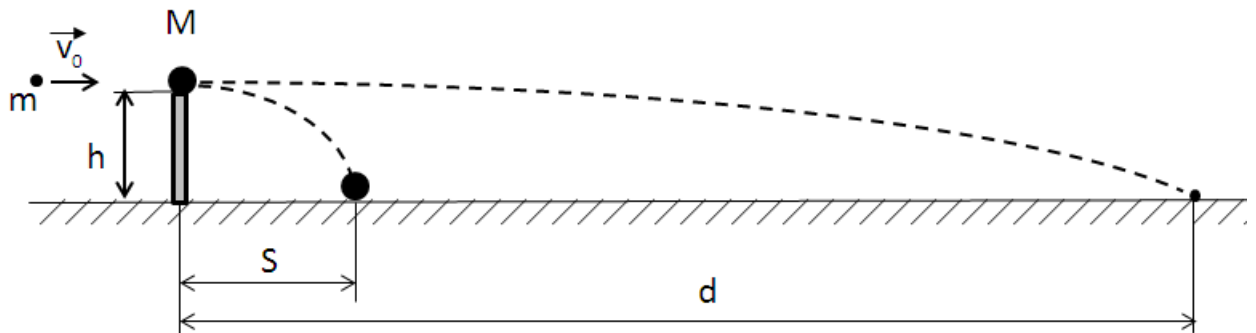


**Муниципальный этап  
Всероссийской олимпиады школьников  
по физике  
2018/19 учебный год  
11 класс**

**Возможные решения и критерии оценивания**

**1. «Стрельба по мишени»**

На вершине столба высотой  $h=5$  м покоится маленький шарик массой  $M=0,2$  кг. Пуля массой  $m=10$  г, двигаясь со скоростью  $500$  м/с, проходит горизонтально через центр шарика (рис.). После столкновения шарик достигает земли на расстоянии  $S=20$  м. На каком расстоянии  $d$  от основания столба упадет пуля? Какая часть кинетической энергии пули перейдет в тепло, когда пуля проходит через шар? Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным  $10$  м/с<sup>2</sup>.



**Решение:** Пусть  $v$  – горизонтальная составляющая скорости пули на выходе из шара,  $V$  – горизонтальная составляющая скорости шара после столкновения. Т. к. горизонтальные составляющие сил, действующих на систему «пуля+шар» равны нулю, то горизонтальная составляющая импульса этой системы до и после столкновения равны:

$mv_0 = mv + MV$ . Отсюда  $v = v_0 - \frac{M}{m}V$ . После столкновения шар и пуля продолжают

свободные движения в гравитационном поле Земли с постоянными горизонтальными составляющими скоростей  $V$  и  $v$ , соответственно. Движение шара и пули продолжится

одно и то же время  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ . Это время свободного падения тела с высоты  $h$ . За это время шарик и пуля пролетят в горизонтальном направлении, соответственно,  $s = Vt$  и  $d = vt$ .

Таким образом,  $V = S\sqrt{\frac{g}{2h}}$ . Отсюда  $v = v_0 - \frac{M}{m}S\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,  $d = v_0\sqrt{\frac{g}{2h}} - \frac{M}{m}S$ . Численно

$d=100$  м.

Первоначальная кинетическая энергия системы равна кинетической энергии пули:

$E_0 = \frac{mv_0^2}{2}$ . Непосредственно после столкновения полная кинетическая энергия системы

равна суммарной кинетической энергии шарика и пули:  $E_m = \frac{mv^2}{2}$ ,  $E_M = \frac{MV^2}{2}$

Их разница преобразуется в тепловую энергию:  $Q = \Delta E = E_0 - (E_m + E_M)$ . Это составляет следующую часть первоначальной кинетической энергии пули:

$$\varepsilon = \frac{Q}{E_0} = 1 - \frac{E_m + E_M}{E_0}.$$

Используя выражения для энергий и скоростей тел получим:

$$\varepsilon = \frac{MgS^2}{2hm v_0^2} \left( 2 \frac{v_0}{S} \sqrt{\frac{2h}{g} - \frac{M+m}{m}} \right).$$

Численно  $\varepsilon = 92,8 \%$ .

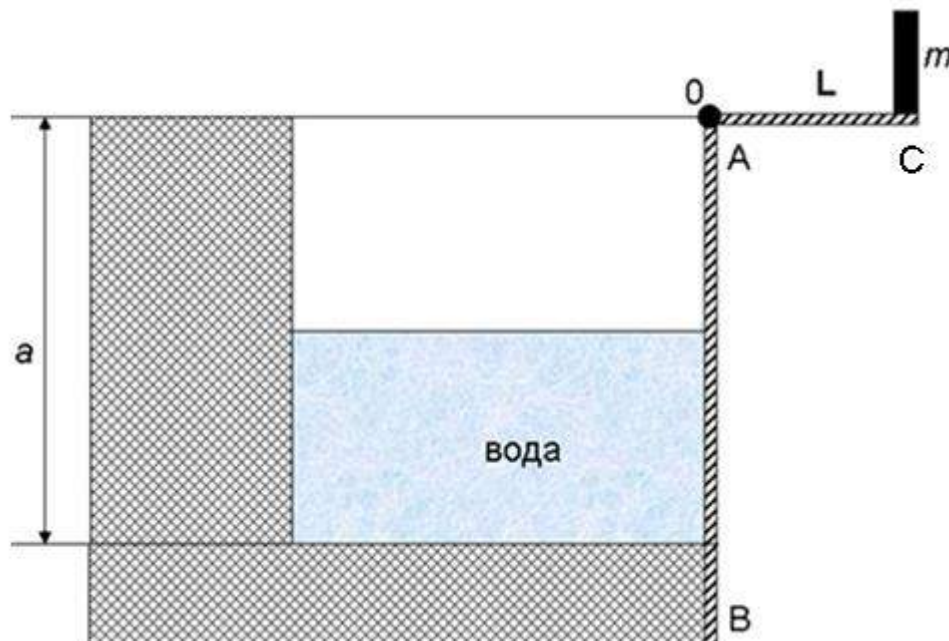
Ответ:  $d=100$  м,  $\varepsilon = 92,8 \%$ .

### Рекомендуемые критерии оценивания

1. Записан закон сохранения импульса для системы «пуля+шарик» и сформулировано условие его выполнения – 2 балла;
2. Найдено время движения тел после соударения – 1 балл;
3. Найдено расстояние, на которое полетит пуля – 3 балла;
4. Выражено количество выделенной при столкновении энергии через кинетические энергии тел – 2 балла;
5. Проведены преобразования и получен верный ответ для  $Q$  – 2 балла.

### 2. «Странный резервуар»

Квадратная пластина АВ стороной  $1,2a$  может вращаться вокруг горизонтальной оси О и блокирует от выливания воду, находящуюся в кубическом резервуаре стороной  $a$ , полностью перекрывая отсутствующую боковую грань емкости. Как только емкость наполнится водой наполовину, вода начинает выливаться из резервуара. Найти массу  $m$  удерживающего пластину от открывания груза, если он находится от оси на расстоянии  $L = a/2$ . Массы пластины АВ и АС соответственно равны  $m$  и  $m/2$ . Плотность воды  $\rho$ . Трением частей поворотного механизма пренебречь.



**Подсказка:** линия действия равнодействующей сил давления воды на пластину проходит на расстоянии  $2H/3$  от свободной поверхности жидкости.

**Решение:** При заполнении емкости на половину среднее боковое давление воды будет  $P = \frac{\rho g a}{4}$ , а сила давления воды на пластину  $F = \frac{\rho g a^3}{8}$ . Атмосферное давление действует на пластины с обеих сторон, поэтому им можно игнорировать в расчетах.

Поскольку линия действия равнодействующей сил давления воды на пластину проходит на расстоянии  $2H/3$  от свободной поверхности жидкости, плечо силы давления воды на пластину будет равно  $d_1 = \frac{a}{2} + \frac{a}{3} = \frac{5a}{6}$ .

Следовательно, момент равнодействующей сил давления воды на пластину будет равен

$$M_1 = F d_1 = \frac{5\rho g a^4}{48}.$$

Плечо силы тяжести пластины АВ относительно оси О равно нулю. Моменту  $M_1$  противодействуют моменты силы тяжести груза  $mM_2 = mgL = mg \frac{a}{2}$  и силы тяжести пластины АС  $M_3 = \frac{mga}{4}$ .

Из условия  $M_1 = M_2 + M_3$ , получим:  $\frac{5\rho g a^4}{48} = \frac{3mga}{4}$ .

Отсюда  $m = \frac{5\rho a^3}{36}$ .

Ответ:  $m = \frac{5\rho a^3}{36}$ .

### Рекомендуемые критерии оценивания

1. Найдено среднее боковое давление воды – 2 балла.
2. Найдена сила давления воды на пластину – 2 балла.
3. Найден момент равнодействующей сил давления воды на пластину – 3 балла.
4. Получено условие равновесия пластины АВ – 2 балла.
5. Проведены преобразования и получен верный ответ – 1 балл.

### 3. «Эксперимент со стеклянной трубкой и ртутью»

В сосуд со ртутью вертикально погружена длинная стеклянная трубка, открытая с обеих сторон. В части трубки, выступающей над поверхностью, заперт столбик газа высотой  $h_1 = 30$  см столбиком ртути высотой  $h_2 = 40$  см. Давление атмосферы равно  $H = 760$  мм ртутного столба. Газ в трубке находится при температуре  $t = 27$  °С. После того, как температура повысилась до  $57$  °С, длина столбика газа несколько изменилась. Передвигая трубку, достигли того, что ртутный столбик установился на первоначальном уровне. Пренебрегая термическим расширением ртути, вычислите длину  $h$  установившегося столбика воздуха.

**Решение:** Будем выражать все давления в см рт. ст. Из условия следует, что начальная высота столбика воздуха равна  $h_1 + h_2$  и давление в нем равно атмосферному.

При нагревании газа происходит его изобарное расширение до объема  $V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$ , где  $V_1 = S(h_1 + h_2)$  – начальный объем газа;  $V_2 = S(h_1 + h_2 + \Delta x)$ ;  $\Delta x$  – приращение высоты столбика воздуха из-за нагревания.

Из закона Гей-Люссака выразим  $\Delta x = (h_1 + h_2) \frac{T_2 - T_1}{T_1}$ ,  $\Delta x = 7$  см.

Последний процесс – изотермическое сжатие газа. По закону Бойля-Мариотта

$$h = \frac{H(h_1 + h_2 + \Delta x)}{H + \Delta x}$$

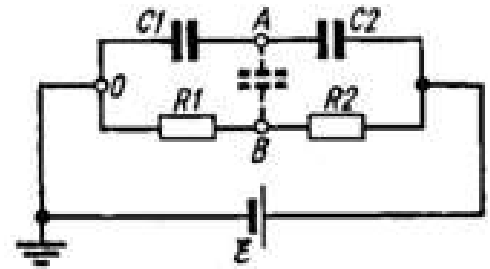
Ответ:  $h=70.5$  см.

#### Рекомендуемые критерии оценивания

1. Определена начальная высота столбика воздуха – 2 балла.
2. Указано на изобарное нагревание газа и найден объем  $V_2$  – 2 балла.
3. Найден  $\Delta x$  – 2 балла.
4. Указано на изотермическое сжатие газа в конечном процессе – 2 балла.
5. Проведены преобразования и получен верный ответ – 2 балла.

#### 4. «Мнимый конденсатор»

В цепи, изображённой на рисунке, э.д.с. источника равна  $\varepsilon$  (внутренним сопротивлением источника пренебречь). Каков был бы заряд конденсатора емкостью  $C$ , включённого между точками А и В?



**Решение:** Примем потенциал точки О за нуль и найдем потенциал точки А. Конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно, так что

$U_1 + U_2 = \varepsilon$ ,  $q_1 = q_2 = q$ . Здесь  $U_1$  и  $U_2$  – падения напряжения на конденсаторах  $C_1$  и  $C_2$  соответственно,  $q_1$  и  $q_2$  – заряды на конденсаторах.

Учитывая, что для первого и второго конденсаторов  $q = C_1 U_1 = C_2 U_2$ , находим

$$U_1 = \frac{\varepsilon C_2}{C_1 + C_2}.$$

Вследствие того, что  $U_1 = \varphi_A - \varphi_O$ , имеем  $\varphi_A = \frac{\varepsilon C_2}{C_1 + C_2}$ .

Теперь найдем потенциал точки В. Для второй ветви схемы  $U'_1 + U'_2 = \varepsilon$ ,

$$\frac{U'_1}{U'_2} = \frac{R_1}{R_2}. \quad \text{Следовательно, } U'_1 = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2}, \quad \varphi_B = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2}.$$

Зная  $\varphi_A$  и  $\varphi_B$  находим разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B = \frac{\varepsilon C_2}{C_1 + C_2} - \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2} = \frac{\varepsilon(C_2 R_2 - C_1 R_1)}{(C_1 + C_2)(R_1 + R_2)}$ .

Заряд конденсатора  $C$ , включенного между точками А и В равен

$$q = C(\varphi_A - \varphi_B), \quad q = \frac{C\varepsilon(C_2 R_2 - C_1 R_1)}{(C_1 + C_2)(R_1 + R_2)}.$$

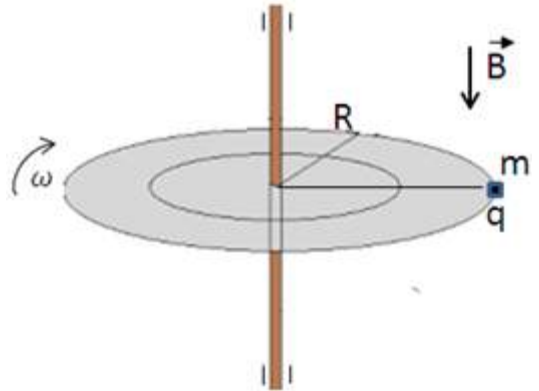
Ответ:  $q = \frac{C\varepsilon(C_2 R_2 - C_1 R_1)}{(C_1 + C_2)(R_1 + R_2)}$ .

#### Рекомендуемые критерии оценивания

1. Сформулированы условия последовательного соединения конденсаторов – 2 балла;
2. Найден потенциал точки А – 2 балла;
3. Сформулированы условия последовательного соединения резисторов – 2 балла;
4. Найден потенциал точки В – 2 балла;
5. Заряд конденсатора  $C$ , включенного между точками А и В – 2 балла.

### 5. «Юла»

Тонкий круглый пластмассовый диск, укрепленный concentрически на оси с хорошими подшипниками, раскручивают в магнитном поле, как показано на рисунке. Вблизи края диска удерживается небольшой брусок массой  $m$ , несущий отрицательный заряд  $q$ . Коэффициент трения между диском и бруском  $\mu$ . Чему равен радиус диска, если брусок соскользнет с диска при достижении угловой скорости вращения  $\omega$ ?



**Решение:** При вращении диска на заряд будет действовать сила Лоренца, направленная по правилу левой руки к центру окружности:  $F_L = qvB$ , где  $v = \omega R$  – линейная скорость бруска. Сила трения также направлена к центру окружности и равна  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ .

По второму закону Ньютона  $q\omega RB + \mu mg = m\omega^2 R$ .

Отсюда  $R = \frac{\mu mg}{m\omega^2 - q\omega B}$ .

Ответ:  $R = \frac{\mu mg}{m\omega^2 - q\omega B}$ .

#### Рекомендуемые критерии оценивания

1. Указано на действие на заряд силы Лоренца и записано её выражение – 2 балла.
2. Правильно применено правило левой руки и расставлены силы, действующие на брусок в инерциальной системе отсчета – 2 балла.
3. Выражена связь между линейной и угловой скоростями бруска – 2 балла.
4. Написано выражение для силы трения – 2 балла.
5. Правильно написан второй закон Ньютона для бруска, проведены преобразования и получен верный ответ – 2 балла.