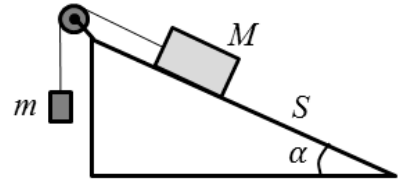


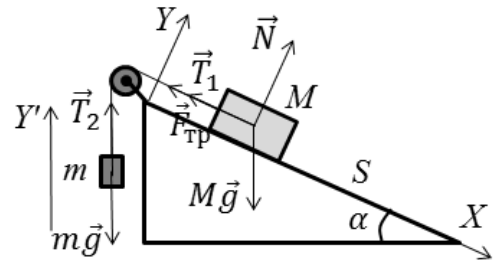
**Олимпиада «Ломоносов 2024 – 2025» по физике**  
**Отборочный этап**  
**решения к задачам для 10-х классов**

**1. Задача (20 баллов).**

Брусок массой  $M$  находится на неподвижной шероховатой наклонной плоскости с углом наклона  $\alpha = 30^\circ$  на расстоянии  $S = 0,8$  м от её основания. Он удерживается от скольжения при помощи невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок, трение в оси которого отсутствует. К другому концу нити подвешен груз массой  $m$  (см. рисунок). Экспериментально установлено, что брусок остаётся неподвижным при массах груза в диапазоне от  $m_1 = 300$  г до  $m_2 = 660$  г. В определённый момент времени нить пережигают. Определите, за какое время  $\tau$  брусок достигнет основания наклонной плоскости. Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ представить в секундах, округлив до сотых долей.



**Решение.** Отметим все силы, действующие на брусок и груз, и введем координатные оси, как показано на рисунке. На покоящийся брусок, помимо силы тяжести и силы натяжения нити  $T$ , действует ещё сила реакции опоры. Её касательная составляющая – сила трения покоя. Модуль этой силы может меняться от 0 до максимального значения, равного силе трения скольжения  $F_{\text{тр.ск}} = \mu N$ , где  $\mu$  – коэффициент трения бруска о наклонную плоскость,  $N$  – нормальная составляющая силы реакции опоры. Очевидно, что при массе подвешенного груза  $m = m_1$  сила трения покоя направлена вдоль наклонной плоскости вверх (как отмечено на рисунке) и равна по модулю  $\mu N$ . Такая же по модулю сила, но направленная вдоль наклонной плоскости вниз, будет действовать при массе груза  $m = m_2$ . Модуль нормальной составляющей силы реакции опоры равен при этом  $N = Mg \cos \alpha$ , т.к. брусок не имеет ускорения вдоль оси  $Y$ . Учтём, что из условия невесомости блока и нити, отсутствия трения в оси блока, а также неподвижности подвешенного груза, следует, что  $T_1 = T_2 = mg$ . Исходя из этого, запишем второй закон Ньютона для бруска в проекции на ось  $X$  для случаев, когда массы грузов равны  $m_1$  и  $m_2$ :



$$0 = Mg \sin \alpha - \mu Mg \cos \alpha - m_1 g ;$$

$$0 = Mg \sin \alpha + \mu Mg \cos \alpha - m_2 g .$$

Вычитая и складывая эти два уравнения, получим:

$$2Mg \sin \alpha = (m_1 + m_2) g ,$$

$$2\mu Mg \cos \alpha = (m_2 - m_1) g .$$

Поделив равенства друг на друга, найдём коэффициент трения  $\mu$ :

$$\mu = \left( \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) \cdot \operatorname{tg} \alpha .$$

После того как нить пережгли, уравнение движения бруска имеет вид:

$$Ma = Mg \sin \alpha - \mu Mg \cos \alpha .$$

Отсюда получим ускорение, с которым будет скользить брусок:

$$a = g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha = g \left( \sin \alpha - \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \alpha \right) = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \cdot g \sin \alpha .$$

Расстояние  $S$ , которое преодолел брусок, двигаясь с нулевой начальной скоростью, связано с ускорением и временем законом равнопеременного движения:

$$S = \frac{a\tau^2}{2} .$$

Отсюда получаем, что искомое время равно:

$$\tau = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 g \sin \alpha}} S .$$

$$\text{Ответ: } \tau = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 g \sin \alpha}} S$$

## 2. Задача (20 баллов).

Шар массы  $2M$  бросают вертикально вверх, сообщая ему скорость  $v_0 = 2,0$  м/с. К шару привязан груз массы  $M$  с помощью невесомой нерастяжимой нити длиной  $l = 0,1$  м. В момент броска шар и груз находятся практически в одной точке. Через какое время  $\tau$  после броска эти тела встретятся? Ускорение свободного падения принять равным  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Ответ представить в миллисекундах, округлив до целых.

**Решение.** Взаимодействие тел в момент натяжения нити происходит по законам упругого удара. Скорость шара в начале этого взаимодействия  $v_1$  определяется из известного соотношения для равнопеременного движения с начальной скоростью  $v_0$ :

$$v_1^2 = v_0^2 - 2gl . \tag{1}$$

Скорость  $v_1$  отсюда равна, очевидно  $v_1 = \sqrt{v_0^2 - 2gl}$ .

Для абсолютно упругого удара из законов сохранения импульса и кинетической энергии следуют равенства:

$$2Mv_1 = 2Mv_2 + Mu , \tag{2}$$

$$2Mv_1^2 = 2Mv_2^2 + Mu^2 , \tag{3}$$

где  $v_2$  и  $u$  скорости шара и груза после взаимодействия. Решая уравнения (2) и (3), получаем для этих скоростей результаты  $v_2 = v_1/3$  и  $u = 4v_1/3$ . Второе, формально существующее решение системы уравнений (2) и (3), соответствует отсутствию соударения шаров – больший шар не меняет скорости ( $v_2 = v_1$ ), а меньший так и остаётся в покое ( $u = 0$ ).

Если тела встречаются на расстоянии  $x$  от точки бросания спустя время  $\tau$  после начала движения шара, то

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 , \tag{4}$$

где  $\tau_1$  – время движения шара до взаимодействия,  $\tau_2$  – время сближения шара и груза после него. При этом для равнопеременного движения шара из точки бросания с начальной скоростью  $v_0$  до момента взаимодействия можно записать:

$$l = \frac{v_0 + v_1}{2} \cdot \tau_1 . \tag{5}$$

Закон движение шара с начальной скоростью  $v_2$  после взаимодействия до встречи с грузом:

$$x = l + v_2 \tau_2 - \frac{g \tau_2^2}{2}. \quad (6)$$

Закон движения груза до момента встречи с шаром:

$$x = u \tau_2 - \frac{g \tau_2^2}{2}. \quad (7)$$

Используя равенства (5) и (1), и избавляясь от иррациональности в знаменателе, для времени  $\tau_1$  получим:

$$\tau_1 = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g}.$$

А приравняв правые части равенств (6) и (7), и используя значения скоростей  $v_2$  и  $u$ , находим и время  $\tau_2$ :

$$\tau_2 = \frac{l}{u - v_2} = \frac{l}{4v_1/3 - v_1/3} = \frac{l}{v_1} = \frac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}}.$$

В итоге, складывая эти результаты, окончательно получаем ответ задачи:

$$\tau = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g} + \frac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}}.$$

**Ответ:**  $\tau = \frac{v_0 - \sqrt{v_0^2 - 2gl}}{g} + \frac{l}{\sqrt{v_0^2 - 2gl}}.$

### 3. Задача (20 баллов).

Расположенная вертикально закрепленная U – образная трубка с открытыми коленами и постоянным сечением частично заполнена ртутью. Одно из колен герметично закрывают сверху, а в другое доливают слой ртути высотой  $l = 5$  см. После установления равновесия воздушный столбик в закрытом колене имеет высоту  $L = 13$  см. Найдите изменение уровня ртути в открытом колене относительно начального положения. Известно, что опыт проводился при постоянной температуре, а высота столбика ртутного барометра, показывающего атмосферное давление, во время его проведения также была неизменной и составляла  $H_0 = 74$  см. Ответ выразите в мм и округлите до десятых долей.

**Решение.** Пусть  $x$  – искомое изменение,  $y$  – смещение уровня в закрытом колене (см. рисунок),  $\rho$  – плотность ртути,  $S$  – площадь поперечного сечения трубок. С учётом условия задачи атмосферное давление удобно записать так:  $p_0 = \rho g H_0$ , где  $H_0 = 74$  см. По условию:  $x + y = l$ .

Запишем равенство давлений на исходном уровне после установления равновесия:

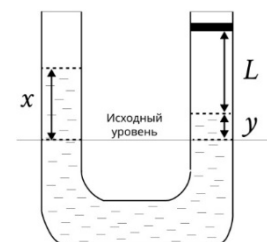
$$\rho g H_0 + \rho g x = p_1 + \rho g y,$$

где  $p_1$  – конечное давление воздуха в закрытом колене.

Произведение давления и объёма постоянно для изотермического процесса сжатия порции воздуха в закрытом правом колене, т.е.

$$\rho g H_0 (L + y) S = p_1 L S.$$

Из записанных уравнений найдём искомое изменение положения уровня ртути:



$$x = \frac{H_0 + L}{2L + H_0} \cdot l.$$

**Ответ:**  $x = \frac{H_0 + L}{2L + H_0} \cdot l.$

#### 4. Задача (20 баллов).

В начале процесса зарядки смартфона часть мощности  $\eta_1$  зарядного устройства расходуется на нагревание его аккумулятора. А при достижении аккумулятором номинального значения ЭДС  $\mathcal{E}_{\text{ном}} = 4,0 \text{ В}$  эта доля уменьшается до значения  $\eta_2 = \eta_1/k$ , где  $k=2$ . Определите по этим данным, насколько сильно разряжен аккумулятор, то есть отношение  $\alpha = \mathcal{E}_1/\mathcal{E}_{\text{ном}}$ , где  $\mathcal{E}_1$  – ЭДС разряженного аккумулятора. Считать, что внутреннее сопротивление аккумулятора не меняется в процессе его зарядки, а напряжение на выходе зарядного устройства поддерживается постоянным и равным  $U = 5,0 \text{ В}$ . Ответ приведите с точностью до тысячных долей.

**Решение.** Нагрев аккумулятора происходит в результате выделения тепла на его внутреннем сопротивлении  $r$  при протекании тока зарядки. По закону Джоуля Ленца мощность тепловыделения равна  $P_r = I^2 r$ . Силу протекающего через источник тока можно найти, используя закон Ома для неоднородного участка цепи. В процессе зарядки ток через аккумулятор протекает против его ЭДС, поэтому  $U = \mathcal{E} + Ir$ . При этом зарядное устройство развивает мощность  $P = IU$ . Доля тепловых потерь составляет, таким образом,

$$\eta_{1,2} = \frac{I_{1,2}^2 \cdot r}{I_{1,2} \cdot U} = 1 - \frac{\mathcal{E}_{1,2}}{U}.$$

Здесь индексами «1» и «2» обозначены силы токов и значения ЭДС

аккумулятора в начале и в конце зарядке, при этом  $\mathcal{E}_1 = \alpha \cdot \mathcal{E}_{\text{ном}}$  и  $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{\text{ном}}$ . Тогда отношение тепловых потерь  $k$  в начале и в конце процесса зарядки:

$$k = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{U - \mathcal{E}_1}{U - \mathcal{E}_2} = \frac{U - \alpha \cdot \mathcal{E}_{\text{ном}}}{U - \mathcal{E}_{\text{ном}}}.$$

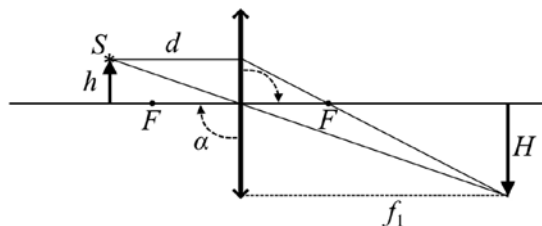
Отсюда уже нетрудно найти искомую величину – отношение  $\alpha = \mathcal{E}_1/\mathcal{E}_{\text{ном}}$ :

$$\alpha = \frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_{\text{ном}}} = k - (k - 1) \cdot \frac{U}{\mathcal{E}_{\text{ном}}}.$$

**Ответ:**  $\alpha = k - (k - 1) \cdot \frac{U}{\mathcal{E}_{\text{ном}}}.$

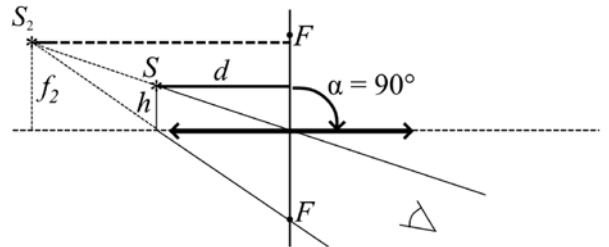
#### 5. Задача (20 баллов).

Линза создает действительное изображение объекта в виде тонкой светящейся стрелки, конец которой находится в точке  $S$  (см. рисунок), с линейным увеличением  $\Gamma = 2$ . Изображение находится на расстоянии  $f_1 = 7 \text{ см}$  от плоскости линзы, его длина  $H = 2 \text{ см}$ . Линзу поворачивают на угол  $\alpha = 90^\circ$  относительно оси, проходящей через её оптический центр перпендикулярно плоскости рисунка. Источник изображения при этом остается на месте. Найдите  $k$  – отношение расстояния  $f_2$  от нового изображения конца стрелки  $S_2$  до плоскости линзы после её поворота длине стрелки  $h(k = f_2/h)$ . Ответ округлить до сотых долей.



**Решение.** Действительное изображение может быть получено только с помощью собирающей линзы, как показано на рисунке к условию задачи. Линейное увеличение линзы  $\Gamma = f_1/d$ , где  $d$  и  $f_1$  – расстояние от источника и его изображения до плоскости линзы соответственно. С учётом этого, найдём фокусное расстояние, используя формулу тонкой линзы:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_1}$ , откуда  $F = \frac{f_1}{\Gamma + 1}$ . Зная  $\Gamma$ , также определим размер источника (длину стрелки)  $h$ :  $h = H/\Gamma$ .

После поворота в качестве расстояния от источника  $S$ , расположенного на конце стрелки, до линзы, как раз и будет использоваться величина  $h$ . При этом линза создаёт теперь мнимое изображение источника, так как  $h < F$ . Новое изображение расположено на расстоянии  $f_2$  от новой плоскости линзы (см. рисунок к решению). Запишем формулу линзы для её нового



положения:  $\frac{1}{F} = \frac{1}{h} - \frac{1}{f_2}$ , откуда с учётом результатов для  $F$  и  $h$  найдём расстояние

$f_2 = \frac{f_1 H}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}$ . Отсюда, поделив на длину стрелки  $h$ , получим ответ задачи:

$$k = \frac{f_2}{h} = \frac{\Gamma f_1}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}.$$

**Ответ:**  $k = \frac{f_2}{h} = \frac{\Gamma f_1}{\Gamma f_1 - (\Gamma + 1)H}$

Красным выделен варьируемый параметр в задаче.

Критерий оценивания:

Получен верный численный ответ	Полный балл
Нет верного численного ответа	0 баллов

**Олимпиада «Ломоносов 2024 – 2025» по физике**  
**Отборочный этап**  
**решения к задачам для 7-х – 9-х классов**

**1.Задача (20 баллов).**

Мальчик пошел ловить рыбу на речку. Он захватил принадлежности для ловли, в частности поплавок в форме прямоугольного параллелепипеда с размерами  $a = 1$  см,  $b = 1$  см,  $c = 10$  см, изготовленный из пластика без полостей. К нему со стороны меньшего основания привязана леска таким образом, что при закидывании в воду большее ребро находится всегда вертикально. Известно, что при закидывании поплавок с грузиком сила натяжения лески составляет  $F = 0,01$  Н, а поплавок выступает над поверхностью воды на  $l = 2$  см. Найти плотность пластика. Считайте что леска вертикальна и ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

**Решение**

Объем поплавок:  $V = abc$ . Объем погруженной части поплавок  $V_{\text{п}} = ab(c - l)$ . Запишем второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось:

$$0 = F + mg - F_A,$$

где  $m$  – масса поплавок,  $F_A$  – сила Архимеда, действующая на поплавок. Данные величины определяются соотношениями:

$$m = \rho_{\text{п}} V,$$

$$F_A = \rho_{\text{в}} g V_{\text{п}},$$

где  $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{в}}$  – плотности пластика и воды соответственно. Подставив данные соотношения во второй закон Ньютона получим исходную плотность пластика:

$$\rho_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{в}} ab(c - l)g - F}{abcg}$$

**2.Задача (20 баллов).**

На соревнованиях по бегу спортсмен под стартовым номером 1 избрал следующую тактику забега. Первую половину дистанции он бежал со скоростью  $v = 1,0$  м/с. В оставшейся части забега первую половину времени спортсмен бежал со скоростью  $2v$ , а последний участок дистанции – со скоростью  $3v$ . Спортсмен под стартовым номером 2 решил весь забег бежать с одной скоростью. С какой скоростью бежал спортсмен № 2, если оба бегуна прошли дистанцию за одинаковое время? Ответ дать в м/с и округлить до сотых.

**Решение.**

Разобьем весь путь на участки, где скорость постоянна. На второй половине пути время движения со скоростью  $2v$  и  $3v$  одинаково, обозначим пути  $2S$  и  $3S$  соответственно. Тогда первую половину пути обозначим  $5S$ .

Найдем среднюю скорость движения первого бегуна как отношение пути на всей дистанции к общему времени забега:

$$v_{1\text{ср}} = \frac{5S + 2S + 3S}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{5S + 2S + 3S}{\frac{5S}{v} + \frac{2S}{2v} + \frac{3S}{3v}} = \frac{10v}{7}.$$

Второй бегун движется к финишу с постоянной скоростью. Чтобы спортсмены финишировали одновременно, второй спортсмен должен двигаться со скоростью

$$v_2 = v_{1\text{ср}} = \frac{10v}{7}$$

### 3. Задача (20 баллов).

Дедушка в очень жаркий летний день решил сварить морс любимому внуку, затем поставил на стол кувшин с морсом, положив туда 5 одинаковых кусочков льда массой  $m_1 = 10$  г каждый. Масса морса равна  $m_2 = 500$  г, масса кувшина  $m_3 = 600$  г, а лёд, кувшин и морс первоначально находились в состоянии теплового равновесия при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Сразу после того, как весь лёд растаял, масса морса в кувшине стала равна  $m_4 = 541$  г. Какое количество теплоты было получено из окружающей среды всем содержимым кувшина? Удельная теплота кристаллизации морса при  $0^\circ\text{C}$   $\lambda = 330$  кДж/кг, удельная теплота парообразования морса при  $0^\circ\text{C}$   $L = 2500$  кДж/кг, удельные теплоемкости морса и кувшина равны  $c_m = 4200$  Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$  и  $c_k = 900$  Дж/кг $\cdot^\circ\text{C}$  соответственно. Ответ дать в кДж.

#### Решение

В кувшине с течением времени плавился лёд, поэтому температура кувшина и его содержимого не менялась и была равна  $0^\circ\text{C}$ . Так как морс и кувшин имеют температуру  $0^\circ\text{C}$ , то они не получают из окружающей среды количество теплоты и не изменяют свою температуру.

Найдем количество теплоты, полученное кусочками льда от окружающей среды, при плавлении:

$$Q_1 = 5\lambda m_1.$$

Первоначальная масса содержимого кувшина была равна  $m_2 + 5m_1 = 550$  г, а после того, как весь лёд растаял, стала равна  $m_4$ . По закону сохранения массы можно сделать вывод, что масса  $m_2 + 5m_1 - m_4$  содержимого кувшина испарилась при  $0^\circ\text{C}$ . При этом количество теплоты, полученное от окружающей среды при испарении содержимого кувшина, равно:

$$Q_2 = L(m_2 + 5m_1 - m_4).$$

Тогда общее количество теплоты равно:

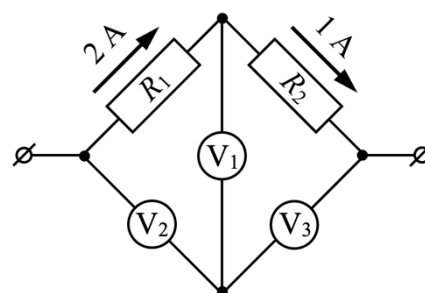
$$Q = Q_1 + Q_2 = 5\lambda m_1 + L(m_2 + 5m_1 - m_4).$$

Искомое количество теплоты будет равно:

$$Q = 5\lambda m_1 + L(m_2 + 5m_1 - m_4)$$

### 4. Задача (20 баллов).

Участок цепи, показанный на рисунке, состоит из трех одинаковых вольтметров  $V_1$ ,  $V_2$  и  $V_3$  и двух резисторов с сопротивлениями  $R_1 = 1$  Ом и  $R_2 = 3R_1$ . Известно, что через резистор  $R_1$  и  $R_2$  протекают токи 2 А и 1 А соответственно. Найти показания вольтметра  $V_3$ . Ответ дать в В с точностью до десятых.



#### Решение.

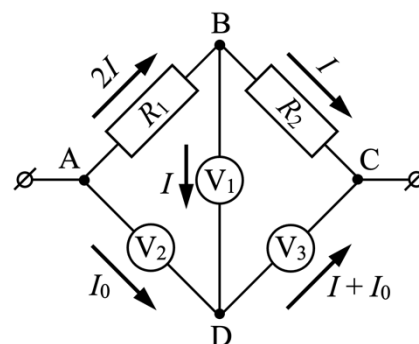
Обозначим  $I = 1$  А силу тока через резистор  $R_2$  и  $2I$  силу тока через резистор  $R_1$ . Вольтметры одинаковые, обозначим их внутреннее сопротивление  $R_0$ . Через вольтметр  $V_1$  течет ток  $I$  вниз. Токи через вольтметры  $V_2$  и  $V_3$  обозначены на рисунке.

Напряжения на участках AD и BC:

$$U_{AD} = 2IR_1 + IR_0 = I_0 R_0$$

$$U_{BC} = IR_2 = IR_0 + (I + I_0)R_0$$

Подставим  $I_0 R_0$  из первого уравнения во второе,



учитывая, что  $R_2 = 3R_1$ :

$$3IR_1 = IR_0 + IR_0 + 2IR_1 + IR_0 \Rightarrow R_0 = \frac{R_1}{3}.$$

Тогда сила тока  $I_0$  равна:

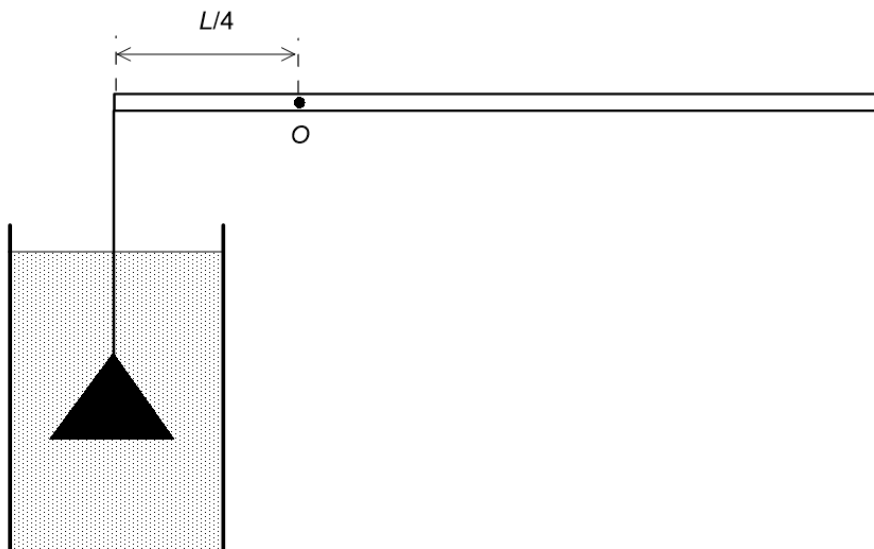
$$I_0 = \frac{I(2R_1 + R_0)}{R_0} = I \left( \frac{2R_1}{R_0} + 1 \right) = 7I = 7 \text{ A}.$$

Напряжение на вольтметре  $V_3$  равно:

$$U_3 = (I + I_0)R_0 = \frac{8IR_1}{3}$$

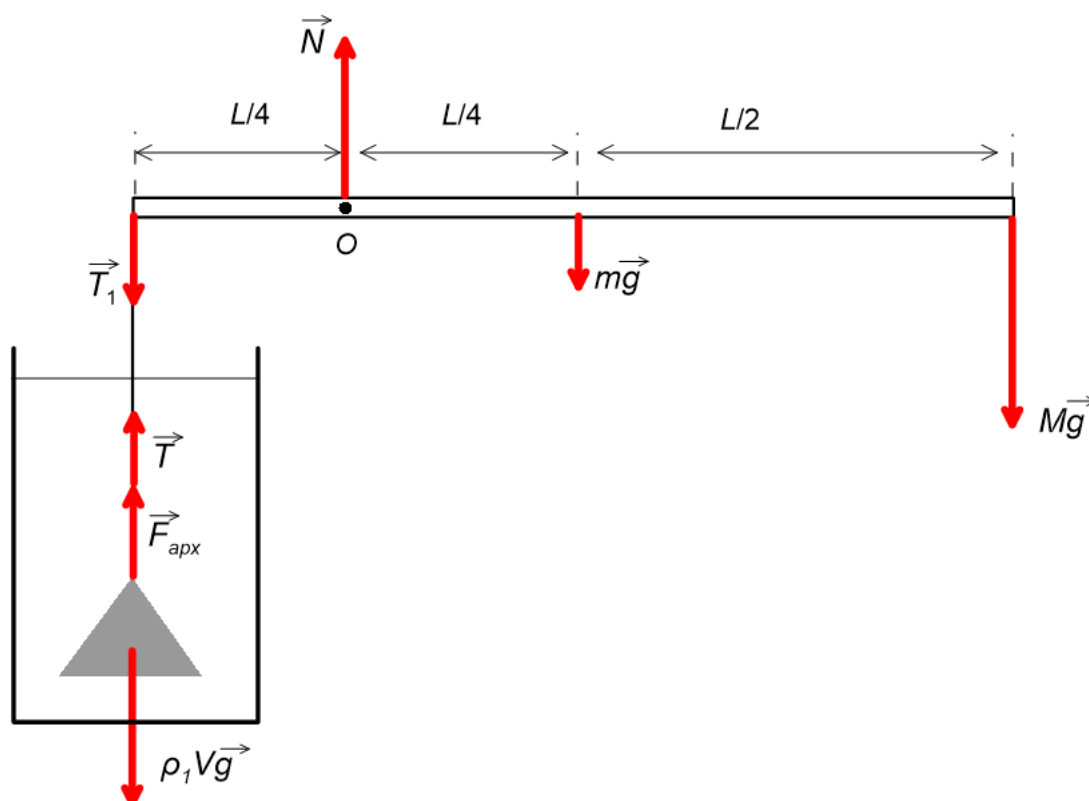
### 5. Задача (20 баллов).

Однородное тело, имеющее форму правильного тетраэдра с ребром  $a = 0,22$  м, подвешено за одну из своих вершин на невесомой и нерастяжимой нити к левому концу стержня длины  $L$  и массой  $m = 0.5$  кг. При этом оно полностью погружено в воду, не касаясь стенок сосуда. Стержень может свободно вращаться вокруг неподвижной горизонтальной оси, проходящей через точку  $O$ , отстоящей на расстоянии  $L/4$  от его левого края. Найти минимальную массу груза  $M$ , который необходимо подвесить к стержню, чтобы он сохранял свое горизонтальное положение. Плотность воды принять равной  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>, плотность тела —  $\rho_1 = 7700$  кг/м<sup>3</sup>. Стержень считать однородным. Ответ дать в килограммах, округлив до сотых.





Решение:



Условие минимальности массы  $M$  груза, будет выполняться, если данный груз будет подвешен к правому концу стержня. На рисунке, представлены силы, действующие на тела, составляющие систему для данного случая. Объем правильного тетраэдра с ребром  $a$  определяется формулой  $V = a^3 \sqrt{2}/12$ . Поэтому условие равновесия тела, погруженного в воду, в проекции на вертикальную ось, может быть записано в виде:

$$T = \rho_1 V g - F_{\text{арх}}; \Rightarrow T = (\rho_1 - \rho) g \frac{\sqrt{2}}{12} a^3;$$

Так как нить невесома, то  $|\vec{T}_1| = |\vec{T}| = T$ . Запишем уравнение моментов сил, действующих на стержень, относительно оси O:

$$T \frac{L}{4} = mg \frac{L}{4} + Mg \frac{3L}{4}; \Leftrightarrow (\rho_1 - \rho) \frac{\sqrt{2}}{12} a^3 = m + 3M;$$

Откуда получаем выражение для минимальной массы  $M$ :

$$M = \frac{1}{3} \left[ (\rho_1 - \rho) \frac{\sqrt{2}}{12} a^3 - m \right]$$

С учетом численных значений, имеем расчетную формулу:

$$M = \frac{1}{3} \left[ 1675 \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} a^3 - 0,5 \right]$$

Красным выделен варьируемый параметр в задаче.

Критерий оценивания:

Получен верный численный ответ	Полный балл
Нет верного численного ответа	0 баллов