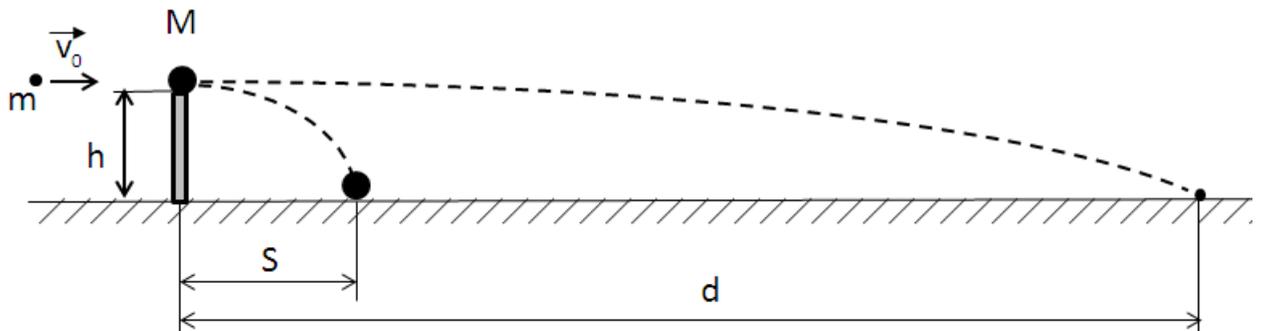


**Муниципальный этап
Всероссийской олимпиады школьников
по физике
2018/19 учебный год
11 класс**

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/с².



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 $\varepsilon = 92,8 \%$.

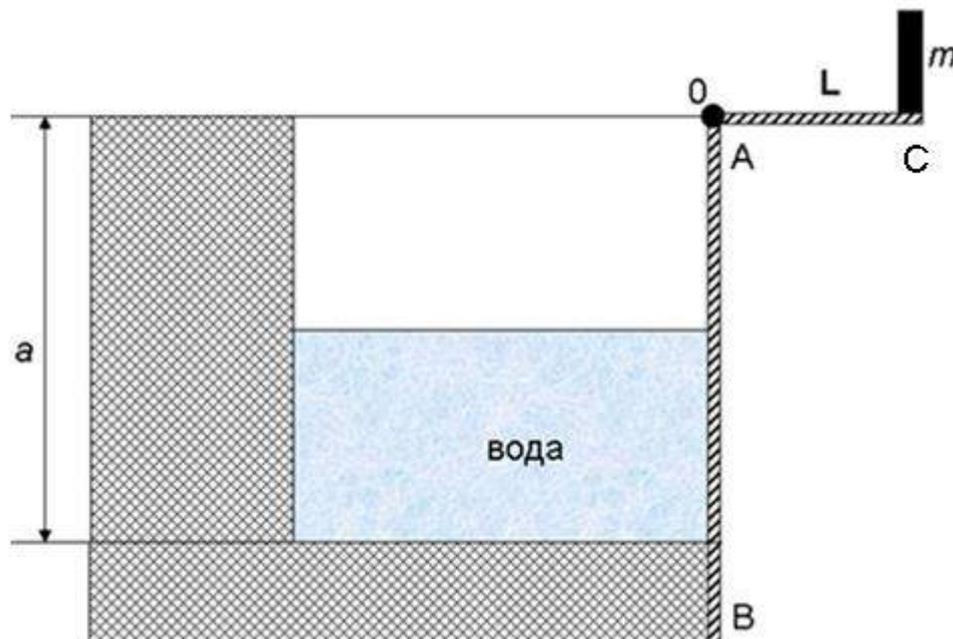
Ответ: $d=100$ м, $\varepsilon = 92,8 \%$.

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 ρ . 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; $V_2 = S(h_1 + h_2 + \Delta x)$; Δx – 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

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

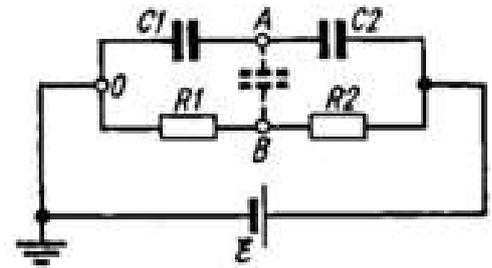
Ответ: $h=70.5$ см.

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 Δx – 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 ε (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 $U'_1 + U'_2 = \varepsilon$,

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

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

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

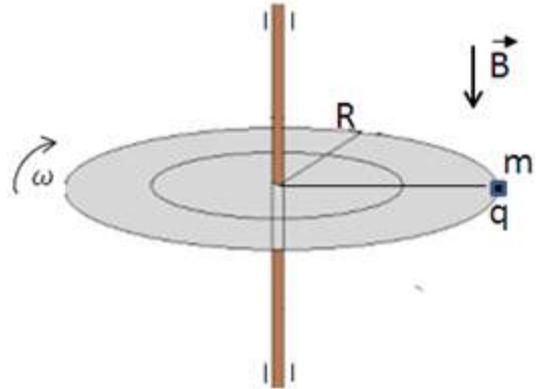
Ответ: $q = \frac{C\varepsilon(C_2 R_2 - C_1 R_1)}{(C_1 + C_2)(R_1 + R_2)}$.

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 μ . Чему равен радиус диска, если брусок соскользнет с диска при достижении угловой скорости вращения ω ?



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.