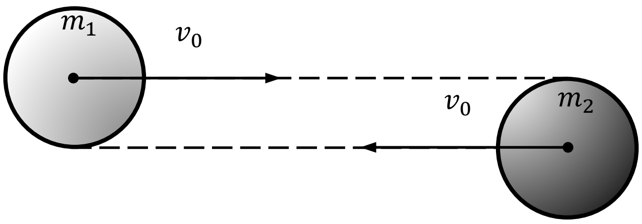
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2025–2026 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 10 КЛАСС

ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу –50.

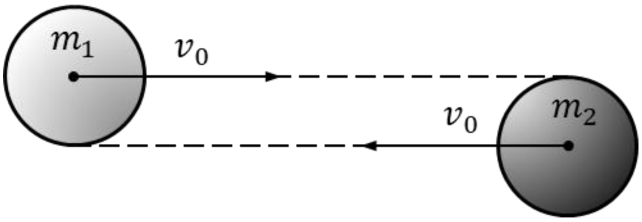
Задача 1. Вопросы 1-4

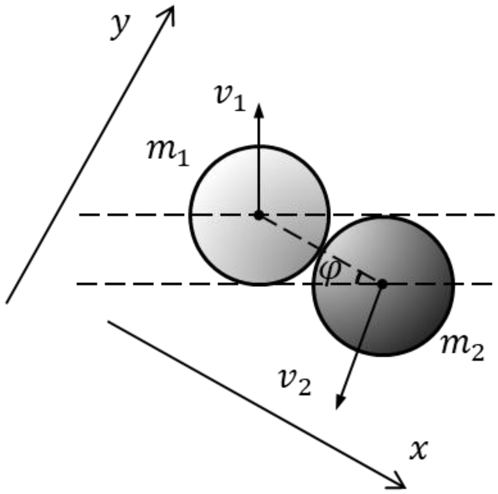
Гладкий шар массой m_1 налетает на гладкий шар массой m_2 такого же диаметра, движущийся с той же скоростью $v_0 = 8{,}7$ м/с в противоположном направлении так, как показано на рисунке. В результате упругого соударения первый шар отскакивает в направлении, перпендикулярном первоначальному направлению его движения.



1. Найдите скорость v_1 первого шара после соударения. Дайте ответ в м/с с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***
2. Найдите скорость v_2 второго шара после соударения. Дайте ответ в м/с с округлением до десятых долей. ***(3 балла)***
3. Найдите отношение m_1/m_2 масс шаров. Дайте ответ с округлением до десятых долей. ***(3 балла)***
4. На какой угол α повернётся вектор скорости второго шара в результате соударения с первым? Дайте ответ в градусах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:
1. Введём систему координат. Ось OY направим перпендикулярно линии, соединяющей центры шаров во время удара, а ось OX – вдоль этой линии. Так как шары гладкие, то сила взаимодействия шаров направлена перпендикулярно площади их соприкосновения, то есть вдоль оси OX. Тогда проекции импульсов, а вместе с ними и скоростей шаров, на ось OY не меняются.





Ось OX составляет угол в $\varphi = 30°$ с начальной скоростью первого шара. Тогда для связи начальной скорости первого шара и его конечной скорости имеем:

$$v_0 \sin\varphi = v_1 \cos\varphi.$$

Отсюда скорость первого шара после удара:

$$v_1 = v_0 \operatorname{tg}\varphi = \frac{v_0}{\sqrt{3}} = 5{,}0 \text{ м/с}.$$

3. Рассмотрим вспомогательную задачу о лобовом соударении двух шаров. Пусть шары массами m_1 и m_2 имеют противоположно направленные скорости u_1 и u_2 и испытывают лобовое столкновение. Найдём скорости шаров после удара. Для этого сначала рассчитаем скорость движения центра масс системы:

$$u_{\text{цм}} = \frac{m_1 u_1 - m_2 u_2}{m_1 + m_1}.$$

Будем считать, что импульс первого шара больше второго, тогда скорость центра масс будет сонаправлена со скоростью первого шара. Перейдём в систему отсчёта, движущуюся со скоростью центра масс, и рассчитаем скорости движения шаров:

$$u'_1 = u_1 - u_{\text{цм}},$$
$$u'_2 = u_2 + u_{\text{цм}}.$$

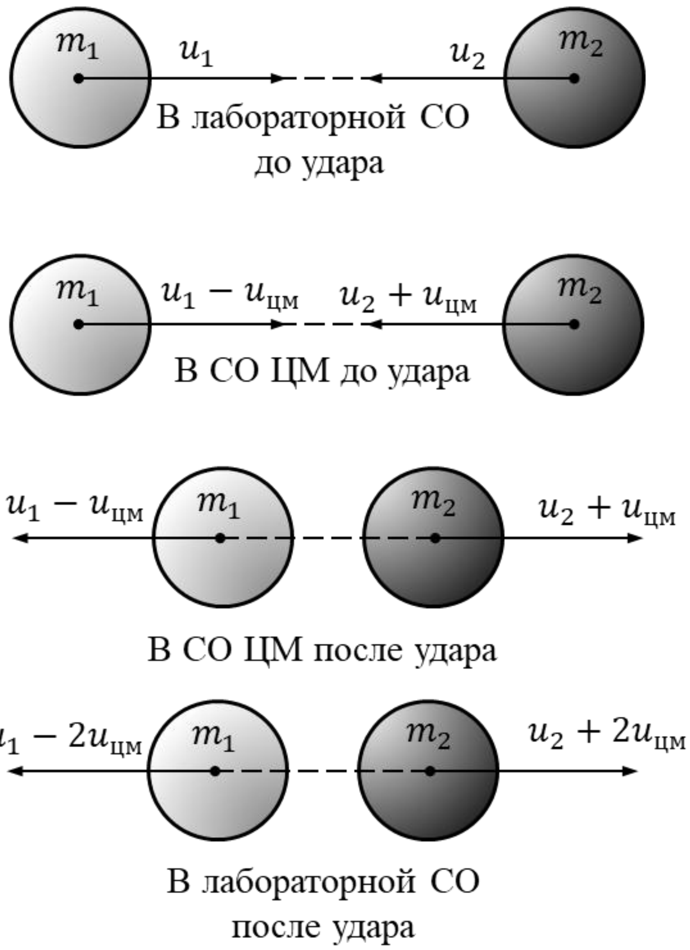
Модули импульсов шаров в системе, движущейся со скоростью центра масс (далее СО ЦМ), одинаковы как до, так и после удара. Закон сохранения энергии в СО ЦМ можно записать как:

$$\frac{p'^2}{2m_1}+\frac{p'^2}{2m_2}=\frac{p''^2}{2m_1}+\frac{p''^2}{2m_2}.$$

Тогда можно утверждать, что модули импульсов шаров после удара будут равны модулям импульсов шаров до удара. Последнее говорит о том, что скорости шаров после удара в СО ЦМ будут равны скоростям до удара, но при этом поменяют свои направления на противоположные. Найдём скорости шаров после удара в лабораторной СО:

$$u_{\text{п}1}=u'_1-2u_{\text{цм}}=u_1-2u_{\text{цм}},$$
$$u_{\text{п}1}=u'_2+2u_{\text{цм}}=u_2+2u_{\text{цм}}.$$

Схему описанных рассуждений можно изобразить на рисунке:



В исходной задаче проекции скоростей шаров на ось OY не влияют на соударение шаров по оси OX. Для упрощения решения рассмотрим центральный удар шаров, движущихся со скоростями равными проекциям скоростей шаров исходной задачи на ось OX. В случае такого центрального соударения скорости после упругого удара могут быть рассчитаны как:

$$\begin{cases} v_1\sin\varphi=v_0\cos\varphi-2v_{\text{цм}} \\ v_{2x}=v_0\cos\varphi+2v_{\text{цм}} \end{cases},$$

где $v_{\text{цм}} = v_0 \cos\varphi \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ – скорость центра масс в упрощённой задаче или проекция скорости центра масс на ось *OX* в исходной задаче. Воспользуемся первым равенством из системы для поиска отношения масс шаров:

$$\frac{v_0}{2\sqrt{3}} = v_0 \frac{\sqrt{3}}{2}\left(1 - \frac{k-1}{k+1}\right).$$

Отсюда получаем:

$$k = 2.$$

2. Воспользуемся вторым равенством для поиска составляющей скорости второго шара вдоль оси *OX:*

$$v_{2x} = v_0 \frac{\sqrt{3}}{2}\left(1 + 2\frac{k-1}{k+1}\right) = v_0 \frac{5}{2\sqrt{3}}.$$

Проекция скорости второго шара на ось *OY* остаётся неизменной:

$$v_{2y} = -v_0 \sin\varphi = -\frac{v_0}{2}.$$

Тогда по теореме Пифагора скорость второго шара:

$$v_2 = v_0 \sqrt{\left(\frac{5}{2\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = v_0 \sqrt{\frac{7}{3}} = 13{,}3 \text{ м/с}.$$

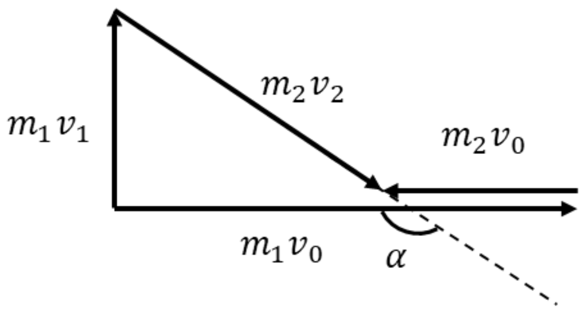
4. Угол поворота вектора скорости второго шара найдём как:

$$\alpha = 60° + \operatorname{arctg}\left(\frac{v_{2x}}{|v_{2y}|}\right) = 60° + \operatorname{arctg}\left(\frac{5}{\sqrt{3}|}\right) \approx 131°.$$

Также для поиска ответов на вопросы 2-3 можно воспользоваться альтернативным методом решения. Запишем закон сохранения энергии в земной СО:

$$\frac{(m_1 + m_2)v_0^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}.$$

Визуализируем закон сохранения импульса в земной СО.



Тогда модули импульсов тел можно связать через теорему Пифагора:

$$m_1^2 v_1^2 + (m_1 - m_2)^2 v_0^2 = m_2^2 v_2^2$$

Объединим уравнения в систему с двумя неизвестными - k и v_2 ($v_1 = \frac{v_0}{\sqrt{3}}$ – в этом методе находим способом, описанным выше):

$$\begin{cases} \dfrac{(k+1)v_0^2}{2} = \dfrac{kv_1^2}{2} + \dfrac{v_2^2}{2} \\ k^2v_1^2 + (k-1)^2v_0^2 = k^2v_2^2 \end{cases}$$

Решая систему уравнений, получаем:

$$\begin{cases} k = 2 \\ v_2 = v_0\sqrt{\dfrac{7}{3}}. \end{cases}$$

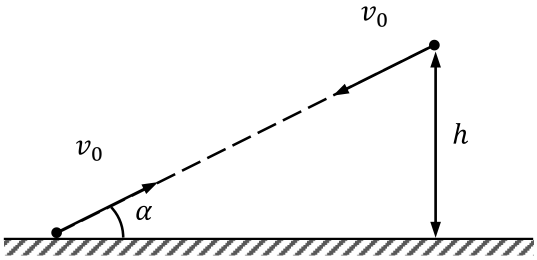
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 1

Вариант	$\boldsymbol{v_0}$, м/с	Ответ на вопрос 1	Ответ на вопрос 2	Ответ на вопрос 3	Ответ на вопрос 4
1	8,7	5,0	13,3	2,0	131
2	4,5	2,6	6,9	2,0	131
3	5,7	3,3	8,7	2,0	131
4	3,3	1,9	5,0	2,0	131
5	1,9	1,1	2,9	2,0	131

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 2. Вопросы 5-9

Два камня бросают одновременно навстречу друг другу с одинаковыми начальными скоростями v_0 вдоль прямой, наклонённой под углом $\alpha = 30°$ к горизонту. Первый камень бросают с горизонтальной поверхности земли, а второй – с высоты $h = 100$ м (см. рисунок). На землю камни падают одновременно. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.



5. Найдите время t полёта камней. Дайте ответ в секундах с округлением до сотых долей. ***(2 балла)***

6. Найдите скорость v_0. Дайте ответ в м/с с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***

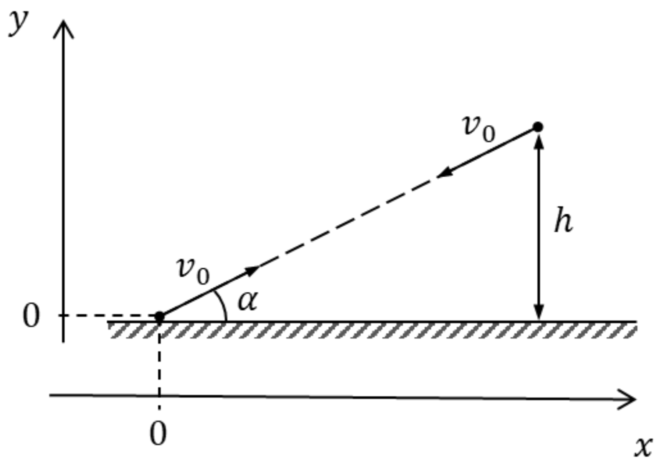
7. Чему равен модуль вектора перемещения первого камня S_1 за время его полёта? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

8. Чему равен модуль вектора перемещения второго камня S_2 за время его полёта? Дайте ответ в метрах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

9. На каком расстоянии S друг от друга приземляются камни? Дайте ответ в метрах с округлением до десятых долей. ***(2 балла)***

Решение:

5. Введём систему координат, как на рисунке:



Запишем законы движения первого и второго камня в проекции на ось OY:

$$\begin{cases} 0 = v_0 \sin\alpha \cdot t - \dfrac{gt^2}{2}, \\ 0 = h - v_0 \sin\alpha \cdot t - \dfrac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

Сложим уравнения и выразим время полёта камней:

$$t = \sqrt{\frac{h}{g}} = 3{,}16\ \text{с}.$$

6. Подставим полученное выражение в первое уравнение. Тогда скорость камней составит

$$v_0 = \frac{gt}{2\sin\alpha} = \frac{\sqrt{gh}}{2\sin\alpha} = 31{,}6\ \text{м/с}.$$

7. Запишем закон движения первого камня в проекции на ось *OX*:

$$S_1 = v_0 \cos\alpha \cdot t = \frac{h\operatorname{ctg}\alpha}{2} = 87\ \text{м}.$$

8. Так как времена движения камней и модули их проекций на горизонтальную ось совпадают, то модуль проекции перемещения второго камня на горизонтальную ось составляет

$$|S_{2x}| = S_1.$$

Модуль проекции вертикального перемещения второго камня равен высоте, с которой запускали камень:

$$|S_{2y}| = h.$$

Тогда окончательно для перемещения второго камня получаем

$$S_2 = \sqrt{(S_1)^2 + (h)^2} = \sqrt{\left(\frac{h}{2}\operatorname{ctg}\alpha\right)^2 + h^2} = \frac{h}{2}\sqrt{4 + \operatorname{ctg}^2\alpha} = 132 \text{ м}.$$

9. Расстояние между точками падения S найдём из разности проекции расстояния между камнями в начальный и конечный моменты времени:

$$S = h\operatorname{ctg}\alpha - S_1 - |S_{2x}| = 0.$$

То есть камни прилетают в одну точку.

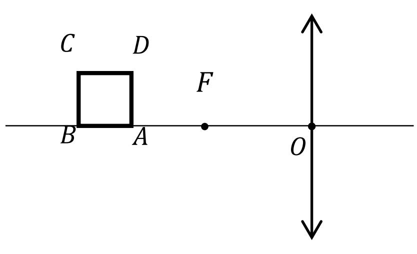
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 2

Вариант	$\alpha,°$	$h,$ м	Ответ на вопрос 5	Ответ на вопрос 6	Ответ на вопрос 7	Ответ на вопрос 8	Ответ на вопрос 9
1	30	100	3,16	31,6	87	132	0
2	30	50	2,24	22,4	43	66	0
3	60	100	3,16	18,3	29	104	0
4	60	50	2,24	12,9	14	52	0
5	45	100	3,16	22,4	50	112	0

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 3. Вопросы 10-12

Квадратный предмет *ABCD* расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы, как показано на рисунке. Длина стороны изображения *A'B'* равна длине стороны предмета *AB*. Поперечное увеличение линзы для стороны *BC* равно $\Gamma_1 = 0{,}8$. Лучи, падающие от предмета на линзу, считайте параксиальными.



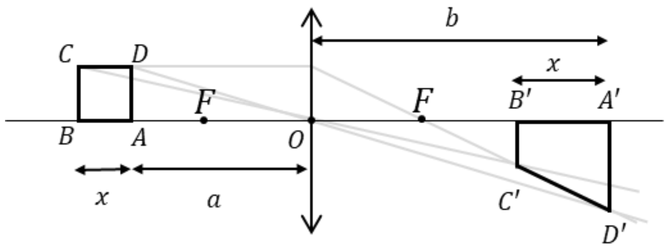
10. Чему равно поперечное увеличение линзы Γ_2 для стороны *AD*? Дайте ответ с округлением до тысячных долей. ***(3 балла)***

11. Определите отношение длины изображения *C'D'* стороны *CD* к длине самой стороны *CD*. Дайте ответ с округлением до тысячных долей. ***(3 балла)***

12. Найдите отношение k площади изображения предмета к площади самого предмета. Дайте ответ с округлением до тысячных долей. ***(4 балла)***

Решение:

10. Построением найдём изображение объекта. Видно, что изображение имеет форму прямоугольной трапеции. Обозначим размер предмета за x. Тогда высота трапеции изображения будет равна x.



Запишем формулу тонкой линзы для образования изображений сторон *AD* и *BC*:

$$\begin{cases} \dfrac{1}{a} + \dfrac{1}{b} = \dfrac{1}{F} \\ \dfrac{1}{a+x} + \dfrac{1}{b-x} = \dfrac{1}{F} \end{cases}.$$

Приравнивая правые стороны уравнений, получаем $ab = (a+x)(b-x)$.

Отсюда:

$$x = b - a.$$

Увеличение для стороны *BC* можно выразить как:

$$\Gamma_1 = \frac{a+x}{b-x} = \frac{b}{a}.$$

А увеличение для стороны AD:

$$\Gamma_2 = \frac{a}{b} = \frac{1}{\Gamma_1} = 1{,}250.$$

11. Длину стороны *C'D'* можно вычислить по теореме Пифагора:

$$C'D' = a\sqrt{1 + (\Gamma_2 - \Gamma_1)^2} = a\sqrt{1 + (\frac{1}{\Gamma_1} - \Gamma_1)^2}.$$

Тогда искомое отношение:

$$\Gamma_3 = \frac{C'D'}{CD} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\Gamma_1} - \Gamma_1\right)^2} = 1{,}097.$$

12. Площадь изображения подсчитаем через произведение высоты трапеции и полусуммы оснований:

$$S' = x \cdot \frac{x(\Gamma_1 + \Gamma_2)}{2} = \frac{x^2}{2}\left(\Gamma_1 + \frac{1}{\Gamma_1}\right).$$

Тогда отношение площадей изображения и предмета:

$$\Gamma_4 = \frac{S'}{S} = \frac{\left(\Gamma_1 + \frac{1}{\Gamma_1}\right)}{2} = 1{,}025.$$

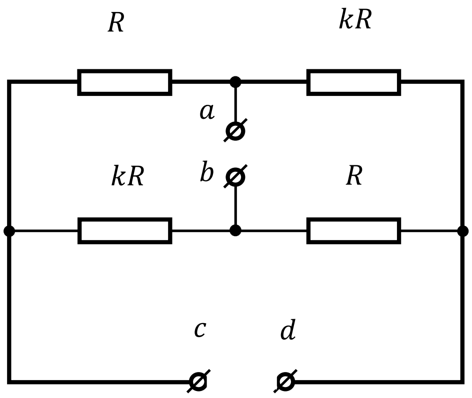
Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 3

Вариант	Γ_1	Ответ на вопрос 10	Ответ на вопрос 11	Ответ на вопрос 12
1	0,8	1,250	1,097	1,025
2	0,7	1,429	1,237	1,064
3	0,6	1,667	1,462	1,133
4	0,5	2,000	1,803	1,250
5	0,4	2,500	2,326	1,450

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 4. Вопросы 13-16

В цепи, показанной на рисунке, резисторы имеют сопротивления R и kR ($k = 2$). К клеммам a и b подключают идеальный омметр, а к клеммам c и d – идеальный амперметр. Омметр при этом показывает $\Omega_1 = 5$ Ом, а амперметр – $I_1 = 100$ мА.



13. Чему равно сопротивление R? Дайте ответ в омах с округлением до сотых долей. ***(2 балла)***

14. Какая суммарная тепловая мощность P выделяется на резисторах? Дайте ответ в ваттах с округлением до сотых долей. ***(3 балла)***

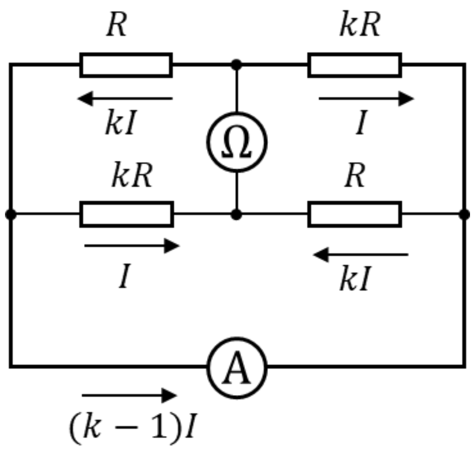
Омметр и амперметр меняют местами.

15. Какими станут показания Ω_2 омметра? Дайте ответ в омах с округлением до десятых долей. ***(3 балла)***

16. Какими станут показания I_2 амперметра? Дайте ответ в миллиамперах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

Решение:

13. Обозначим ток, текущий через правый верхний резистор, за I. В первом подключении падение напряжения на верхних резисторах одинаково, тогда по верхнему левому резистору потечёт ток kI. Суммарный ток, протекающий через верхние резисторы равен суммарному току, протекающему через нижние, при этом падение напряжения на нижних резисторах также одинаково. С учётом описанного распределения токов, текущих через резисторы, ток, текущий через амперметр, будет равен $I_1 = (k-1)I$.



Общий ток, текущий через цепь (создаваемый источником внутри омметра), будет тогда равен $(k+1)I$. Сопротивление цепи можно рассчитать как отношение падения напряжения на ней к общему току:

$$\Omega_1 = \frac{IkR + kIR}{(k+1)I} = \frac{2k}{k+1}R$$

Тогда сопротивление резистора составит:

$$R = \Omega_1 \frac{k+1}{2k} = 3{,}75 \text{ Ом}$$

14. Полный ток в цепи можно связать с током, текущим через амперметр как:

$$I_0 = (k+1)I = (k+1)\frac{I_1}{(k-1)}.$$

Полная мощность, выделяемая во всех резисторах, тогда может быть рассчитана из закона Джоуля-Ленца:

$$P = I_0^2\Omega_1 = \left(\frac{k+1}{k-1}\right)^2 I_1^2\Omega_1 = 0{,}45 \text{ Вт}$$

15-16. Можно заметить, что если поменять приборы местами, то схема останется прежней. Следовательно, показания приборов останутся неизменными:

$$\begin{cases} I_2 = I_1 = 100 \text{ мА} \\ \Omega_2 = \Omega_1 = 5{,}0 \text{ Ом} \end{cases}$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 4

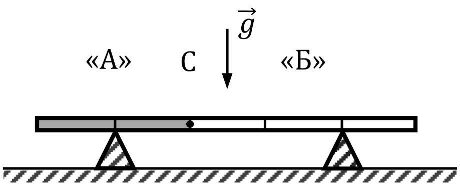
Вариант	k	Ω_1, Ом	I_1, мА	Ответ на вопрос 13	Ответ на вопрос 14	Ответ на вопрос 15	Ответ на вопрос 16
1	2	5	100	3,75	0,45	5,0	100
2	2	10	50	7,50	0,23	10,0	50
3	3	6	60	4,00	0,09	6,0	60
4	3	9	100	6,00	0,36	9,0	100
5	4	8	100	5,00	0,22	8,0	100

Максимум за задачу 10 баллов.

Задача 5. Вопросы 17-20

Если одно тело контактирует с другим по протяжённой поверхности, то воздействие первого тела на второе часто невозможно описать только равнодействующей всех элементарных сил в точках контакта. Помимо равнодействующей требуется учитывать ещё и суммарный момент этих элементарных сил. При рассмотрении воздействия одной части твёрдого тела на другую элементарные силы являются силами деформации, их в совокупности также можно заменить равнодействующей силой и вращающим моментом.

Однородный тонкий стержень массой $m = 10$ кг и длиной $l = 1$ м покоится горизонтально на двух опорах, как показано на рисунке. Стержень штрихами разделён на 5 частей одинаковой длины. Две левые части стержня, закрашенные на рисунке, назовём телом «А», а три другие части – телом «Б». Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2.



17. Какова масса тела «А»? Дайте ответ в кг с округлением до десятых долей. ***(1 балл)***

18. С какой силой $F_А$ тело «А» действует на левую опору? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(2 балла)***

19. С какой силой $F_{АБ}$ тело «Б» действует на тело «А» в точке С их соприкосновения? Дайте ответ в ньютонах с округлением до целого числа. ***(3 балла)***

20. Какой момент сил $M_{АБ}$ действует на тело «А» со стороны тела «Б»? Дайте ответ в Н · м с округлением до целого числа. ***(4 балла)***

Решение:

17. Масса тела «А»:

$$m_A = \frac{2}{5}m = 4\ \text{кг}.$$

18. Так как опоры расположены симметрично относительно центра масс стержня, то силы действия опор на стержни одинаковы. С другой стороны, эти силы уравновешивают силу тяжести стержня. Тогда каждая из сил будет равна половине силы тяжести стержня:

$$F_А = F_B = \frac{mg}{2} = 50\ \text{Н}.$$

19. Будем предполагать, что тело «Б» тянет тело «А» вниз. Запишем условие равенства нулю суммы сил, действующих на тело «А»:

$$F_А - m_A g - F_{АБ} = 0,$$

$$F_{АБ} = \frac{mg}{2} - \frac{2}{5}mg = \frac{mg}{10} = 10\ \text{Н}.$$

20. Запишем уравнение моментов для тела «А» относительно точки «С». Положительным выберем направление по часовой стрелке.

$$0 = M_{AБ} + M_{m_A g} + M_{F_A}$$

$$0 = M_{AБ} - m_A g\frac{l}{5} + F_A\frac{l}{5}$$

Тогда момент упругих сил, возникающих в месте соприкосновения тел, составит:

$$M_{AБ} = \frac{l}{5}(m_A g - F_A) = \frac{l}{5}\left(\frac{2mg}{5} - \frac{mg}{2}\right) = -\frac{mgl}{50}$$

Знак минус говорит о том, что момент упругих сил, действующих со стороны тела «Б» на тело «А» направлен против часовой стрелки. В ответ запишем модуль этого значения:

$$|M_{АБ}| = \frac{mgl}{50} = 2\ \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задачи 5

Вариант	m, кг	l, м	Ответ на вопрос 17	Ответ на вопрос 18	Ответ на вопрос 19	Ответ на вопрос 20
1	10	1	4,0	50	10	2
2	20	2	8,0	100	20	8
3	30	1	12,0	150	30	6
4	40	2	16,0	200	40	16
5	50	1	20,0	250	50	10

Максимум за задачу 10 баллов.

Максимальный балл за работу – 50.