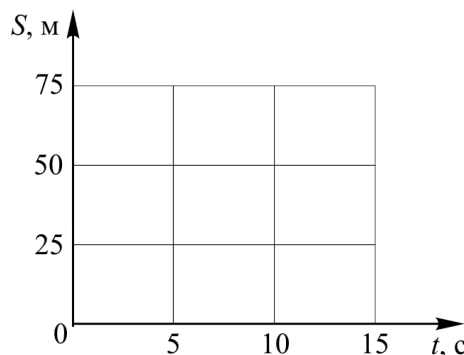


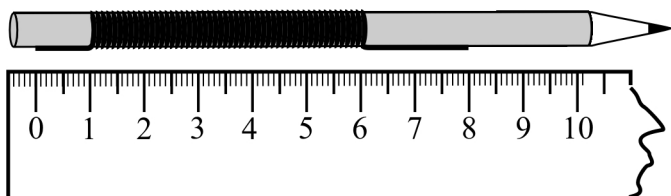
**Первый (школьный) этап**  
**Всероссийской олимпиады школьников по физике**  
**Типовой вариант**  
**7 класс**

1. 14 ноября 1889 года журналистка Нелли Блай отправилась налегке в кругосветное путешествие по маршруту: Нью-Йорк–Лондон–Париж–Бриндизи–Суэц–Цейлон–Сингапур–Гонконг–Йокогама–Сан-Франциско–Нью-Йорк с целью повторить рекорд Филеаса Фогга. Она финишировала в Нью-Йорке, преодолев 24899 мили (1 миля = 1,6 км) перемещаясь со средней скоростью 6,38128 м/с. Определите время ее путешествия, которое было зафиксировано в редакции газеты (с точностью до секунды).

2. Гном Гимли, подкравшись со спины к эльфу Леголасу, хлопнул его по плечу и бросился бежать со скоростью 5 м/с. Леголас выждал 5 секунд и побежал за ним со скоростью 7,5 м/с. Постройте графики зависимости пути Гимли и Леголаса от времени. Сколько продлится погоня?



3. На карандаш радиусом  $R = 3,5$  мм плотно намотано  $N = 50$  витков голой медной проволоки круглого сечения. При этом с двух сторон остались небольшие прямые отрезки проволоки. Какова масса этого куска проволоки? Плотность меди  $\rho_{\text{меди}} = 9000$  кг/м<sup>3</sup>.



4. На рисунке дана характеристика писчей бумаги «Снегурочка», которую можно обнаружить на ее упаковке. Определите массу не распакованной пачки этой бумаги. Массой упаковки можно пренебречь.

А4
210×297 мм
500 листов
80 г/м <sup>2</sup>

5. В произведении А.С.Пушкина «Сказка о царе Салтане» встречаются строчки:

«А орешки не простые –  
 Все скорлупки золотые,  
 Ядра – чистый изумруд...»

Допустим, что ядро каждого орешка представляет собой шарик радиусом  $R = 1$  см, а толщина его скорлупки  $h = 1$  мм. Плотность золота  $\rho_2 = 19300$  кг/м<sup>3</sup>, масса орешка 38 г. Пользуясь этими данными, определите, чему равна плотность изумруда  $\rho_1$ . Объем  $V$  шара радиусом  $R$  вычисляется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

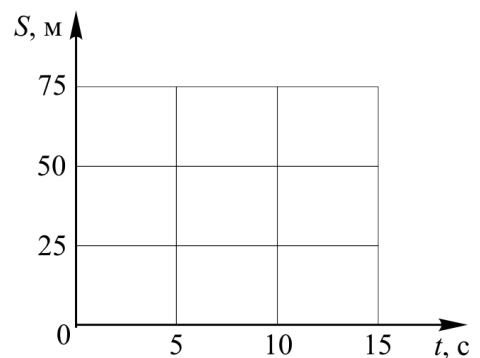
**Первый (школьный) этап**  
**Всероссийской олимпиады школьников по физике**  
**Типовой вариант**  
**7 класс (условия с решениями)**

**1.** 14 ноября 1889 года журналистка Нелли Блай отправилась налегке в кругосветное путешествие по маршруту: Нью-Йорк–Лондон–Париж–Бриндизи–Суэц–Цейлон–Сингапур–Гонконг–Йокогама–Сан-Франциско–Нью-Йорк с целью повторить рекорд Филеаса Фогга. Она финишировала в Нью-Йорке, преодолев 24899 мили (1 миля = 1,6 км) перемещаясь со средней скоростью 6,38128 м/с. Определите время ее путешествия, которое было зафиксировано в редакции газеты (с точностью до секунды).

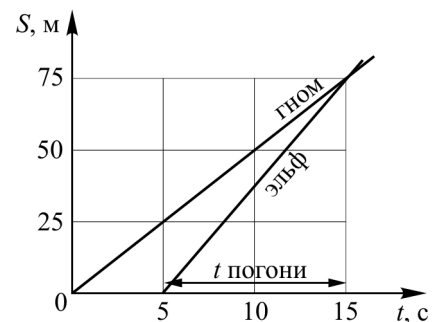
**Решение.** Расстояние в 24899 мили = 39838400 м, двигаясь со скоростью 6,38128 м/с, можно преодолеть за 6243011 секунд, что составляет 72 дня 6 часов 10 минут 11 секунд.

**Ответ:** 72 дня 6 часов 10 минут 11 секунд.

**2.** Гном Гимли, подкравшись со спины к эльфу Леголасу, хлопнул его по плечу и бросился бежать со скоростью 5 м/с. Леголас выждал 5 секунд и побежал за ним со скоростью 7,5 м/с. Постройте графики зависимости пути Гимли и Леголаса от времени. Сколько продлится погоня?



**Решение.** Принимая за начало координат точку нахождения гнома в момент хлопка эльфа по плечу, получаем, что зависимость пути гнома от времени имеет вид  $S_G = v_G t$ , так как  $S_{0G} = 0$ . Через  $t = 5$  с после начала движения гном пробежит  $S_{1G} = v_G t = 5 \cdot 5 = 25$  м. Начиная с этого момента зависимости путей гнома и эльфа от времени имеют вид:  $S_G = S_{1G} + v_G t$  и  $S_{\text{Э}} = v_{\text{Э}} t$ . Здесь учтено, что  $S_{0\text{Э}} = 0$ . Из равенства их путей в момент встречи получаем  $S_{1G} + v_G t = v_{\text{Э}} t$ , откуда следует, что время, которое

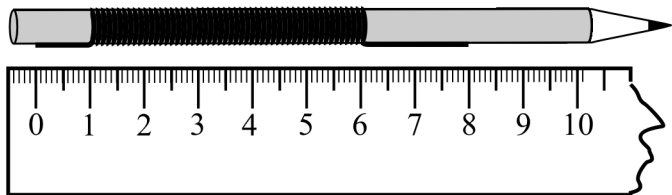


потребовалось Леголасу, чтобы догнать Гимли, равно  $t = \frac{S_{1G}}{(v_{\text{Э}} - v_G)} = \frac{v_G t_1}{(v_{\text{Э}} - v_G)} = \frac{5 \cdot 5}{7,5 - 5} = 10$  с.

Графическое решение приведено на рисунке.

**Ответ:** погоня продлится 10 с.

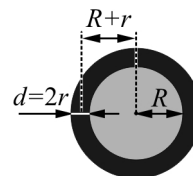
3. На карандаш радиусом  $R = 3,5$  мм плотно намотано  $N = 50$  витков голой медной проволоки круглого сечения. При этом с двух сторон остались небольшие прямые отрезки проволоки. Какова масса этого куска проволоки? Плотность меди  $\rho_{\text{меди}} = 9000$  кг/м<sup>3</sup>.



**Решение.** Масса проволоки равна  $m = \rho_{\text{меди}} \cdot V$ . Определим объем проволоки. Так как по условию задачи проволока имеет круглое сечение, то ее объем определяется как объем цилиндра  $V = \pi r^2 \cdot L$ , где  $r$  – радиус проволоки, а  $L$  – ее длина. Как видно из рисунка в условии задачи, на длине  $\ell = 5$  см укладывается  $N = 50$  плотно намотанных витков проволоки. Следовательно, толщина одного витка равна  $d = \frac{\ell}{N} = 0,1$  см = 0,001 м, а радиус

проволоки равен  $r = d/2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\ell}{N} = 0,05$  см = 0,0005 м.

Длина проволоки  $L$  определяется из суммы трех слагаемых: длины 50 витков  $L_1$  и длин прямолинейных участков  $L_2 = 1$  см = 0,01 м и  $L_3 = 2$  см = 0,02 м. Определим длину одного витка проволоки (см. рисунок):



$$l_1 = 2\pi(R + r) = 2\pi\left(R + \frac{1}{2} \cdot \frac{\ell}{N}\right) = 2 \cdot 3,14 \cdot \left(0,0035 + \frac{1}{2} \cdot \frac{0,05}{50}\right) = 2,512 \text{ см} = 0,02512$$

м. Тогда длина 50 витков равна  $L_1 = 50 \cdot l_1 = 50 \cdot 0,02198 = 1,256$  м.

$$\text{Объем проволоки } V = \pi r^2 \cdot (L_1 + L_2 + L_3) = 3,14 \cdot 0,0005^2 \cdot (1,256 + 0,01 + 0,02) \approx 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Подставляя числовые данные условия задачи в единицах СИ в формулу  $m = \rho_{\text{меди}} \cdot V$ , находим  $m = 9000 \cdot 1,01 \cdot 10^{-6} \approx 0,00909$  кг  $\approx 9,1$  г.

**Ответ:** 9,1 г.

4. На рисунке дана характеристика писчей бумаги «Снегурочка», которую можно обнаружить на ее упаковке. Определите массу не распакованной пачки этой бумаги. Массой упаковки можно пренебречь.

<b>A4</b>
<b>210×297 мм</b>
<b>500 листов</b>
<b>80 г/м<sup>2</sup></b>

**Решение.** Из характеристики бумаги следует, что 1 м<sup>2</sup> такой бумаги имеет массу 80 г. Тогда один лист площадью  $S = 0,21 \cdot 0,297 = 0,06237$  м<sup>2</sup> имеет массу  $m = 80 \cdot 0,06237 = 4,9896$  г. Следовательно, пачка бумаги из 500 листов имеет массу  $M = 500 \cdot m = 500 \cdot 4,9896 = 2494,8$  г = 2,4948 кг  $\approx 2,5$  кг.

**Ответ:** 2,4948 кг  $\approx 2,5$  кг.

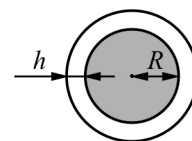
5. В произведении А.С.Пушкина «Сказка о царе Салтане» встречаются строчки:

«А орешки не простые –  
Все скорлупки золотые,  
Ядра – чистый изумруд...»

Допустим, что ядро каждого орешка представляет собой шарик радиусом  $R = 1$  см, а толщина его скорлупки  $h = 1$  мм. Плотность золота  $\rho_2 = 19300$  кг/м<sup>3</sup>, масса орешка 38 г. Пользуясь этими данными, определите, чему равна плотность изумруда  $\rho_1$ . Объем  $V$  шара радиусом  $R$  вычисляется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

**Решение.** Масса орешка  $M$  равна сумме массы изумрудного ядрышка  $m_1$  и массы золота скорлупки  $m_2$ , т.е.  $M = m_1 + m_2$ .

Масса изумрудного ядрышка равна  $m_1 = \rho_1 \cdot V_1$ , где  $\rho_1$  – плотность изумруда,  $V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 = 4,1888 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> – объем круглого ядрышка, а  $R$  – его радиус.



Масса золотой скорлупки равна  $m_2 = \rho_2 \cdot V_2$ , где  $\rho_2$  – плотность золота,  $V_2 = \frac{4}{3}\pi(R+h)^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 \approx 1,3865 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> – объем сферической оболочки скорлупки, а  $h$  – ее толщина (см. рисунок). Отсюда  $m_2 = \rho_2 \cdot V_2 = 19300 \cdot 1,3865 \cdot 10^{-6} \approx 0,02676$  кг.

Поэтому масса орешка равна  $M = m_1 + m_2 = \rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2$ , а искомая величина плотности изумруда составляет  $\rho_1 = \frac{M - m_2}{V_1} = \frac{0,038 - 0,02676}{4,1888 \cdot 10^{-6}} \approx 2683$  кг/м<sup>3</sup>.

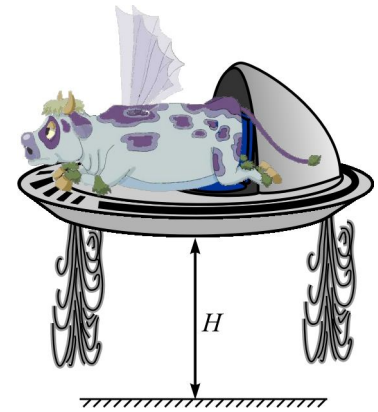
**Ответ:** 2683 кг/м<sup>3</sup>.

**Первый (школьный) этап**  
**Всероссийской олимпиады школьников по физике**  
**Типовой вариант**  
**8 класс**

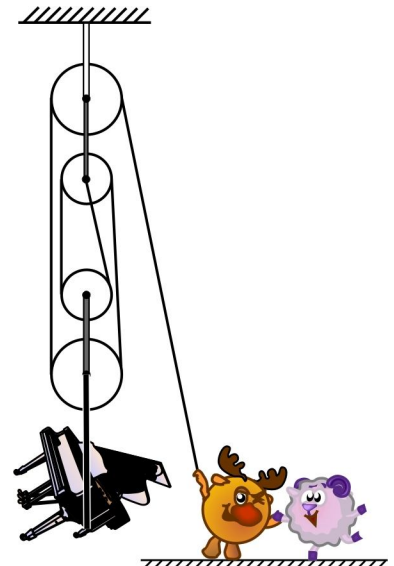
1. Яхта «Беда» плыла по неподвижной поверхности океана со скоростью 1 м/с. Матрос Фукс, не выдержав зноя, прыгнул с кормы в воду и поплыл от яхты против направления ее движения со скоростью 0,5 м/с. Через 12 секунд происшествие заметил старший помощник Лом, прыгнул в воду и погнался за Фуксом со скоростью 3,5 м/с. Догнав Фукса, он схватил его и тут же поплыл обратно к яхте со скоростью 2 м/с (все скорости даны относительно воды). Догнав яхту, Лом с Фуксом моментально вскарабкался на корму. Определите время нахождения Фукса в воде.

2. На очень точных пружинных весах взвешивают 1 кг свинца и 1 кг пробки. При этом обнаружилась разность показаний весов  $\Delta P = 49,44$  мН. Используя эти данные, определите плотность воздуха. Плотность свинца  $\rho_1 = 11300$  кг/м<sup>3</sup>, плотность пробки  $\rho_2 = 250$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ округлите до четвертого знака после запятой.

3. На планете Блук на космический катер профессора Селезнева мощностью 3 000 000 Вт по желанию Алисы загрузили склисса массой 500 кг (склисс с планеты Шешинеру отличается от коровы наличием крыльев). При этом профессор Селезнев, включив двигатели своего катера на  $\eta = 10\%$  мощности, равномерно поднялся на высоту  $H = 100$  м за время  $t = 5$  секунд. Какова масса космического катера с экипажем без склисса? Ускорение свободного падения на этой планете  $g = 5$  м/с<sup>2</sup>.



4. Лосяш и Бараш, в четвертый раз перенося рояль Ньюши с одного этажа на другой, придумали устройство, с помощью которого, по их мнению, они затратят значительно меньше сил на это непростое дело. Во сколько раз будут отличаться их усилия с этим устройством и без него? Опоры, соединяющие блоки, жесткие, веревка, связывающая блоки, легкая и нерастяжимая, массами блоков и трением в осях блоков пренебречь.



5. Два тела с разными плотностями  $\rho_1 = 9800$  кг/м<sup>3</sup> и  $\rho_2 = 6150$  кг/м<sup>3</sup>, но одинакового объема, уравновешены на коромысле рычажных весов. Затем оба тела полностью погружают в разные жидкости. Плотность жидкости, в которую погружают тело 1, равна  $\rho_3 = 790$  кг/м<sup>3</sup>. Какова плотность жидкости  $\rho_4$ , в которую погрузили второе тело, если равновесие весов после погружения тел в жидкости не нарушилось? Ответ округлите до третьего знака.

**Первый (школьный) этап**  
**Всероссийской олимпиады школьников по физике**  
**Типовой вариант**  
**8 класс (условия с решениями)**

1. Яхта «Беда» плыла по неподвижной поверхности океана со скоростью 1 м/с. Матрос Фукс, не выдержав зноя, прыгнул с кормы в воду и поплыл от яхты против направления ее движения со скоростью 0,5 м/с. Через 12 секунд происшествие заметил старший помощник Лом, прыгнул в воду и погнался за Фуксом со скоростью 3,5 м/с. Догнав Фукса, он схватил его и тут же поплыл обратно к яхте со скоростью 2 м/с (все скорости даны относительно воды). Догнав яхту, Лом с Фуксом моментально вскарабкался на корму. Определить время нахождения Фукса в воде.

**Решение.** Направим ось  $Ox$  по направлению движения яхты. Примем за начало координат точку нахождения яхты в момент прыжка Фукса в воду. Тогда зависимость координаты Фукса от времени имеет вид:  $x_{\Phi} = -v_{\Phi}t$ , где учтено, что начальная координата Фукса равна нулю:  $x_{0\Phi} = 0$ . Через  $t_1 = 12$  с после начала движения Фукса его координата станет равна  $x_{1\Phi} = -v_{\Phi}t_1 = -6$  м, а координата яхты (и Лома, находящегося на ней)  $x_{1Я} = x_{1Л} = v_{Я}t_1 = 12$  м. Начиная с этого момента времени зависимость координаты Фукса  $x_{\Phi}(t)$  и Лома  $x_{Л}(t)$  имеют вид:  $x_{\Phi} = x_{1\Phi} - v_{\Phi}t = -6 - v_{\Phi}t$  и  $x_{Л} = x_{1Л} - v_{Л}t = 12 - v_{Л}t$ . Из равенства их координат в момент встречи, получаем  $-6 - v_{\Phi}t = 12 - v_{Л}t$ , откуда находим время движения Лома  $t$  до точки нахождения Фукса:  $t = \frac{12+6}{(v_{Л}-v_{\Phi})} = \frac{18}{(3,5-0,5)} = 6$  с.

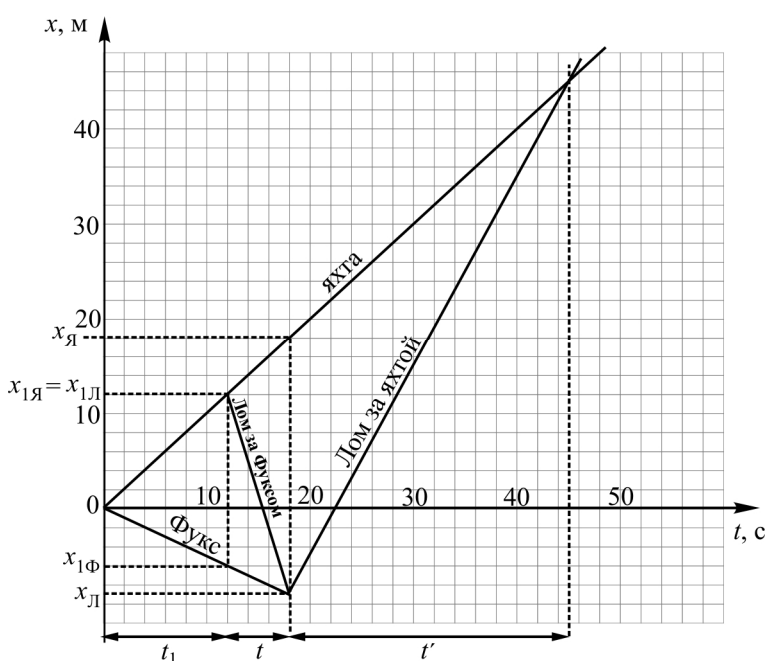
Из зависимости координаты от времени  $x_{Л}(t)$  находим координату Лома в этот момент времени:  $x_{Л} = v_{Я}t_1 - v_{Л}t = v_{Я}t_1 - v_{Л} \frac{(v_{\Phi} + v_{Я})t_1}{(v_{Л} - v_{\Phi})} = -9$  м, а из зависимости координаты яхты от времени  $x_{Я}(t)$  найдем координату яхты в этот же момент времени:  $x_{Я} = x_{1Я} + v_{Я}t = v_{Я}t_1 + v_{Я}t = v_{Я}t_1 + v_{Я} \frac{(v_{\Phi} + v_{Я})t_1}{(v_{Л} - v_{\Phi})} = 18$  м. Тогда зависимости координат от

времени для Лома и яхты будут, соответственно  $x'_{Л} = -9 + u_{Л}t'$  и  $x'_{Я} = 18 + v_{Я}t'$ , где  $u_{Л}$  – скорость движения Лома после того, как он повернул к яхте. Из равенства их координат в тот момент времени  $t'$ , когда Лом вместе с Фуксом догнали яхту, получаем  $-9 + u_{Л}t' = 18 + v_{Я}t'$ , откуда находим время движения Лома  $t'$  до яхты:

$$t' = \frac{18+9}{(u_{Л}-v_{Я})} = \frac{27}{(2-1)} = 27 \text{ с.}$$

Таким образом, время нахождения Фукса в воде  $T = t_1 + t + t' = 12 + 6 + 27 = 45$  с.

Графическое решение приведено на рисунке.



**Ответ:** 45 с.

2. На очень точных пружинных весах взвешивают 1 кг свинца и 1 кг пробки. При этом обнаружилась разность показаний весов  $\Delta P = 49,44$  мН. Используя эти данные, определить плотность воздуха. Плотность свинца  $\rho_1 = 11300$  кг/м<sup>3</sup>, плотность пробки  $\rho_2 = 250$  кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>. Ответ округлите до четвертого знака после запятой.

**Решение.** На оба тела, находящихся на весах, действует сила тяжести  $m\vec{g}$ , сила реакции опоры  $\vec{N}$  и сила Архимеда  $\vec{F}_A$ , из-за которой и происходит различие в показаний весов.

Согласно третьему закону Ньютона и определению веса тела,  $\vec{N} = \vec{P}$ . Согласно условию равновесия обоих тел, в проекции на ось  $OY$ , направленную вниз, имеем для свинцового тела

$$N_1 = P_1 = mg - F_{A1} = mg - \rho_1 g V_1 = mg - \rho_{\text{возд}} \cdot g \frac{m}{\rho_1},$$

а для тела из пробки

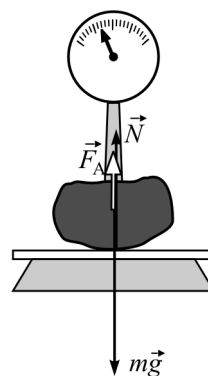
$$N_2 = P_2 = mg - \rho_{\text{возд}} \cdot g \frac{m}{\rho_2}.$$

Отсюда, выражая величину разности показаний

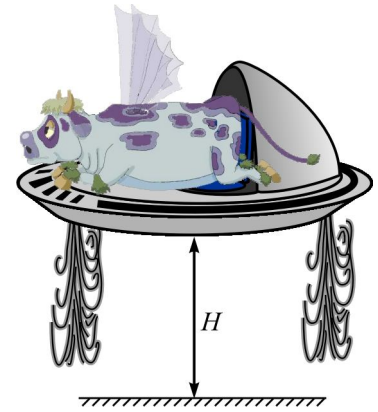
весов  $\Delta P = P_1 - P_2 = -\rho_{\text{возд}} \cdot g \frac{m}{\rho_1} + \rho_{\text{возд}} \cdot g \frac{m}{\rho_2} = \rho_{\text{возд}} \cdot mg \left( \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right)$ , находим

$$\text{искомую величину } \rho_{\text{возд}} = \frac{\Delta P \cdot \rho_1 \rho_2}{mg \left( \rho_1 - \rho_2 \right)} = \frac{0,04944}{1 \cdot 9,8 \cdot \left( \frac{1}{250} - \frac{1}{11300} \right)} = 1,2898 \text{ кг/м}^3.$$

**Ответ:**  $\rho_{\text{возд}} = 1,2898$  кг/м<sup>3</sup>.



3. На планете Блук на космический катер профессора Селезнева мощностью 3 000 000 Вт по желанию Алисы загрузили склисса массой 500 кг (склисс с планеты Шешинеру отличается от коровы наличием крыльев). При этом профессор Селезнев, включив двигатели своего катера на  $\eta = 10\%$  мощности, равномерно поднялся на высоту  $H = 100$  м за время  $t = 5$  секунд. Какова масса космического катера с экипажем без склисса? Ускорение свободного падения на этой планете  $g = 5$  м/с<sup>2</sup>.

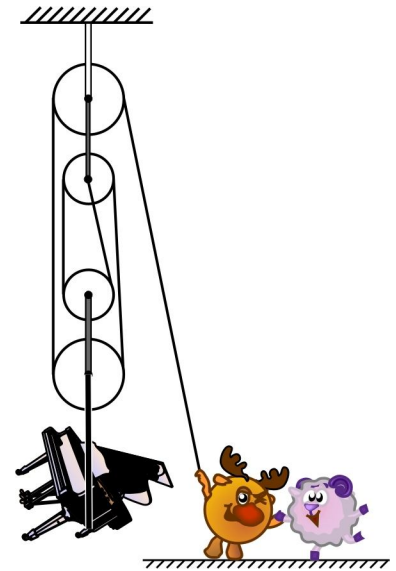


**Решение.** По определению мощности  $N = \frac{A}{t}$ , где  $A$  – работа, совершенная двигателями катера за время  $t$ . Величина этой работы равна  $A = (M + m)g \cdot H$ , где  $M$  – масса катера,  $m$  – масса склисса,  $g$  – ускорение свободного падения на планете Блук. Учитывая, что двигатели работали лишь на 10% своей мощности, находим  $\eta N = \frac{(M + m)g \cdot H}{t}$ , откуда искомая масса катера без склисса  $M = \frac{\eta N t}{g \cdot H} - m = \frac{0,1 \cdot 3000000 \cdot 5}{5 \cdot 100} - 500 = 2500$  кг = 2,5 тонны.

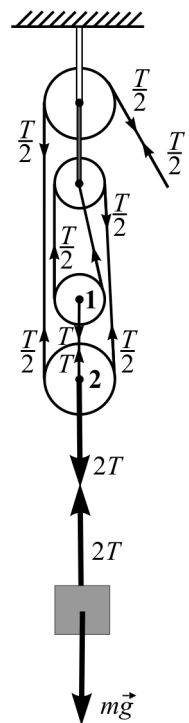
**Ответ:**  $M = 2500$  кг = 2,5 тонны.



4. Лосяш и Бараш, в четвертый раз перенося рояль Ньюши с одного этажа на другой, придумали устройство, с помощью которого, по их мнению, они затратят значительно меньше сил на это непростое дело. Во сколько раз будут отличаться их усилия с этим устройством и без него? Опоры, соединяющие блоки, жесткие, веревка, связывающая блоки, легкая и нерастяжимая, массами блоков и трением в осях блоков пренебречь.



**Решение.** В силу невесомости и нерастяжимости веревки, связывающей блоки, сила ее натяжения в любой ее части должна быть одинакова. Обозначим силу, действующую на блок 1 со стороны блока 2, через  $T$ . Так как этот блок (как и любой другой) находится в равновесии, то со стороны веревки на него действуют две силы, направленные вверх, каждая из которых равна  $T/2$ . Так как блоки 1 и 2 соединены жесткой опорой, то на блок 2 со стороны блока 1 действует  $T$ , направленная вверх; кроме того, со стороны веревки действуют две силы, направленные вверх, каждая из которых равна  $T/2$ , а со стороны рояля, в силу условия равновесия блока 2, действует сила  $2 \cdot \frac{T}{2} + T = 2T$ . Так как натяжение веревки всюду постоянно, то Лосяш и Бараш действуют на нее с силой  $T/2$ . Следовательно, их усилия будут отличаться в  $\frac{2T}{T/2} = 4$  раза.



**Ответ:** Их усилия будут в четыре раза меньше.

5. Два тела с разными плотностями  $\rho_1 = 9800 \text{ кг/м}^3$  и  $\rho_2 = 6150 \text{ кг/м}^3$ , но одинакового объема, уравновешены на коромысле рычажных весов. Затем оба тела полностью погружают в разные жидкости. Плотность жидкости, в которую погружают тело 1, равна  $\rho_3 = 790 \text{ кг/м}^3$ . Какова плотность жидкости  $\rho_4$ , в которую погрузили второе тело, если равновесие весов после погружения тел в жидкости не нарушилось? Ответ округлите до третьего знака.

**Решение.** Два тела одинаковых объемов, но изготовленных из материалов разных плотностей, будут иметь разные массы:  $m_1 = \rho_1 \cdot V$  и  $m_2 = \rho_2 \cdot V$ . На коромысло рычажных весов со стороны первого тела будет действовать его сила тяжести  $m_1 g = T_1$ , со стороны второго тела – сила тяжести второго тела  $m_2 g = T_2$ , а со стороны опоры – сила реакции опоры  $N$ . На коромысле эти тела можно уравновесить только при условии разных длин плеч, то есть разных расстояний от оси вращения коромысла весов до точек приложения сил веса тел (см. рисунок). При условии равновесия весов уравнение моментов относительно оси, проходящей через точку опоры, имеет вид  $m_1 g \cdot L_1 = m_2 g \cdot L_2$ , или, учитывая выражения для массы тел,  $\rho_1 V \cdot g \cdot L_1 = \rho_2 V \cdot g \cdot L_2$ . Отсюда следует, что  $\rho_1 \cdot L_1 = \rho_2 \cdot L_2$ .

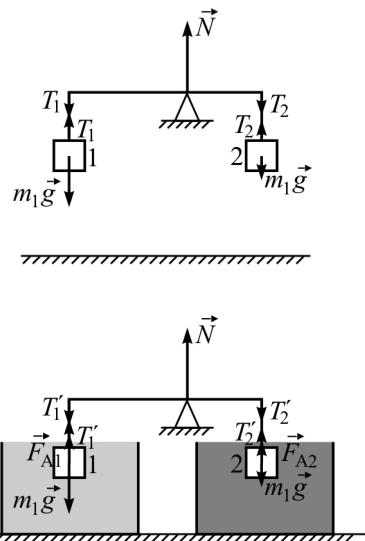
В случае погружения тел в жидкости на них начнут действовать силы Архимеда (см. рисунок), направленные вертикально вверх и равные для первого тела  $F_{A1} = \rho_3 g V$ , а для второго тела  $F_{A2} = \rho_4 g V$ . Следовательно, условие равновесия весов при неизменных расстояниях от точки опоры коромысла до первого и второго тел будет иметь вид:  $(\rho_1 V \cdot g - \rho_3 V \cdot g) \cdot L_1 = (\rho_2 V \cdot g - \rho_4 V \cdot g) \cdot L_2$ , откуда следует, что  $(\rho_1 - \rho_3) \cdot L_1 = (\rho_2 - \rho_4) \cdot L_2$ .

Выражая из условия равновесия тел в первом случае величину  $L_1 = \frac{\rho_2 \cdot L_2}{\rho_1}$  и

подставляя ее в формулу для условия равновесия тел, погруженных в жидкости, получаем:

$$(\rho_1 - \rho_3) \cdot \frac{\rho_2 \cdot L_2}{\rho_1} = (\rho_2 - \rho_4) \cdot L_2, \text{ и далее находим } \rho_4 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \rho_3 = \frac{9800 \cdot 790}{6150} \approx 1260 \text{ кг/м}^3.$$

**Ответ:**  $\rho_4 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \rho_3 \approx 1260 \text{ кг/м}^3$ .



**Первый (школьный) этап  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Типовой вариант  
9 класс**

**Задача 1**

Тело плавает в воде, погрузившись в нее на  $3/4$  своего объема. Какая часть объема тела будет погружена в глицерин? Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность глицерина  $1250 \text{ кг/м}^3$ .

**Задача 2**

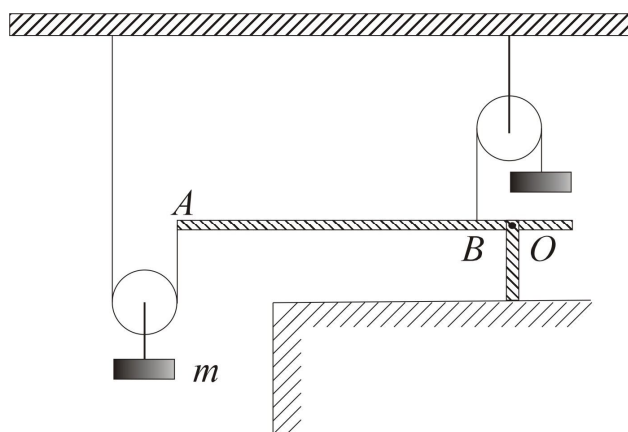
60 кг воды, взятой при температуре  $90^\circ\text{C}$ , смешали со 150 кг воды, взятой при температуре  $23^\circ\text{C}$ . Конечная температура получившейся смеси оказалась равной  $40^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты было отдано в окружающую среду при смешивании? Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ . Ответ выразите в кДж.

**Задача 3**

Сопротивление одной светящейся электрической лампы 400 Ом. Какое количество таких ламп включено параллельно, если при напряжении 220 В потребляемая ими мощность равна 4,84 кВт?

**Задача 4**

На рисунке изображен прибор, представляющий собой комбинацию рычага  $ABO$  с двумя одинаковыми блоками. Известно, что масса груза, прикрепленного к левому блоку, равна  $m = 1,4 \text{ кг}$ ,  $AB = 24 \text{ см}$ ,  $BO = 4 \text{ см}$ . Определите массу груза  $M$ , прикрепленного к правому блоку, если известно, что рычаг находится в равновесии. Массой рычага  $ABO$  и блоков, а также трением пренебречь. Тросы считать легкими и нерастяжимыми.



**Задача 5**

Стальной шарик свободно падает с некоторой высоты. Во сколько раз его средняя скорость на протяжении первой половины времени полета меньше, чем средняя скорость на протяжении второй половины времени полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Первый (школьный) этап  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Типовой вариант  
9 класс (условия с решениями)**

**Задача 1**

Тело плавает в воде, погружившись в нее на  $3/4$  своего объема. Какая часть объема тела будет погружена в глицерин? Плотность воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ , плотность глицерина  $1250 \text{ кг/м}^3$ .

**Решение**

Согласно закону Архимеда для тела, плавающего в воде:  $\rho_{\text{тела}} V g = \rho_{\text{воды}} V_{\text{погр}} g$ , где  $V_{\text{погр}} = \frac{3}{4} V$ . Отсюда можно найти  $\rho_{\text{тела}}$ :

$$\rho_{\text{тела}} = \frac{3}{4} \rho_{\text{воды}} = 750 \text{ кг/м}^3.$$

Записывая аналогично закон Архимеда для тела, плавающего в глицерине, получим:  $\rho_{\text{тела}} V g = \rho_{\text{глицерина}} V'_{\text{погр}} g$ , где  $V'_{\text{погр}}$  — объем погруженной в глицерин части тела.

Отсюда выражаем

$$\frac{V'_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{\text{тела}}}{\rho_{\text{глицерина}}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{воды}}}{\rho_{\text{глицерина}}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{1000}{1250} = \frac{3}{5} = 0,6.$$

**Ответ:**  $\frac{V'_{\text{погр}}}{V} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\rho_{\text{воды}}}{\rho_{\text{глицерина}}} = \frac{3}{5} = 0,6$ .

### Задача 2

60 кг воды, взятой при температуре 90 °С, смешали со 150 кг воды, взятой при температуре 23 °С. Конечная температура получившейся смеси оказалась равной 40 °С. Какое количество теплоты было отдано в окружающую среду при смешивании? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·°С). Ответ выразите в кДж.

### Решение

При перемешивании горячей и холодной воды одна часть тепла от горячей воды ( $Q_{\text{отд}}$ ) была передана холодной воде ( $Q_{\text{получ}}$ ), а другая часть ( $Q$ ) была рассеяна в окружающую среду:

$$Q_{\text{отд}} = Q + Q_{\text{получ}}.$$

Запишем, с учетом этого, уравнение теплового баланса:

$$cm_1(t_1 - t) = Q + cm_2(t - t_2),$$

где  $m_1 = 60$  кг,  $m_2 = 150$  кг – массы горячей и холодной воды соответственно,  $t_1 = 90$  °С – первоначальная температура горячей воды до перемешивания,  $t_2 = 23$  °С – первоначальная температура холодной воды до перемешивания,  $t = 40$  °С – температура получившейся смеси,  $c = 4200$  Дж/(кг·°С) – удельная теплоемкость воды.

Подставляя числовые данные, найдем  $Q$ :

$$Q = c[m_1(t_1 - t) - m_2(t - t_2)] = 1890 \text{ кДж.}$$

**Ответ:**  $Q = c[m_1(t_1 - t) - m_2(t - t_2)] = 1890$  кДж.

### Задача 3

Сопротивление одной светящейся электрической лампы 400 Ом. Какое количество таких ламп включено параллельно, если при напряжении 220 В потребляемая ими мощность равна 4,84 кВт?

### Решение

Пусть параллельно включено  $N$  ламп сопротивлением  $R$  каждая. Тогда потребляемая ими мощность  $P$  определяется формулой:

$$P = \frac{U^2}{R_{\text{общ}}},$$

где  $U$  – напряжение на лампах, а  $R_{\text{общ}}$  – общее сопротивление  $N$  ламп, соединенных параллельно:

$$R_{\text{общ}} = R / N .$$

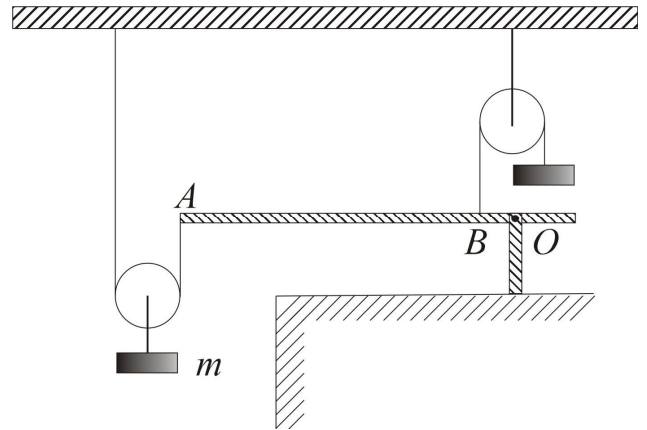
Объединяя две вышеприведенные формулы, найдем  $N$ :

$$N = \frac{PR}{U^2} = \frac{4840 \cdot 400}{220^2} = 40 .$$

**Ответ:**  $N = \frac{PR}{U^2} = 40 .$

#### Задача 4

На рисунке изображен прибор, представляющий собой комбинацию рычага  $ABO$  с двумя одинаковыми блоками. Известно, что масса груза, прикрепленного к левому блоку, равна  $m = 1,4$  кг,  $AB = 24$  см,  $BO = 4$  см. Определите массу груза  $M$ , прикрепленного к правому блоку, если известно, что рычаг находится в равновесии. Массой рычага  $ABO$  и блоков, а также трением пренебречь. Тросы считать легкими и нерастяжимыми.



#### Решение

Поскольку рычаг находится в равновесии, то момент силы  $F_1$ , приложенной в точке  $A$ , равен моменту силы  $F_2$ , приложенной в точке  $B$ . Рычаг вращается относительно точки  $O$ .

Сила  $F_1$ , приложенная в точке  $A$ , равна половине силы тяжести, действующей на левый груз  $m$ :  $F_1 = \frac{mg}{2}$ , а сила  $F_2$ , приложенная в точке  $B$ , равна силе тяжести, действующей на правый груз  $M$ :  $F_2 = Mg$ .

Запишем равенство моментов:

$$F_1 \cdot (AB + BO) = F_2 \cdot BO.$$

$$\frac{mg}{2} \cdot (AB + BO) = Mg \cdot BO$$

Отсюда получаем

$$M = \frac{m \cdot (AB + BO)}{2 \cdot BO} = \frac{1,4 \cdot (0,24 + 0,04)}{2 \cdot 0,04} = 4,9 \text{ кг.}$$

**Ответ:**  $M = 4,9$  кг.

### Задача 5

Стальной шарик свободно падает с некоторой высоты. Во сколько раз его средняя скорость на протяжении первой половины времени полета меньше, чем средняя скорость на протяжении второй половины времени полета? Сопротивлением воздуха пренебречь.

#### Решение

Обозначим через  $t$  время первой и второй половин полета. Поскольку шарик свободно падает с некоторой высоты (без учета сопротивления воздуха), то, очевидно, у него имеется ускорение, обозначим его через  $a$ . Тогда путь  $l_1$ , пройденный шариком в течение первой половины времени полета, равен

$$l_1 = \frac{at^2}{2};$$

здесь мы учли, что начальная скорость шарика равна нулю.

Средняя скорость  $\langle v_1 \rangle$  шарика на протяжении первой половины времени полета запишется в виде выражения:

$$\langle v_1 \rangle = \frac{l_1}{t} = \frac{at}{2}.$$

Длина пути  $l_2$ , пройденная шариком в течение второй половины времени полета, равна разности всего пути  $l$  и пути  $l_1$ , пройденного шариком в течение первой половины времени полета:

$$l_2 = l - l_1 = \frac{a(2t)^2}{2} - \frac{at^2}{2} = \frac{3at^2}{2}.$$

Тогда средняя скорость  $\langle v_2 \rangle$  шарика на протяжении второй половины времени полета запишется в виде выражения:

$$\langle v_2 \rangle = \frac{l_2}{t} = \frac{3at}{2}.$$

Сравнивая выражения для  $\langle v_1 \rangle$  и  $\langle v_2 \rangle$ , мы видим, что средняя скорость шарика на протяжении первой половины времени полета в три раза меньше его средней скорости на протяжении второй половины времени полета:

$$\frac{\langle v_2 \rangle}{\langle v_1 \rangle} = \frac{\frac{3}{2}at}{\frac{1}{2}at} = 3.$$

**Ответ:**  $\frac{\langle v_2 \rangle}{\langle v_1 \rangle} = 3$ , то есть средняя скорость шарика на протяжении первой половины времени полета в три раза меньше его средней скорости на протяжении второй половины времени полета.



**Первый (школьный) этап**  
**Всероссийской олимпиады школьников по физике**  
**Типовой вариант**  
**10 класс**

**Задача 1**

Сидящая на ветке ели белка выбросила ненужный ей гриб горизонтально в тот момент, когда под ней пробежал ёж. Когда ёж находился на расстоянии  $L = 40$  см от дерева, гриб упал точно на него. С какой скоростью бежал ёж, если скорость гриба в момент падения на ёжа была направлена под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту? Размерами ёжа, белки и гриба можно пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ , сопротивление воздуха не учитывать.

**Задача 2**

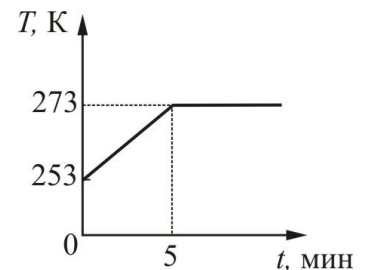
На склоне горы, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , неподвижно лежит камень массой  $m = 15$  кг. Чему равен коэффициент трения камня о породу горы, если его можно сдвинуть вниз по склону, потянув горизонтально с силой  $F = 10$  Н? Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .

**Задача 3**

На качели, подвешенные на лёгких стержнях длиной  $L = 2,5$  м, посадили маленького ребёнка. Раскачивая его, родители быстро толкают качели каждый раз, когда они проходят положение равновесия, сообщая им импульс  $p_0 = 3$  Н·с в направлении скорости ребенка. На какой максимальный угол отклонятся качели от вертикали после 20 толчков, если масса качелей вместе с ребенком  $m = 20$  кг? Первоначально качели покоились. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ , сопротивление воздуха не учитывать.

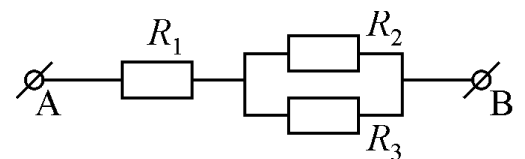
**Задача 4**

Кусок льда нагревали в лабораторной печи в течение длительного времени при постоянной мощности. Начальный участок графика зависимости температуры льда  $T$  от времени  $t$  показан на рисунке. Сколько времени пройдет от начала нагревания до момента, когда лёд полностью расплавится? Удельная теплоёмкость льда равна  $2100 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , удельная теплота плавления льда  $3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$ .



**Задача 5**

Нагреватель состоит из трёх элементов, сопротивления которых  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = 3R$ . Эти элементы соединены так, как показано на рисунке. Нагреватель подключён к клеммам А и В, между которыми поддерживается постоянное напряжение. Какое количество теплоты  $Q_3$  выделится на сопротивлении  $R_3$  за 1 минуту, если за 15 секунд на элементе  $R_1$  выделяется  $Q_1 = 160$  Дж теплоты?



**Первый (школьный) этап  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Типовой вариант  
10 класс (условия с решениями)**

**Задача 1**

Сидящая на ветке ели белка выбросила ненужный ей гриб горизонтально в тот момент, когда под ней пробежал ёж. Когда ёж находился на расстоянии  $L = 40$  см от дерева, гриб упал точно на него. С какой скоростью бежал ёж, если скорость гриба в момент падения на ёжа была направлена под углом  $\alpha = 45^\circ$  к горизонту? Размерами ёжа, белки и гриба можно пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, сопротивление воздуха не учитывать.

**Решение**

Так как по горизонтали и ёж и гриб переместились на одно и то же расстояние за одинаковое время, и гриб был брошен горизонтально, то скорость ёжа была равна начальной скорости гриба

$$V_{\text{ёжа}} = V_x. \text{ Следовательно, } \operatorname{tg} \alpha = \frac{|V_y|}{V_x} = \frac{gt}{V_x}.$$

Без учёта сопротивления воздуха перемещение гриба по горизонтали равно  $L = V_x t = V_x \cdot \frac{V_x \operatorname{tg} \alpha}{g} = \frac{V_x^2 \operatorname{tg} \alpha}{g}$ . Отсюда имеем:  $V_x = V_{\text{ёжа}} = \sqrt{\frac{gL}{\operatorname{tg} \alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 0,4}{1}} = 2$  м/с.

**Ответ:**  $V_{\text{ёжа}} = \sqrt{\frac{gL}{\operatorname{tg} \alpha}} = 2$  м/с.

### Задача 2

На склоне горы, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ , неподвижно лежит камень массой  $m = 15$  кг. Чему равен коэффициент трения камня о породу горы, если его можно сдвинуть вниз по склону, потянув горизонтально с силой  $F = 10$  Н? Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

### Решение

Выберем систему координат, ось  $OX$  которой направлена вниз вдоль склона горы, а ось  $OY$  ей перпендикулярна (см. рисунок).

Уравнения движения камня в проекции на оси этой системы координат в момент начала движения запишутся в виде:

$$mg \sin \alpha + F \cos \alpha - F_{\text{тр}} = 0,$$

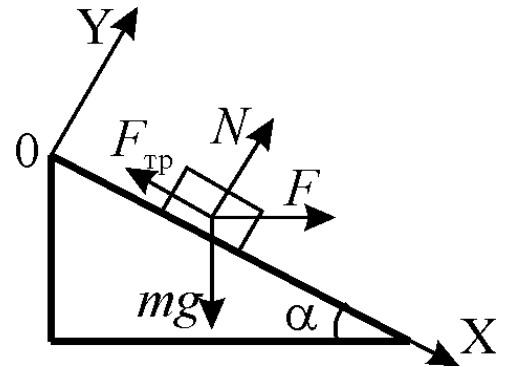
$$N + F \sin \alpha - mg \cos \alpha = 0.$$

Так как камень только начинает сдвигаться с места, то его ускорение можно считать равным нулю, а силу трения покоя достигнувшей своего максимального значения  $F_{\text{тр}} = \mu N$ , где  $\mu$  – искомый коэффициент трения.

Из полученной системы имеем:

$$\mu = \frac{mg \sin \alpha + F \cos \alpha}{mg \cos \alpha - F \sin \alpha} = \frac{15 \cdot 10 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,866}{15 \cdot 10 \cdot 0,866 - 10 \cdot 0,5} \approx 0,67.$$

**Ответ:**  $\mu = \frac{mg \sin \alpha + F \cos \alpha}{mg \cos \alpha - F \sin \alpha} \approx 0,67.$



### Задача 3

На качели, подвешенные на лёгких стержнях длиной  $L = 2,5$  м, посадили маленького ребёнка. Раскачивая его, родители быстро толкают качели каждый раз, когда они проходят положение равновесия, сообщая им импульс  $p_0 = 3$  Н·с в направлении скорости ребёнка. На какой максимальный угол отклонятся качели от вертикали после 20 толчков, если масса качелей вместе с ребёнком  $m = 20$  кг? Первоначально качели покоились. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, сопротивление воздуха не учитывать.

### Решение

Так как стержни качелей лёгкие, то можно считать, что вся масса сосредоточена внизу – то есть рассматривать качели с мальчиком, как математический маятник. Если при прохождении положения равновесия (нижней точки) качели с мальчиком имели кинетическую энергию  $E_{\text{кин}}$ , то по закону сохранения механической энергии они поднимутся на высоту  $h$ :  $E_{\text{кин}} = mgh$ . Если максимальный угол отклонения от вертикали равен  $\alpha$ , то  $h = L(1 - \cos\alpha)$ . Отсюда получаем:  $E_{\text{кин}} = mgL(1 - \cos\alpha)$ .

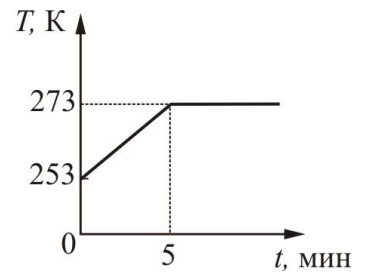
При каждом толчке импульс качелей увеличивается на  $\Delta p = p_0$ , за  $N$  толчков они приобретут импульс  $p = Np_0$ , и кинетическую энергию  $E_{\text{кин}} = (Np_0)^2/2m$ . Таким образом, получим:

$$\frac{(Np_0)^2}{2m} = mgL(1 - \cos\alpha),$$
$$\cos\alpha = 1 - \frac{(Np_0)^2}{2m^2Lg} = 1 - \frac{(20 \cdot 3)^2}{2 \cdot 20^2 \cdot 2,5 \cdot 10} = 1 - \frac{9}{50} = 0,82, \text{ и } \alpha \approx 35^\circ.$$

**Ответ:**  $\alpha = \arccos\left(1 - \frac{(Np_0)^2}{2m^2Lg}\right) = \arccos(0,82) \approx 35^\circ.$

#### Задача 4

Кусок льда нагревали в лабораторной печи в течение длительного времени при постоянной мощности. Начальный участок графика зависимости температуры льда  $T$  от времени  $t$  показан на рисунке. Сколько времени пройдет от начала нагревания до момента, когда лёд полностью расплавится? Удельная теплоёмкость льда равна  $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , удельная теплота плавления льда  $3,3\cdot 10^5 \text{ Дж}/\text{кг}$ .



#### Решение

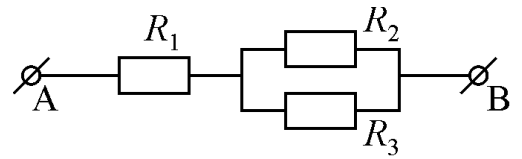
Пусть  $Q$  – количество теплоты, поступающее к куску льда в единицу времени,  $m$  – масса льда,  $t_1$  – время нагрева,  $t_2$  – время плавления. Тогда при нагреве:  $C_{\text{л}}m\Delta T = Qt_1$ , где  $C_{\text{л}}$  – удельная теплоёмкость льда; при плавлении:  $\lambda_{\text{л}}m = Qt_2$ , где  $\lambda_{\text{л}}$  – удельная теплота плавления льда.

$$t = t_1 + t_2 = t_1 \left( 1 + \frac{\lambda_{\text{л}}}{C_{\text{л}}\Delta T} \right) = 5 \left( 1 + \frac{3,3 \cdot 10^5}{2,1 \cdot 10^3 \cdot 20} \right) \approx 5 \cdot 8,86 = 44,3 \text{ мин.}$$

**Ответ:**  $t = t_1 \left( 1 + \frac{\lambda_{\text{л}}}{C_{\text{л}}\Delta T} \right) \approx 44,3 \text{ мин.}$

### Задача 5

Нагреватель состоит из трёх элементов, сопротивления которых  $R_1 = R_2 = R$ ,  $R_3 = 3R$ . Эти элементы соединены так, как показано на рисунке. Нагреватель подключён к клеммам А и В, между которыми поддерживается постоянное напряжение. Какое количество теплоты  $Q_3$  выделится на сопротивлении  $R_3$  за 1 минуту, если за 15 секунд на элементе  $R_1$  выделяется  $Q_1 = 160$  Дж теплоты?



### Решение

По закону Джоуля–Ленца  $Q_1 = I_1^2 R_1 t_1$ ,  $Q_3 = I_3^2 R_3 t_2$ . Так как элементы  $R_2$  и  $R_3$  соединены параллельно и подключены к элементу  $R_1$  последовательно, то  $I_1 = I_2 + I_3$ , и  $I_2 R_2 = I_3 R_3$ . Отсюда имеем:  $I_3 = \frac{1}{4} I_1$ , и

$$Q_3 = \left(\frac{1}{4} I_1\right)^2 3R_1 t_2 = \left(\frac{1}{4} I_1\right)^2 3R_1 t_1 \frac{t_2}{t_1} = \frac{3}{16} Q_1 \frac{t_2}{t_1} = \frac{3}{16} \cdot 160 \cdot \frac{60}{15} = 120 \text{ Дж.}$$

**Ответ:**  $Q_3 = \frac{3}{16} Q_1 \frac{t_2}{t_1} = 120 \text{ Дж.}$

**Первый (школьный) этап  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Типовой вариант  
11 класс**

**Задача 1**

Самолет с размахом крыльев  $L = 20$  м набирает высоту, поднимаясь с постоянной скоростью  $V = 250$  м/с, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Магнитное поле Земли в области, в которой движется самолет, можно считать однородным. Вектор магнитной индукции поля по модулю равен  $B = 0,2 \cdot 10^{-4}$  Тл, направлен практически горизонтально, причем векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{V}$  лежат в одной вертикальной плоскости. Чему равна разность потенциалов между концами крыльев самолета?

**Задача 2**

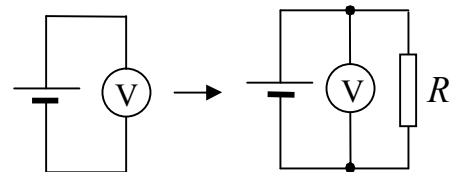
Футболист нанес удар по мячу, летящему со скоростью  $V_0 = 6$  м/с. После удара мяч изменил направление полета на перпендикулярное к исходному, а скорость его движения увеличилась до  $V_1 = 8$  м/с. Анализ видеозаписи показал, что длительность удара была равна  $\tau = 0,04$  с. Найдите средний модуль силы удара. Масса мяча  $m = 800$  г. Считать, что направление силы в процессе удара оставалось неизменным.

**Задача 3**

Цикл 1 моля идеального одноатомного газа, являющегося рабочим телом теплового двигателя, состоит из изобарического расширения, в ходе которого объем газа возрастает в 2 раза, изохорического охлаждения и изотермического сжатия, в результате которого газ возвращается в исходное состояние с температурой  $T_0$ . Найдите количество теплоты, получаемое газом от нагревателя за один цикл.

**Задача 4**

Один любознательный школьник раздобыл очень хороший вольтметр (то есть вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением), батарейку и резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Когда он подключил вольтметр к клеммам батарейки, вольтметр показал напряжение  $U_0 = 4,5$  В. Затем он параллельно вольтметру подключил резистор, и показания вольтметра уменьшились до  $U_1 = 3,6$  В. Чему равны ЭДС и внутреннее сопротивление батарейки?



**Задача 5**

Космический корабль в форме шара радиусом  $R = 10$  м, двигаясь в межзвездном пространстве со скоростью  $V = 200$  км/с, попал в облако молекулярного водорода с давлением  $p = 10^{-3}$  Па при температуре  $T = 5$  К. Сколько соударений между кораблем и молекулами водорода происходит за время  $\Delta t = 1$  с? Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

**Первый (школьный) этап  
Всероссийской олимпиады школьников по физике  
Типовой вариант  
11 класс (условия с решениями)**

**Задача 1**

Самолет с размахом крыльев  $L = 20$  м набирает высоту, поднимаясь с постоянной скоростью  $V = 250$  м/с, направленной под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Магнитное поле Земли в области, в которой движется самолет, можно считать однородным. Вектор магнитной индукции поля по модулю равен  $B = 0,2 \cdot 10^{-4}$  Тл, направлен практически горизонтально, причем векторы  $\vec{B}$  и  $\vec{V}$  лежат в одной вертикальной плоскости. Чему равна разность потенциалов между концами крыльев самолета?

**Решение**

Сила, действующая на электроны проводимости со стороны магнитного поля за счет их коллективного движения вместе с самолетом, в установившемся режиме уравнивается силой, действующей со стороны электрического поля, возникшего из-за разделения зарядов. Поэтому напряженность этого электрического поля определяется из равенства

$$eE = eVB \sin \alpha,$$

откуда

$$E = VB \sin \alpha .$$

Соответственно разность потенциалов между концами крыльев равна

$$U = EL = VBL \sin \alpha = 0,05 \text{ В}.$$

**Ответ:**  $U = VBL \sin \alpha = 0,05 \text{ В}.$



### Задача 2

Футболист нанес удар по мячу, летящему со скоростью  $V_0 = 6$  м/с. После удара мяч изменил направление полета на перпендикулярное к исходному, а скорость его движения увеличилась до  $V_1 = 8$  м/с. Анализ видеозаписи показал, что длительность удара была равна  $\tau = 0,04$  с. Найдите средний модуль силы удара. Масса мяча  $m = 800$  г. Считать, что направление силы в процессе удара оставалось неизменным.

### Решение

Изменение скорости мяча за время удара определяется разностью векторов конечной и начальной скоростей

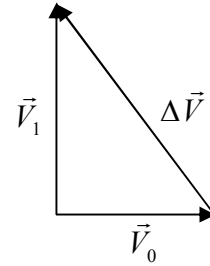
$$\Delta\vec{V} = \vec{V}_1 - \vec{V}_0 \Rightarrow |\Delta\vec{V}| = \sqrt{V_0^2 + V_1^2}.$$

Изменение импульса мяча равно импульсу силы:

$$m|\Delta\vec{V}| = F_{\text{cp}} \cdot \tau,$$

поэтому средний модуль силы удара

$$F_{\text{cp}} = \frac{m\sqrt{V_0^2 + V_1^2}}{\tau} = 200 \text{ Н.}$$



**Ответ:**  $F_{\text{cp}} = \frac{m\sqrt{V_0^2 + V_1^2}}{\tau} = 200 \text{ Н.}$

### Задача 3

Цикл 1 моля идеального одноатомного газа, являющегося рабочим телом теплового двигателя, состоит из изобарического расширения, в ходе которого объем газа возрастает в 2 раза, изохорического охлаждения и изотермического сжатия, в результате которого газ возвращается в исходное состояние с температурой  $T_0$ . Найдите количество теплоты, получаемое газом от нагревателя за один цикл.

### Решение

Из трех указанных процессов газ получает теплоту только в первом, поэтому количество теплоты, получаемое газом от нагревателя, в соответствии с первым началом термодинамики равно

$$Q_H = Q_{12} = \frac{3}{2}R(T_2 - T_1) + p_1(V_2 - V_1).$$

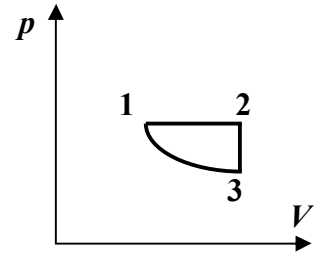
Поскольку по условию  $V_2 = 2V_1$ , и, кроме того, в силу закона Гей-Люссака  $T_2 = 2T_1$ , то

$$Q_H = \frac{3}{2}RT_1 + p_1V_1.$$

В соответствии с уравнением состояния  $p_1V_1 = RT_1$ , поэтому

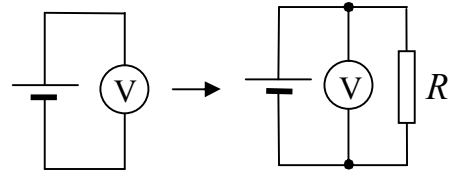
$$Q_H = \frac{5}{2}RT_1 = \frac{5}{2}RT_0.$$

**Ответ:**  $Q_H = \frac{5}{2}RT_0$ .



#### Задача 4

Один любознательный школьник раздобыл очень хороший вольтметр (то есть вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением), батарейку и резистор с сопротивлением  $R = 4$  Ом. Когда он подключил вольтметр к клеммам батарейки, вольтметр показал напряжение  $U_0 = 4,5$  В. Затем он параллельно вольтметру подключил резистор, и показания вольтметра уменьшились до  $U_1 = 3,6$  В. Чему равны ЭДС и внутреннее сопротивление батарейки?



#### Решение

Поскольку внутреннее сопротивление вольтметра очень велико, то при первом измерении его показания соответствуют величине ЭДС батареи. Таким образом,

$$E \approx U_0 = 4,5 \text{ В.}$$

После подключения резистора ток течет практически только через резистор, и сила тока

$$I = \frac{E}{R+r} \approx \frac{U_0}{R+r}.$$

Показания вольтметра соответствуют напряжению на резисторе, поэтому

$$U_1 = IR \approx \frac{R}{R+r} U_0,$$

откуда

$$r \approx \left( \frac{U_0}{U_1} - 1 \right) R = \left( \frac{4,5}{3,6} - 1 \right) \cdot 4 = 1 \text{ Ом.}$$

**Ответ:**  $r \approx \left( \frac{U_0}{U_1} - 1 \right) R = 1 \text{ Ом.}$

### Задача 5

Космический корабль в форме шара радиусом  $R = 10$  м, двигаясь в межзвездном пространстве со скоростью  $V = 200$  км/с, попал в облако молекулярного водорода с давлением  $p = 10^{-3}$  Па при температуре  $T = 5$  К. Сколько соударений между кораблем и молекулами водорода происходит за время  $\Delta t = 1$  с? Постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

### Решение

Среднеквадратичная скорость теплового движения молекул водорода равна

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} \approx 250 \text{ м/с},$$

что, очевидно, много меньше скорости корабля  $V = 200\,000$  м/с. Поэтому движением молекул можно пренебречь. Тогда необходимо рассмотреть ситуацию, когда корабль при движении испытывает столкновения с молекулами, попавшими в «задеваемый» им объем

$$\Delta V = \pi R^2 \cdot V \Delta t.$$

Концентрация молекул в облаке водорода может быть определена из основного уравнения молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = nkT,$$

откуда

$$n = \frac{p}{kT}.$$

Поэтому число соударений за одну секунду (то есть при  $\Delta t = 1$  с) равно

$$\Delta N = n \cdot \Delta V = \frac{p\pi R^2 V}{kT} \Delta t = \frac{10^{-3} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 200\,000}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 5} \cdot 1 \approx 9,11 \cdot 10^{26}.$$

**Ответ:**  $\Delta N = \frac{p\pi R^2 V}{kT} \Delta t \approx 9,11 \cdot 10^{26}.$