

## Физика 9 класс

1. Верёвка диаметром 1 см, уложенная в виде плотной спирали на плоском столе, заполняет круг диаметром 1 м. Найти приблизительную длину верёвки.

### Решение.

На высоте, равной радиусу верёвки, соседние витки спирали плотно прилегают друг к другу, и поэтому площадь сечения верёвки плоскостью, проходящей на этой высоте над поверхностью стола, равна площади  $S$  круга диаметром  $D = 1$  м:

$$S = \pi (D/2)^2. \quad (2 \text{ б.})$$

С другой стороны, площадь сечения верёвки равна произведению её длины  $l$  на диаметр  $d$ :

$$S = l d. \quad (2 \text{ б.})$$

Приравняв правые части двух полученных выражений, найдём длину верёвки  $l$ :

$$l = \pi D^2 / 4d. \quad (4 \text{ б.})$$

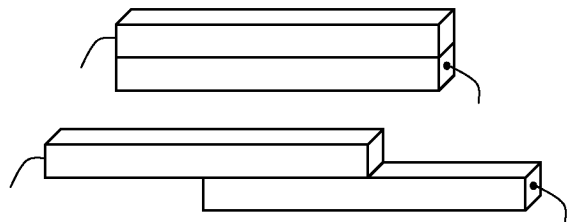
Подставив численные значения, получим

$$\text{ответ: } l \approx 80 \text{ м.} \quad (2 \text{ б.})^*$$

### Примечание.

\*Любой ответ в диапазоне от 75 м до 80 м считается верным.

2. Два одинаковых длинных проводящих стержня прямоугольного сечения плотно прижаты друг к другу. К противоположным торцам стержней припаяны клеммы. Вначале края стержней совпадают и сопротивление между клеммами равно  $R$ . Стержни раздвигают вдоль длинной стороны так, что они остаются плотно прижатыми друг к другу. Чему станет равно сопротивление между клеммами, когда длина соприкасающейся части уменьшится вдвое?



### Решение.

Вначале, когда края стержней совпадали, их сопротивления были включены параллельно. Поэтому сопротивление  $R$  между клеммами было равно

$$R = \frac{R_c}{2}, \quad (1) \quad (3 \text{ б.})$$

где  $R_c$  — сопротивление одного стержня. После того как длина соприкасающейся части уменьшилась вдвое, перекрывающиеся части сопротивлением  $R_c/2$  стали включены последовательно по отношению к неперекрывающимся частям, также имеющим сопротивления  $R_c/2$ , и параллельно друг другу (образуя тем самым сопротивление  $R_c/4$ ). Поэтому искомое сопротивление  $R_x$  между клеммами равно

$$R_x = \frac{R_c}{2} + \frac{R_c}{4} + \frac{R_c}{2} = \frac{5}{4}R_c. \quad (2) \quad (5 \text{ б.})$$

Из уравнений (1) и (2) получим

$$\text{ответ: } R_x = \frac{5}{2}R. \quad (2 \text{ б.})$$

3. В термосе оставалось  $M=100$  г горячего чая при температуре  $T=80^\circ\text{C}$ . Кубики льда массой  $m=20$  г имеют температуру  $T_k=-43^\circ\text{C}$ . В термос бросили  $N=50$  таких кубиков льда, и весь чай превратился в лёд. Чему равна температура  $T_l$  получившегося льда? Теплоёмкость воды (чая)  $c_b=4\,200$  Дж/(кг·°C), льда —  $c_l=2\,100$  Дж/(кг·°C), теплота плавления льда  $\lambda=336$  кДж/кг. Теплоёмкостью термоса пренебречь.

**Решение.**

Сначала чай охлаждается до  $0^\circ\text{C}$ , выделяя теплоту  $c_b M (T - 0^\circ\text{C})$ , затем превращается в лёд, выделяя теплоту  $\lambda M$ , и потом охлаждается до искомой температуры  $T_l$ , выделяя теплоту  $c_l M (0^\circ\text{C} - T_l)$ , при этом вся выделившаяся теплота идёт на нагрев кусков льда до искомой температуры  $T_l$ , для чего потребуется теплота  $c_l N m (T_l - T_k)$ .

Запишем уравнение теплового баланса

$$c_b M (T - 0^\circ\text{C}) + \lambda M + c_l M (0^\circ\text{C} - T_l) = c_l N m (T_l - T_k) \quad (6 \text{ б.})^*$$

и выразим отсюда  $T_l$ :

$$T_l = \frac{c_b M T + \lambda M + c_l N m T_k}{c_l (M + N m)}. \quad (2 \text{ б.})$$

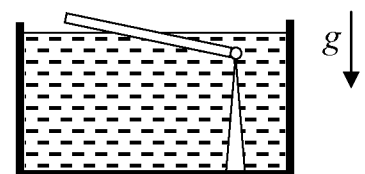
Подставив численные значения, получим

$$\text{ответ: } T_l = -10^\circ\text{C}. \quad (2 \text{ б.})$$

*Примечание:*

\*За каждое упущенное или неверно записанное (без учёта знака) слагаемое в уравнении теплового баланса вычитается 1 балл. За неверно расставленные знаки вычитаются 2 балла. Пропуск « $0^\circ\text{C}$ » не считается ошибкой.

4. Тонкая палочка шарнирно прикреплена к вертикальной стойке в бассейне с водой, так что уровень воды немного выше шарнира. При этом палочка погружена в воду на  $3/5$  длины. На какую часть длины будет погружена палочка, если слить часть воды, так что уровень воды станет немного ниже шарнира?



**Решение.**

Пусть  $\rho_0$  — плотность воды,  $\rho$  — плотность палочки,  $S$  — площадь её поперечного сечения, а  $l$  — её длина. Равенство моментов сил относительно шарнира в случае, когда уровень воды выше шарнира и палочка погружена на  $x = 3/5$  длины, имеет вид:

$$\rho S l g \cdot \frac{l}{2} \cos \alpha = \rho_0 S x l g \cdot \frac{x l}{2} \cos \alpha,$$

где  $\alpha$  — угол наклона палочки к горизонту. Сокращая одинаковые множители, получаем:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = x^2. \quad (1) \quad (3 \text{ б.})$$

В случае, когда уровень воды станет ниже шарнира, равенство моментов сил относительно шарнира примет вид:

$$\rho S l g \cdot \frac{l}{2} \cos \beta = \rho_0 S y l g \cdot l \left(1 - \frac{y}{2}\right) \cos \beta,$$

где  $\beta$  — угол наклона палочки к горизонту,  $y$  — искомая погруженная часть палочки.

Сокращая одинаковые множители, получаем:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = y \cdot (2 - y). \quad (2) \quad (3 \text{ б.})$$

Приравняв правые части (1) и (2), получим квадратное уравнение

$$y^2 - 2y + x^2 = 0, \quad (2 \text{ б.})$$

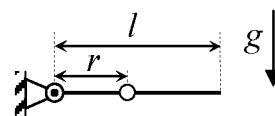
которое имеет два действительных корня

$$y = 1 \pm \sqrt{1 - x^2}.$$

Исключив один из корней, не удовлетворяющий условию  $y < 1$ , и подставив  $x = 3/5$ , получим

**ответ:**  $y = 1 - \sqrt{1 - x^2} = \frac{1}{5}. \quad (2 \text{ б.})$

5. Один конец невесомой спицы длины  $l$  шарнирно закреплен, а другой конец удерживается так, чтобы спица была горизонтальной. На расстоянии  $r$  от точки крепления находится надетая на спицу маленькая бусинка. Удерживаемый конец отпустили. Через какое время бусинка слетит со спицы? Какую скорость будет иметь конец спицы в этот момент? Трения нет. Ускорение свободного падения равно  $g$ .



**Решение.**

На бусинку со стороны спицы не действует никаких сил: силы трения нет по условию, а сила реакции отсутствует по следующей причине. Если бы сила реакции была отлична от нуля, то, по 3-му закону Ньютона, была бы отлична от нуля и сила,

действующая со стороны бусинки на спицу. При перемещении эта сила совершила бы работу, которая должна была бы перейти в кинетическую энергию спицы. Но поскольку масса спицы равна нулю, кинетическая энергия спицы и её изменение тождественно равны нулю. Таким образом, на бусинку действует только сила тяжести, поэтому она движется равноускоренно с ускорением  $g$ , то есть

движение бусинки представляет собой свободное падение вниз по вертикали. (2 б.)

Бусинка окажется на краю спицы, когда расстояние между ней и шарниром станет равно длине спицы  $l$ . Отсюда найдём по теореме Пифагора пройденный бусинкой путь  $y$  до момента соскальзывания со спицы:

$$y = \sqrt{l^2 - r^2}. \quad (1) \quad (1 \text{ б.})$$

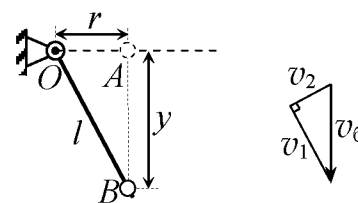
Из закона равноускоренного движения найдём время  $t$  до соскальзывания бусинки:

$$y = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (2) \quad (1 \text{ б.})$$

и скорость  $v_6$  бусинки в момент соскальзывания:

$$v_6 = gt = \sqrt{2gy}. \quad (3) \quad (1 \text{ б.})$$

Чтобы найти скорость спицы  $v_c$  в этот момент, разложим скорость бусинки  $v_6$  на две составляющие: вдоль спицы  $v_1$  и поперёк спицы  $v_2$ , как показано на рисунке. Учитывая, что составляющая  $v_2$  и есть скорость конца спицы  $v_c$ , найдём из подобия треугольника скоростей и треугольника  $OAB$ :



$$v_c = \frac{r}{l} v_6. \quad (4) \quad (3 \text{ б.})$$

Из равенств (1) – (4) найдём

ответ: 
$$t = \sqrt{\frac{2}{g} \sqrt{l^2 - r^2}}, \quad (1 \text{ б.})$$

$$v_c = \frac{r}{l} \sqrt{2g \sqrt{l^2 - r^2}}. \quad (1 \text{ б.})$$