

**ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП
2021-2022 УЧЕБНЫЙ ГОД
ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАДЫ
ПО ФИЗИКЕ**

Задания заключительного этапа по физике включают по 5 задач для каждого класса. На его выполнение отводится 4 часа (**180 минут**). Внимательно прочтите задания. Постарайтесь взять задания в том порядке, в котором они даны. К пропущенному заданию можете вернуться после выполнения всей работы, если останется время. Разрешается пользоваться калькулятором.

Физические постоянные, которые могут быть востребованы при решении задач для 8-11 классов:

Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$.

Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Плотность алюминия $\rho_{\text{А}} = 2700 \text{ кг/м}^3$,

Теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Теплоемкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$.

Теплоемкость железа $c_{\text{ж}} = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°С)}$.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$.

Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}\cdot\text{м}^{-1}$, $k = 1/(4\pi\epsilon_0) = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н}\cdot\text{м}^2)/\text{Кл}^2$.

Гравитационная постоянная $G \approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг}\cdot\text{с}^2)$.

Удачи!

9 класс (Вариант 1)

Задача 1. Три поезда

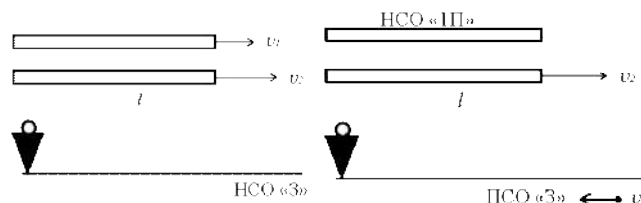
Пассажир поезда 1, движущегося равномерно со скоростью 54 км/ч, видит в течение 60 с товарный поезд (поезд 2) длиной 350 м, который движется по соседнему пути в том же направлении с большей скоростью. На каком расстоянии (в км) от станции экспресс (поезд 3), идущий со скоростью 30 м/с нагонит товарный поезд, если экспресс вышел от станции через 10 мин после отправления товарного поезда? (**10 баллов**)

$\vec{v}_a = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_{\text{суст}}$	2 балла
$v_a = v_{\text{отн}} - v_{\text{суст}} = v_2 - v_1$	2 балла
$l = v_a \cdot t = (v_2 - v_1) \cdot t \quad v_2 = v_1 + \frac{l}{t} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	2 балла

Учитывая разницу времен движения поездов, напишем уравнение перемещения каждого поезда. $S_T = v_T \cdot t$ (1) $S_3 = v_3(t - \tau)$ (2) $S_T = S_3$ $v_T \cdot t = v_3(t - \tau)$ $t = \frac{v_3 \tau}{v_3 - v_T}$	2 балла
$t = 1800 \text{ с}$, $l = 36 \text{ км}$	2 балла

Дано:
 $l = 300 \text{ м}$
 $v_1 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
 $t = 60 \text{ сек}$
 $l = ?$

Решение:



Пусть первый поезд будет неподвижной системой отсчета (НСО «1П»), Земля – подвижной системой отсчета (ПСО «3»), тогда:

$$(1) \vec{v}_a = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{сист}; \quad (2) \quad v_a = v_{отн} - v_{сист} = v_2 - v_1$$

$$l = v_a \cdot t = (v_2 - v_1) \cdot t \quad v_2 = v_1 + \frac{l}{t} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Учитывая разницу времен движения поездов, напишем уравнение перемещения каждого поезда.

$$S_T = v_T \cdot t \quad (1) \quad S_3 = v_3(t - \tau) \quad (2)$$

$$S_T = S_3 \quad v_T \cdot t = v_3(t - \tau) \quad t = \frac{v_3 \tau}{v_3 - v_T}$$

$t = 1800 \text{ сек}$	$l = v_T \cdot t = 36 \text{ км}$
------------------------	-----------------------------------

Задача 2. Вода и лёд

В алюминиевый стакан калориметра массой 26 г налита вода объемом 100 см^3 при температуре 90°C . После того как в калориметр положили кусок льда при температуре 0°C и дождались установления теплового равновесия, температура воды в калориметре стала 20°C . Удельная теплоёмкость алюминия $900 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$, удельная теплота плавления льда $33 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{кг}$, плотность воды $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Найдите массу добавленного льда. **(10 баллов)**

определена масса 150 г	2 балла
$F_{\max} = 1,5 \text{ Н} - 1,0 \text{ Н} = 0,5 \text{ Н}$	2 балла
$V = \frac{F_{\max}}{\rho_{\text{воды}} g} = \frac{0,5 \text{ Н}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 0,00005 \text{ м}^3 = 50 \text{ см}^3$	2 балла
плотность материала груза: $\rho = \frac{m}{V} = \frac{150 \text{ г}}{50 \text{ см}^3} = 3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 3000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	2 балла
$S = \frac{V}{h} = \frac{50 \text{ см}^3}{5 \text{ см}} = 10 \text{ см}^2$	2 балла

Решение: Распишем количества теплоты для тел, участвующих в теплообмене.

Для стакана калориметра: $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$, где $c_1 = 900 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – удельная теплоёмкость алюминия, $m_1 = 0,026 \text{ кг}$ – масса стакана калориметра, $t = 20^\circ\text{C}$ – конечная температура в калориметре, $t_1 = 90^\circ\text{C}$ – начальная температура стакана и воды в ней.

Для воды: $Q_2 = c_2 \rho_2 V_2 (t - t_1)$, где $c_2 = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ – удельная теплоёмкость воды, $\rho_2 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ – плотность воды, $V_2 = 0,0001 \text{ м}^3$ – объём воды, $t = 20^\circ\text{C}$ – конечная температура в калориметре, $t_1 = 90^\circ\text{C}$ – начальная температура стакана и воды в ней.

Для льда: $Q_3 = m_3 (c_2 (t - t_3) - \lambda)$, где m_3 – масса льда, которую нужно найти, $t_3 = 0^\circ\text{C}$ – начальная температура льда, $\lambda = 33 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{кг}$ – удельная теплота плавления льда.

Далее составляем уравнение теплового баланса, предполагая, что калориметр не теряет тепловую энергию: $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ и вычисляем массу льда: $m_3 \approx 75 \text{ г.}$ **(10 баллов)**

Задача 3. Падение шариков

С аэростата сбросили два шарика одинакового объема 4 см^3 , один алюминиевый ($\rho_{\text{А}}=2700 \text{ кг}/\text{м}^3$), другой железный ($\rho_{\text{Ж}}=7800 \text{ кг}/\text{м}^3$). Шарики соединены длинной невесомой и нерастяжимой нитью. Найти натяжение нити (в миллиньютонках) после того, как из-за сопротивления воздуха движение шариков станет установившемся, то есть они приобретут постоянные скорости. $g=10 \text{ м}/\text{с}^2$.

Указано $v = \text{const}$,	1
$m_{\text{ж}}g - F_{\text{сопр}} - T = 0$,	2
$T + m_{\text{ал}}g - F_{\text{сопр}} = 0$.	2
Решение данной системы уравнений: $\frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{ал}})Vg}{2}$	3
Получен ответ $T = 102 \text{ мН}$.	2

Решение: Напишем выражения первого закона Ньютона для каждого из шаров:

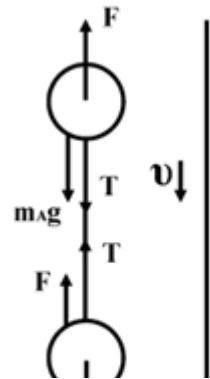
$$v = \text{const},$$

$$m_{\text{ж}}g - F_{\text{сопр}} - T = 0,$$

$$T + m_{\text{ал}}g - F_{\text{сопр}} = 0.$$

Решение данной системы уравнений даёт ответ:

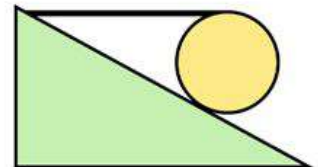
$$T = \frac{(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{ал}})Vg}{2} = 102 \text{ мН}.$$



Задача 3. Цилиндр на наклонной плоскости

Однородный цилиндр массой 2 кг поместили на шероховатую наклонную плоскость, составляющую угол 30° с горизонтом, и закрепили с помощью легкой нерастяжимой нити (см.рисунок).

Цилиндр неподвижен, и при этом нить, прикрепленная к середине его верхней образующей, горизонтальна. Найдите силу натяжения нити.



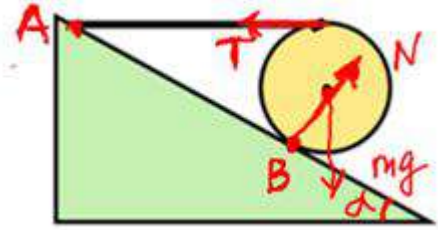
Записано условие равновесия цилиндра в векторной форме: $m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0$.	2
Записано уравнение моментов для нахождения силы натяжения относительно В: $mgd_1 - TL_1 = 0$, $d_1 = R\sin 30^\circ$, $L_1 = R + R\cos 30^\circ$	2
Вычислена сила натяжения $T \approx 5,36 \text{ Н}$.	2
Записано уравнение моментов для нахождения силы нормального давления относительно А: $mgd_2 - NL_2 = 0$, $d_2 = L_2$, $L_2 = AB$	2

Решение: Каждый раздел по 2 балла (всего 10 баллов)

- 1) Записано условие равновесия цилиндра в векторной форме:

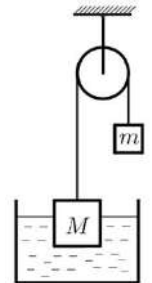
$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0.$$

- 2) Записано уравнение моментов для нахождения силы натяжения относительно B: $mgd_1 - TL_1 = 0$, $d_1 = R\sin 30^\circ$, $L_1 = R + R\cos 30^\circ$
- 3) Вычислена сила натяжения $T \approx 5,36\text{Н}$.
- 4) Записано уравнение моментов для нахождения силы нормального давления относительно A: $mgd_2 - NL_2 = 0$, $d_2 = L_2$, $L_2 = AB$
- 5) Вычислена сила нормального давления $N = mg = 20\text{ Н}$.



Задача 4. Блок

Система грузов массы m и $M = 4m$, показанная на рисунке, находится в равновесии. Груз массы M погружён в жидкость на $3/5$ своего объёма. Нить невесомая. Найдите отношение плотности груза массы M к плотности жидкости. (10 баллов)



условия равновесия для грузов: $T - mg = 0$,	2 балла
$F_A + T - Mg = 0$.	3 балла
Архимедова сила, действующая на груз массы M : $F_A = \rho_{\text{ж}} \frac{3}{5} Vg = \rho_{\text{ж}} \frac{3}{5} \frac{M}{\rho_{\text{T}}} g$.	3 балла
Решение системы уравнений даёт ответ: $\frac{\rho_{\text{T}}}{\rho_{\text{ж}}} = 0,8$.	2 балла

Решение: Напишем условия равновесия для грузов:

$$T - mg = 0,$$

$$F_A + T - Mg = 0.$$

Архимедова сила, действующая на груз массы M :

$$F_A = \rho_{\text{ж}} \frac{3}{5} Vg = \rho_{\text{ж}} \frac{3}{5} \frac{M}{\rho_{\text{T}}} g.$$

Решение системы уравнений даёт ответ:

$$\frac{\rho_{\text{T}}}{\rho_{\text{ж}}} = 0,8.$$

Задача 5. Три резистора

Если клеммы А и В подключить к источнику с напряжением 10 В, а к клеммам С и D подключить вольтметр, то он покажет напряжение 8 В. Если к тому же источнику подключить клеммы С и D, то на клеммах А и В напряжение равно 4 В. Найти значение сопротивлений, если $R_1 + R_2 + R_3 = 22\text{ Ом}$ (см.

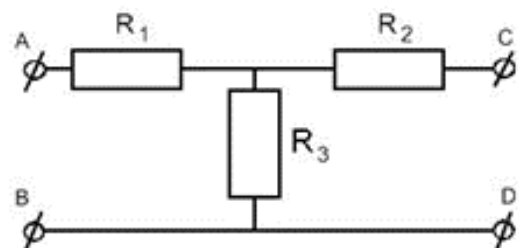
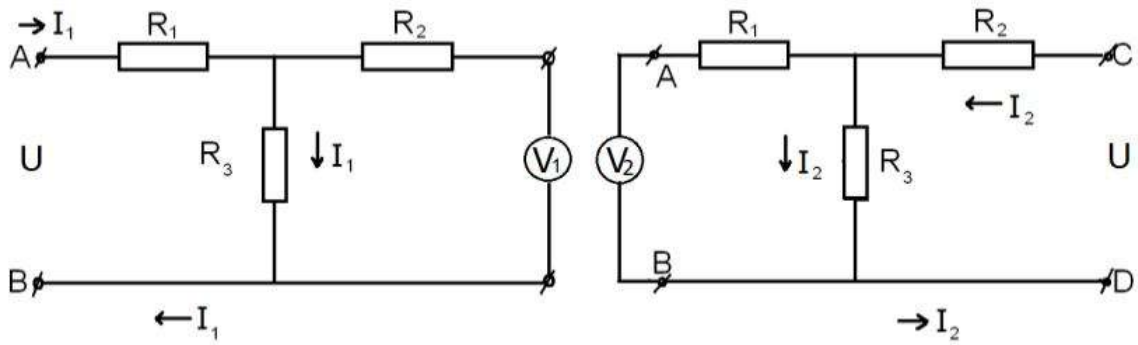


рис.).(10 баллов)



Указано $R_1, R_2, R_3 \ll R_B$	1 балл
$I_1 = \frac{u}{R_1 + R_3}$	1 балл
$I_2 = \frac{u}{R_2 + R_3}$	1 балл
$u_1 = I_1 R_3 = \frac{u}{R_1 + R_3} R_3$	2 балла
$u_2 = I_2 R_3 = \frac{u}{R_2 + R_3} R_3$	1 балл
Определены $R_1 = R_3 \left(\frac{u}{u_1} - 1 \right), R_2 = R_3 \left(\frac{u}{u_2} - 1 \right)$	2 балла
найлены $R_3 = R \frac{u_1 u_2}{u(u_2 + u_1) - u_1 u_2} = 8 \text{ (Ом)}$ $R_1 = 2 \text{ (Ом)}; R_2 = 12 \text{ (Ом)}$	2 балла

Дано:

$$u = 10 \text{ В}$$

$$u_1 = 8 \text{ В}$$

$$u_2 = 4 \text{ В}$$

$$R_1 + R_2 + R_3 =$$

$$R = 22 \text{ (Ом)}$$

$$R_3 = ?; R_2 = ?$$

$$R_1 = ?$$

Решение:

$$R_1, R_2, R_3 \ll R_B$$

$$(1) \boxed{I_1 = \frac{u}{R_1 + R_3}}; (2) \boxed{I_2 = \frac{u}{R_2 + R_3}}$$

$$(3) u_1 = I_1 R_3 = \frac{u}{R_1 + R_3} R_3; (4)$$

$$u_2 = I_2 R_3 = \frac{u}{R_2 + R_3} R_3$$

$$\text{из ф.3: } R_1 = R_3 \left(\frac{u}{u_1} - 1 \right) (5); \text{ из ф.4: } R_2 = R_3 \left(\frac{u}{u_2} - 1 \right) (6)$$

$$\text{из условия } R_1 + R_2 + R_3 = R (7)$$

$$\text{ф.5,6 - ф.7: } R_3 = R \frac{u_1 u_2}{u(u_2 + u_1) - u_1 u_2} = 8 \text{ (Ом)}$$

$$R_1 = 2 \text{ (Ом)}; R_2 = 12 \text{ (Ом)}$$

9 класс (Вариант 2)

Задача 1. Автобус и мотоциклист

Из пункта А в направлении пункта В, находящегося на расстоянии 260 км от пункта А, по прямолинейной дороге выехал автобус. Навстречу ему в тот же момент из пункта В выехал мотоциклист. В момент встречи автобус и мотоциклист остановились. В течении первых 50 мин автобус двигался со скоростью 74 км/ч, в оставшееся время – со скоростью 91 км/ч. Мотоциклист двигался со скоростью 120 км/ч. Найдите среднюю скорость автобуса в км/ч. **(10 баллов)**

Найден скорость мотоциклиста $v_M = 120$ км/ч,	2 балла
Указано изменение скорости автобуса за $t_1 = 50$ минут с $v_1 = 74$ км/ч на $v_2 = 91$ км/ч:	2 балла
$v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_M(t_1 + t_2) = L,$	2 балла
Выведена формула $v_{cp} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2}$	2 балла
найдена средняя скорость $v_{cp} \approx 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	2 балла

Решение: До встречи с автобусом мотоциклист ехал с постоянной скоростью $v_M = 120$ км/ч, а скорость автобуса изменилась через $t_1 = 50$ минут с $v_1 = 74$ км/ч на $v_2 = 91$ км/ч:

$$v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_M(t_1 + t_2) = L,$$

где $L = 260$ км – расстояние между пунктами А и В, t_2 – время, в течение которого автобус ехал со скоростью $v_2 = 91$ км/ч. Из данного выражения вычисляем t_2 , что позволяет найти среднюю скорость автобуса:

$$v_{cp} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_2} \approx 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ: ≈ 80 км/ч

Задача 2. Тефаль Известно, что в электрическом чайнике типа «Тефаль» $V = 1,5$ л закипают через $\tau = 5$ минут. Оцените с какой скоростью будет выходить струя пара из отверстия носика чайника. Площадь отверстия $S = 5 \text{ см}^2$, плотность насыщенного водяного пара при температуре $t_{\text{кип}} = 100$ °С равна $\rho_{\text{н.п.}} = 0,59 \text{ кг/м}^3$. Удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг. **(10 баллов)**

Введена начальную температуру воды равная примерно комнатной температуре 20 °С	2
количество теплоты $Q = c\rho V(100 - 20)^\circ\text{C} = 504 \text{ кДж}$	2
$N = \frac{Q}{\tau} = 1680 \text{ Вт.}$	2
$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{N}{r} = \frac{\rho_{\text{н.п.}} S v \Delta t}{\Delta t}.$	2
Получен ответ $v \approx 2,5 \text{ м/с.}$	2

Решение: Примем начальную температуру воды равной комнатной температуре 20 °С. Тогда для кипения воды необходимо количество теплоты $Q = c\rho V(100 - 20)^\circ\text{C} = 504 \text{ кДж}$. Мощность чайника примерно будет равна

$$N = \frac{Q}{\tau} = 1680 \text{ Вт.}$$

Массу пара, образующегося за 1 секунду, при кипении воды, выразим двумя способами:

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{N}{r} = \frac{\rho_{\text{н.п.}} S v \Delta t}{\Delta t}.$$

Решая данное равенство, получаем ответ $v \approx 2,5 \text{ м/с.}$

Задача 3. Магнит. Эрчим решил сравнить силы, которые необходимы для перемещения магнита по горизонтально расположенной стальной плите, когда его перемещают, прилепив к плите сначала сверху, а потом снизу. Магнит прижимается к плите с силой $F_{\text{маг}} = 5mg$, где m – масса магнита. Какое отношение сил получил Эрчим? (10 баллов)

1.

По первому закону Ньютона нужно приложить силу $F_1 = F_{\text{ск}} = \mu N$	2 балла
По нижней $N_1 = F_{\text{маг}} + mg$,	2 балла
По верхней $N_2 = F_{\text{маг}} - mg$.	2 балла
$k = \frac{F_{\text{маг}} + mg}{F_{\text{маг}} - mg} = 1,5$.	2 балла
$k = 1,5$	2 балла

Решение: Для равномерного перемещения магнита по стальной плите к нему согласно первому закону Ньютона нужно приложить силу

$$F = F_{\text{ск}} = \mu N,$$

где μ - коэффициент трения скольжения между стальной плитой и магнитом, N – сила реакции опоры.

Силы реакции опоры при перемещениях магнита по верхней и нижней поверхностях плиты будут равны соответственно:

$$N_1 = F_{\text{маг}} + mg,$$

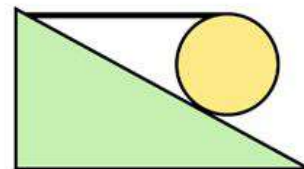
$$N_2 = F_{\text{маг}} - mg.$$

Эрчим получит отношение сил для перемещений магнита:

$$k = \frac{F_{\text{маг}} + mg}{F_{\text{маг}} - mg} = 1,5.$$

Задача 3. Цилиндр на наклонной плоскости

Однородный цилиндр массой 2 кг поместили на шероховатую наклонную плоскость, составляющую угол 30° с горизонтом, и закрепили с помощью легкой нерастяжимой нити (см.рисунок).



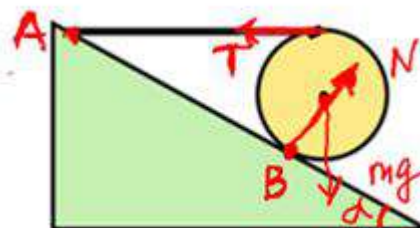
Цилиндр неподвижен, и при этом нить, прикрепленная к середине его верхней образующей, горизонтальна. Найдите силу натяжения нити.

Записано условие равновесия цилиндра в векторной форме: $m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0$.	2 балла
Записано уравнение моментов для нахождения силы натяжения относительно В: $mgd_1 - TL_1 = 0$, $d_1 = R\sin 30^\circ$, $L_1 = R + R\cos 30^\circ$	2 балла
Вычислена сила натяжения $T \approx 5,36$ Н.	2 балла
Записано уравнение моментов для нахождения силы нормального давления относительно А: $mgd_2 - NL_2 = 0$, $d_2 = L_2$, $L_2 = AB$	2 балла
Вычислена сила нормального давления $N = mg = 20$ Н.	2 балла

Решение: Каждый раздел по 2 балла (всего 10 баллов)

1) Записано условие равновесия цилиндра в векторной форме:

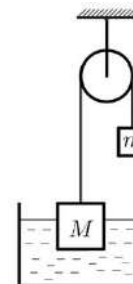
$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{N} = 0.$$



- 2) Записано уравнение моментов для нахождения силы натяжения относительно В: $mgd_1 - TL_1 = 0$, $d_1 = R \sin 30^\circ$, $L_1 = R + R \cos 30^\circ$
- 3) Вычислена сила натяжения $T \approx 5,36$ Н.
- 4) Записано уравнение моментов для нахождения силы нормального давления относительно А: $mgd_2 - NL_2 = 0$, $d_2 = L_2$, $L_2 = AB$
- 5) Вычислена сила нормального давления $N = mg = 20$ Н.

Задача 4. Блок

Система грузов массой m и $M = 5m$, показанная на рисунке, находится в равновесии. Груз массы M погружён в жидкость на $2/5$ своего объёма. Нить невесомая. Найдите отношение плотности груза массы M к плотности жидкости. (10 баллов)



условия равновесия для грузов: $T - mg = 0$,	2 балла
$F_A + T - Mg = 0$.	3 балла
Архимедова сила, действующая на груз массы M : $F_A = \rho_{\text{ж}} \frac{2}{5} Vg = \rho_{\text{ж}} \frac{2}{5} \frac{M}{\rho_{\text{Т}}} g$.	3 балла
Решение системы уравнений даёт ответ: $\frac{\rho_{\text{Т}}}{\rho_{\text{ж}}} = 0,5$.	2 балла

Решение: Напишем условия равновесия для грузов:

$$\begin{aligned} T - mg &= 0, \\ F_A + T - Mg &= 0. \end{aligned}$$

Архимедова сила, действующая на груз массы M :

$$F_A = \rho_{\text{ж}} \frac{2}{5} Vg = \rho_{\text{ж}} \frac{2}{5} \frac{M}{\rho_{\text{Т}}} g.$$

Решение системы уравнений даёт ответ:

$$\frac{\rho_{\text{Т}}}{\rho_{\text{ж}}} = 0,5.$$

Задача 5. Три точки

На чертеже оптической схемы отмечены только три точки: оптический центр собирающей тонкой линзы O , точка A в передней фокальной плоскости и точка B в задней фокальной плоскости. Известно, что точки A и B лежат на луче, идущем через линзу. Восстановите построением ход луча и положение линзы. (10 баллов)



Проведены прямые AO и BO	2 балла
Проведена прямая из точки A , параллельная BO	1 балл
Проведена прямая из точки B , параллельная AO	1 балл
Найдена точка пересечения прямых BC и CA – точка C	1 балл
Проведена прямая CO = собирающая линза	1 балл
Через точку O проведена главная оптическая ось	2 балла
Через точки A и B построены фокальные плоскости и найдены фокусы линзы.	2 балла

Решение:

- 1) Проведены прямые AO и BO
- 2) Проведена прямая из точки A , параллельная BO
- 3) Проведена прямая из точки B , параллельная AO
- 4) Найдена точка пересечения прямых BC и CA – точка C
- 5) Проведена прямая CO = собирающая линза
- 6) Через точку O проведена главная оптическая ось
- 7) Через точки A и B построены фокальные плоскости и найдены фокусы линзы.