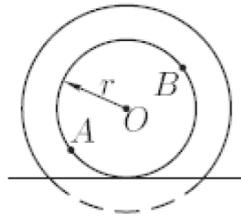


**Всероссийская олимпиада школьников по физике**  
**Муниципальный этап**  
**11-й класс**

**Задание 1**

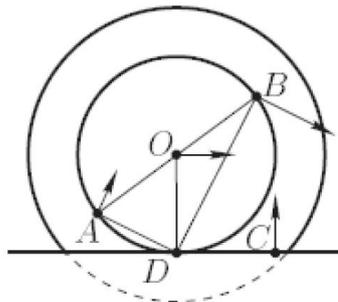
По рельсам катится с постоянной скоростью вагонетка. Радиус её колеса равен  $r$ , а радиус реборды (бортика, выступающего за обод колеса и предохраняющего колесо от схода с рельса) существенно больше. В некоторый момент времени скорости двух диаметрально противоположных точек  $A$  и  $B$  обода равны по модулю  $v_A$  и  $v_B$  соответственно (см. рис.).



С какой скоростью  $v_0$  катится колесо?

**Решение**

Скорости точек  $A$  и  $B$  можно выразить через скорость поступательного движения колеса как целого и скорость вращательного движения. Но проще воспользоваться идеей о мгновенной оси вращения для тела, катящегося без проскальзывания. Обозначим точку касания колеса с рельсом буквой  $D$ . Скорость этой точки равна нулю. Ось, проходящая через точку  $D$ , – мгновенная ось вращения всех точек колеса. Пусть расстояние  $AD = L$ , а расстояние  $BD = l$ .

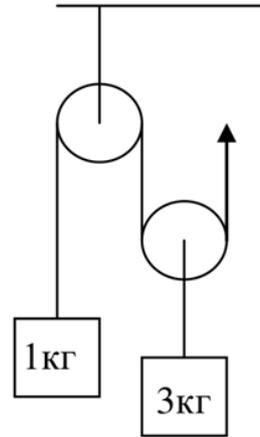


Предположим, что угловая скорость вращения колеса равна  $\omega$ . Тогда скорость  $v_A = \omega L$ , скорость  $v_B = \omega l$ , а скорость колеса  $v_0 = \omega r$ . По условию  $AB = 2r$ . Угол  $ABD$  прямой, так как опирается на диаметр окружности. Тогда по теореме Пифагора  $L^2 + l^2 = (2r)^2$ . Умножим это равенство на квадрат угловой скорости:  $L^2 \omega^2 + l^2 \omega^2 = (2r)^2 \omega^2$ . Видим, что получившееся выражение эквивалентно равенству  $v_A^2 + v_B^2 = (2v_0)^2$ . Следовательно, искомая скорость

$$v_0 = \frac{\sqrt{v_A^2 + v_B^2}}{2}.$$

### Задание 2

С каким по модулю и в какую сторону направленным ускорением нужно двигать вдоль вертикали конец нити, чтобы груз, имеющий массу  $m = 1$  кг, оставался неподвижным? Массой нитей и блоков можно пренебречь. Нити нерастяжимы, трение отсутствует. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10 \text{ м/с}^2$ .



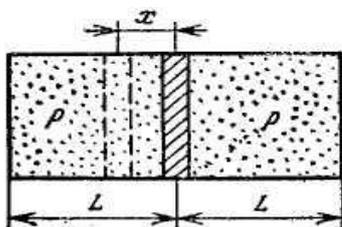
### Решение

Из условия равновесия груза, имеющего массу  $m$ , следует, что  $T = mg$ . Тогда уравнение второго закона Ньютона, записанное в проекции на вертикальную ось  $OY$ , направленную вверх, для второго тела, имеющего массу  $3m$ , имеет вид:  $oy: 2T - 3mg = 3ma_y$ , откуда  $a_y = \frac{2T}{3m} - g = -\frac{1}{3}g$ .

Знак минус означает, что груз  $3m$  будет иметь ускорение, направленное вниз. Из условия нерастяжимости нити следует, что конец нити необходимо опускать с ускорением, в два раза большим по модулю, т. е.  $a_1 = \frac{2}{3}g = 6,7 \text{ м/с}^2$ , и направленным вниз.

### Задание 3

Посередине закрытой с торцов трубы длиной  $2L$  и сечением  $S$  находится поршень (см. рис.). Слева и справа от поршня находятся разные газы при одинаковом давлении  $p$ . На какое расстояние сместится поршень, если он становится проницаемым для одного из газов? Сила трения поршня о трубу равна  $F$ . Температуру газа считать постоянной.



### Решение

Газ просачивается сквозь поршень, пока его давление (концентрация молекул) по обе стороны поршня не станет одинаковым.

$$p_1 = nkT$$

Тогда суммарная сила давления на поршень этого газа равна нулю и её можно не учитывать при сравнении сил, действующих на поршень. Тем самым

задача свелась к совсем простой: с одной стороны на поршень действует сила трения  $F$ , с другой – сила давления второго газа, который не может просачиваться сквозь поршень.

В задаче 3 случая:

1) если  $pS \leq F$ , то поршень не сдвинется и  $x = 0$ ;

2) пусть поршень сместился на  $x$ , тогда второй газ будет находиться в отрезке трубы длиной  $L + x$ . Так как процесс изотермический, то

$$pL = p_2(L + x),$$

где  $p$  – исходное давление газа, а  $p_2$  – установившееся давление второго газа.

Условие равновесия поршня даёт  $F - p_2S = 0$ , отсюда

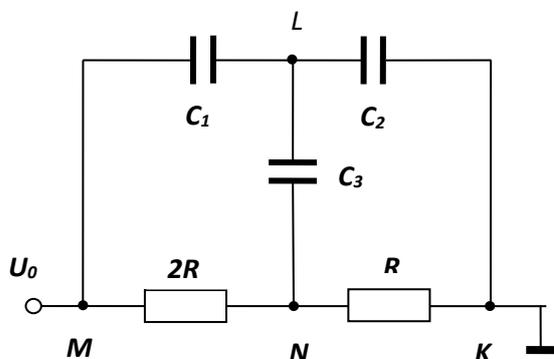
$$x = L \cdot \left( \frac{pS}{F} - 1 \right).$$

Из формулы видно, что при  $pS = 2F$  выражение в скобке равно 1 и  $x = L$ , т. е. оно справедливо при  $F < pS < 2F$ ;

3) таким образом, при большом исходном давлении, если  $pS \geq 2F$ , получим  $x = L$ , то есть поршень будет прижат к стенке сосуда, а оба газа будут находиться по другую сторону поршня.

#### Задание 4

Конденсаторы, ёмкости которых равны  $C$ , и резисторы, имеющие сопротивления  $R$  и  $2R$  включены в цепь, как показано на рисунке. Найти заряд на заземлённой обкладке конденсатора. Напряжение  $U_0$  известно.



#### Решение

$$C_1 = C_2 = C_3 = C.$$

Через конденсаторы постоянный ток не идёт. Потенциалы в точках схемы  $M$ ,  $N$  и  $K$  определяются падением напряжения на сопротивлениях и будут равны:

$$\varphi_M = U_0, \varphi_N = \frac{U_0}{3}, \varphi_K = 0, \text{ а для точки } L - \varphi_L.$$

Пусть  $\varphi_L > \varphi_N$ , тогда для трёх внутренних пластин конденсаторов, соединённых с точкой  $L$  имеем:

$$-q_1 + q_2 + q_3 = 0.$$

Модуль заряда на каждом конденсаторе:

$$q_1 = (U_0 - \varphi_L)C,$$

$$q_2 = \varphi_L C,$$

$$q_3 = (\varphi_L - \frac{U_0}{3})C.$$

Тогда  $-(U_0 - \varphi_L)C + \varphi_L C + (\varphi_L - \frac{U_0}{3})C = 0$ . Откуда получаем, что  $\varphi_L = \frac{4}{9}U_0$ .

Это не противоречит нашему предположению, что  $\varphi_L > \varphi_N$  (т. к.  $\frac{4}{9}U_0 > \frac{U_0}{3}$ ). Так как  $q_2 = q_{2 \text{ внутр}} = -q_{2 \text{ заземл}}$ , то  $q_{2 \text{ заземл}} = -\varphi_L C = -\frac{4}{9}U_0 C$ .

### Задание 5

Определите внутренний диаметр иглы шприца. Подробно опишите методику измерений и последовательность действий. Приведите расчётные формулы и результаты измерений.

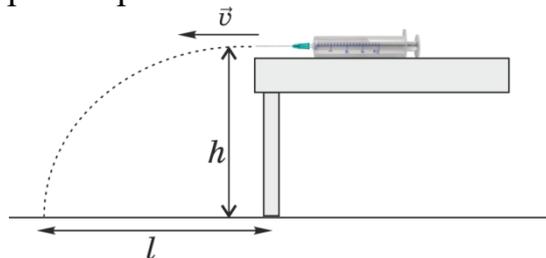
*Примечание:* в ходе измерений запрещается располагать шприц вертикально, лить воду на парту. Аккуратно обращайтесь с иглой шприца.

Оборудование: измерительная лента, шприц 20 мл, игла для шприца, секундомер, стакан с водой (100 мл), поддон для сбора воды, салфетки для поддержания чистоты.

### Решение

1. Объём шприца  $V = lS = vt \frac{\pi d^2}{4}$ , где  $l$  – длина вылившейся струи воды,  $t$  – время вытекания струи,  $v$  – скорость вытекания воды,  $d$  – диаметр иглы шприца. Отсюда можно выразить диаметр иглы шприца  $d = \sqrt{\frac{4V}{vt\pi}}$  (3 балла).

2. Определим скорость вытекания воды. Для этого расположим шприц с иглой горизонтально на краю парты.



$$l = vt = v \sqrt{\frac{2h}{g}} \Rightarrow v = \frac{l\sqrt{g}}{\sqrt{2h}} \quad (3 \text{ балла}).$$

3. Измерим высоту парты, дальность полёта и время выдавливания воды (2 балла).

4. Рассчитаем диаметр иглы:

$$d = \sqrt{\frac{4V}{vt\pi}} = 2 \sqrt{\frac{V\sqrt{2h}}{lt\pi\sqrt{g}}} \quad (1 \text{ балл}).$$

5. Если проведена серия измерений, то добавляется 1 балл.

**Критерии и методики оценивания выполненных олимпиадных заданий** муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике в Архангельской области в 2022/23 учебном году приводятся в соответствии с системой оценивания регионального этапа и осуществляются по критериям, предложенным Центральной предметно-методической комиссией. При этом муниципальным предметно-методическим комиссиям рекомендуется оценивать выполнение заданий согласно стандартной методике оценивания решений, если нет специальных указаний.

**Каждое задание оценивается в 10 баллов.**

**Максимальный балл – 50.**

<b>Баллы</b>	<b>Правильность (ошибочность) решения</b>
10	Полное верное решение
7–9	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки
5–7	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3–5	Решение содержит пробелы в образовании, приведены не все необходимые для решения уравнения
1–2	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения (или при ошибочном решении)
0	Решение неверное или отсутствует