом случае на кольце рассеивается мощность $P = 4 \frac{U^2}{R} = 32 \text{ Вт}$.

2) Для ответа на второй вопрос задачи вычислим ток через перемычку при произвольном ее положении

$$I = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{\tilde{r}} - \frac{1}{0,5R - \tilde{r}} \right).$$

Подстановка численных значений: $I = 0,5 \text{ А}$, $U = 24 \text{ В}$, $R = 72 \text{ Ом}$, приводит к квадратному уравнению

$$\tilde{r}^2 - 84\tilde{r} + 864 = 0,$$

решение которого $\tilde{r} = \frac{R}{6} = 12 \text{ Ом}$. Отсюда

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \pi \frac{\tilde{r}}{0,5R} = \frac{\pi}{2} - \pi \frac{12}{36} = \frac{\pi}{6}.$$

3) В этом случае эквивалентное сопротивление цепи

$$2 \cdot \frac{(0,5R - \tilde{r})\tilde{r}}{0,5R} = \frac{2}{9} R.$$

Мощность сил в источнике $P_2 = \frac{9 U^2}{2 R} = 36 \text{ Вт}$.

Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех» 2021 г.

Варианты 10-01, 10-02

Задача 1 (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 4 балла
- 2) Ответ на 2-й вопрос 3 балла
- 3) Ответ на 3-й вопрос 3 балла

Задача 2 (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 3 балла
- 2) Правильные составляющие силы Архимеда 2 балла
 - Есть все необходимые ур-я 2 балла
 - Ответ на 2-й вопрос 3 балла
 - Решение с учетом гор-й составл-й силы Архимеда 1 балл

Задача 3 (10 баллов)

- 1) Правильный аналитический ответ на 1-й вопрос 2 балла
 - Правильный численный ответ на 1-й вопрос 1 балл
- 2) Правильный аналитический ответ на 2-й вопрос 6 баллов
 - Правильный численный ответ на 2-й вопрос 1 балл

Задача 4 (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 3 балла
- 2) Есть все необходимые ур-я 2 балла
 - Ответ на 2-й вопрос 2 балла
- 3) Правильная связь t и относит. ускорения 1 балл
 - Найдено относительное ускорение 1 балл
 - Ответ на 3-й вопрос 1 балл

Задача 5 (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 5 баллов
- 2) Ответ на 2-й вопрос 5 баллов

Критерии оценивания. Олимпиада «Физтех» 2021 г.

Варианты 10-03, 10-04

Задача 1. (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 4 баллов
- 2) Ответ на 2-й вопрос..... 6 баллов

Задача 2. (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 5 баллов
- 2) Ответ на 2-й вопрос..... 5 баллов

Задача 3. (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 4 балла
- 2) Ответ на 2-й вопрос..... .6 баллов

Задача 4. (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 4 балла
- 2) Ответ на 2-й вопрос..... 6 баллов

Задача 5. (10 баллов)

- 1) Ответ на 1-й вопрос 3 балла
- 2) Ответ на 2-й вопрос..... .4 балла
- 3) Ответ на 3-й вопрос3 балла