Олимпиада Смарт Старт, 2018-19. Физика. Заключительный этап.

11 класс

1. Тонкая прозрачная гладкая трубка согнута в форме кольца радиусом $R = 2.5$ м. Внутри трубки находится маленький шарик, который может двигаться без трения. Кольцо приводят во вращение вокруг вертикальной оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр. Угловая скорость вращения кольца $\omega = 4$ рад/с. Определить максимальную высоту, на которую поднимется шарик относительно нижней точки кольца. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м/с}^2$.

Решение

Проведем радиус в точку, где находится шарик и обозначим угол между радиусом и вертикалью α. Второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси будет иметь вид:

$$N\sin\alpha = m\omega^2 R\sin\alpha, \tag{1}$$

$$N\cos\alpha = mg. \tag{2}$$

Отсюда находим $\cos\alpha = \dfrac{g}{\omega^2 R}$ и из геометрических соображений имеем:

$$h = R - R\cos\alpha = R - \frac{g}{\omega^2} = 1.875\,\text{м} \tag{3}$$

Критерии оценивания

Записаны выражения для 2 закона Ньютона – 5 баллов

Правильно учтены геометрические соотношения – 2 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

2. В сосуде под поршнем находится $\nu = 8$ моль идеального газа. Газ нагревают таким образом, при этом изменяя давление на поршень, что его температура увеличивается пропорционально квадрату объёма. В указанном процессе температура газа выросла на $\Delta T = 17$ К. Определить работу, совершенную при этом газом. Универсальная газовая постоянная $R = 8.31\,\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$.

Решение

Так как по условию $T \sim V^2$, то с учетом универсального газового закона получаем $p \sim V$. Находим работу, как площадь под графиком процесса с учетом $p \sim V$

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{1}{2}\nu R\Delta T = 565,1\,\text{Дж} \tag{4}$$

Критерии оценивания

Понято, что в процессе $p \sim V$ – 2 балла

Найдена работа как площадь под графиком – 3 балла

Выражение для работы с учетом $p \sim V$ – 2 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

3. На невесомой нерастяжимой диэлектрической нити подвешен шарик массой $m = 2$ кг, несущий заряд $q = 4\cdot 10^{-4}$ Кл. Система находится в однородном электрическом

поле напряжённостью $E = 50$ кВ/м, направленным вертикально вниз. Шарик отклоняют так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. Определить максимальную силу натяжения нити при дальнейшем движении шарика. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м/с}^2$.

Решение

Второй закон Ньютона в нижней точке

$$T - qE - mg = m\frac{v^2}{l}, \tag{5}$$

закон сохранения энергии с учетом потенциальности электростатического поля и, соответственно, независимости работы поля от траектории

$$\frac{mv^2}{2} = mgl + qEl. \tag{6}$$

Из двух записанных выше уравнений находим:

$$T = 3qE + 3mg = 120\,\text{Н} \tag{7}$$

Критерии оценивания

Записан второй закон Ньютона в нижней точке – 3 балла
Записан закон сохранения энергии – 4 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

4. В электро-вакуумной установке в результате термоэлектронной эмиссии с катода вылетают электроны, которые затем ускоряются с помощью электрического поля, проходя разность потенциалов $U = 40$ кВ, и фокусируются в пучок, направляемый на плоский анод. При этом сила тока в пучке 1142 мкА. Найти силу давления, оказываемую пучком электронов на анод, полагая, что все электроны абсорбируются анодом. Масса электрона $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд электрона $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение

Сила, действующая на анод:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta m v}{\Delta t}, \tag{8}$$

где Δm - масса электронов, за время Δt столкнувшихся с анодом.

$$\Delta m = \Delta n m_e, \quad I = \frac{\Delta n}{\Delta t}|e|, \tag{9}$$

где Δn - число электронов, за время Δt столкнувшихся с анодом. Отсюда

$$\Delta m = \frac{I\Delta t}{|e|}m_e, \tag{10}$$

и с учетом закона сохранения энергии $\dfrac{mv^2}{2} = eU$ находим

$$F = \frac{I}{|e|}m_e\sqrt{\frac{2|e|U}{m_e}} = I\sqrt{\frac{2Um_e}{|e|}} = 0.764\,\text{мкН} \tag{11}$$

Критерии оценивания
Записан второй закон Ньютона в импульсной форме – 2 балла
Найдена связь между силой тока и массой столкнувшихся электронов – 4 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл

5. Плоский незаряженный конденсатор поместили в магнитное поле с индукцией $B = 12$ мТл, линии индукции которого параллельны обкладкам, площадь обкладок $S = 100\,\text{см}^2$. Через конденсатор параллельно пластинам начинают пропускать поток электронов, ускоренных разностью потенциалов $U = 100$ В. Направление скорости электронов перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определить заряд, который накопится на одной из пластин конденсатора. Масса электрона $m_e = 9.1\cdot10^{-31}$ кг, заряд электрона $e = -1.6\cdot10^{-19}$ Кл, постоянная в законе Кулона $k = 9\cdot10^9$ Н·м^2/Кл^2.

Решение

Условие уравновешивания силы Лоренца и электрической силы со стороны зарядившейся до заряда q обкладки конденсатора

$$|e|vB = |e|E, \quad E = 2\pi k\frac{q}{S}, \tag{12}$$

закон сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = |e|U \tag{13}$$

В результате получаем

$$q = \frac{BS}{2\pi k}\sqrt{\frac{2eU}{m}} = 12.6\,\text{нКл} \tag{14}$$

Критерии оценивания
Записано условие уравновешивания магнитной и электрической сил – 2 балла
Получено выражение для напряженности поля внутри конденсатора – 3 балла
Записан закон сохранения энергии – 2 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

6. В полный штиль на поверхности моря сидит чайка. К ней, находясь на постоянной глубине $h = 5\,\text{м}$, подплывает акула. На какое расстояние, отсчитываемое по горизонтали, может приблизиться акула к чайке, прежде чем чайка заметит акулу. Показатель преломления воды $n = 1.33$

Решение Для луча от чайки в предельном случае закон преломления

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}, \quad \beta = 90^\circ. \tag{15}$$

Если s - расстояние до чайки по горизонтали, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{s}{h}. \tag{16}$$

С учетом тригонометрических соотношений получаем

$$s = \frac{h}{\sqrt{n^2-1}} = 5.7\,\text{м}. \tag{17}$$

Критерии оценивания
Выполнено построение хода лучей – 2 балла
Записано выражение для предельного угла – 2 балла
Записаны соотношения для треугольника – 2 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл

Олимпиада Смарт Старт, 2018-19. Физика. Заключительный этап.

10 класс

1. Тонкая прозрачная гладкая трубка согнута в форме кольца радиусом $R = 2.5$ м. Внутри трубки находится маленький шарик, который может двигаться без трения. Кольцо приводят во вращение вокруг вертикальной оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр. Угловая скорость вращения кольца $\omega = 4$ рад/с. Определить максимальную высоту, на которую поднимется шарик относительно нижней точки кольца. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м/с}^2$.

Решение

Проведем радиус в точку, где находится шарик и обозначим угол между радиусом и вертикалью α. Второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси будет иметь вид:

$$N\sin\alpha = m\omega^2 R\sin\alpha, \tag{18}$$

$$N\cos\alpha = mg. \tag{19}$$

Отсюда находим $\cos\alpha = \dfrac{g}{\omega^2 R}$ и из геометрических соображений имеем:

$$h = R - R\cos\alpha = R - \frac{g}{\omega^2} = 1.875\,\text{м} \tag{20}$$

Критерии оценивания

Записаны выражения для 2 закона Ньютона – 5 баллов

Правильно учтены геометрические соотношения – 2 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

2. В сосуде под поршнем находится $\nu = 8$ моль идеального газа. Газ нагревают таким образом, при этом изменяя давление на поршень, что его температура увеличивается пропорционально квадрату объёма. В указанном процессе температура газа выросла на $\Delta T = 17$ К. Определить работу, совершенную при этом газом. Универсальная газовая постоянная $R = 8.31\,\text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$.

Решение

Так как по условию $T \sim V^2$, то с учетом универсального газового закона получаем $p \sim V$. Находим работу, как площадь под графиком процесса с учетом $p \sim V$

$$A = \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) = \frac{1}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{1}{2}\nu R\Delta T = 565,1\,\text{Дж} \tag{21}$$

Критерии оценивания

Понято, что в процессе $p \sim V$ – 2 балла

Найдена работа как площадь под графиком – 3 балла

Выражение для работы с учетом $p \sim V$ – 2 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

3. На невесомой нерастяжимой диэлектрической нити подвешен шарик массой $m =$ 2 кг, несущий заряд $q = 4\cdot 10^{-4}$ Кл. Система находится в однородном электрическом

поле напряжённостью $E = 50$ кВ/м, направленным вертикально вниз. Шарик отклоняют так, что нить принимает горизонтальное положение, и отпускают. Определить максимальную силу натяжения нити при дальнейшем движении шарика. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м/с}^2$.

Решение

Второй закон Ньютона в нижней точке

$$T - qE - mg = m\frac{v^2}{l}, \tag{22}$$

закон сохранения энергии с учетом потенциальности электростатического поля и, соответственно, независимости работы поля от траектории

$$\frac{mv^2}{2} = mgl + qEl. \tag{23}$$

Из двух записанных выше уравнений находим:

$$T = 3qE + 3mg = 120\,\text{Н} \tag{24}$$

Критерии оценивания

Записан второй закон Ньютона в нижней точке – 3 балла

Записан закон сохранения энергии – 4 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

4. В электро-вакуумной установке в результате термоэлектронной эмиссии с катода вылетают электроны, которые затем ускоряются с помощью электрического поля, проходя разность потенциалов $U = 40$ кВ, и фокусируются в пучок, направляемый на плоский анод. При этом сила тока в пучке 1142 мкА. Найти силу давления, оказываемую пучком электронов на анод, полагая, что все электроны абсорбируются анодом. Масса электрона $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд электрона $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение

Сила, действующая на анод:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta m v}{\Delta t}, \tag{25}$$

где Δm - масса электронов, за время Δt столкнувшихся с анодом.

$$\Delta m = \Delta n m_e, \quad I = \frac{\Delta n}{\Delta t}|e|, \tag{26}$$

где Δn - число электронов, за время Δt столкнувшихся с анодом. Отсюда

$$\Delta m = \frac{I \Delta t}{|e|} m_e, \tag{27}$$

и с учетом закона сохранения энергии $\frac{mv^2}{2} = eU$ находим

$$F = \frac{I}{|e|} m_e \sqrt{\frac{2|e|U}{m_e}} = I\sqrt{\frac{2Um_e}{|e|}} = 0.764\,\text{мкН} \tag{28}$$

Критерии оценивания
Записан второй закон Ньютона в импульсной форме – 2 балла
Найдена связь между силой тока и массой столкнувшихся электронов – 4 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл

5. Плоский незаряженный конденсатор поместили в магнитное поле с индукцией $B = 12$ мТл, линии индукции которого параллельны обкладкам, площадь обкладок $S = 100\,\text{см}^2$. Через конденсатор параллельно пластинам начинают пропускать поток электронов, ускоренных разностью потенциалов $U = 100$ В. Направление скорости электронов перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Определить заряд, который накопится на одной из пластин конденсатора. Масса электрона $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд электрона $e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл, постоянная в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н$\cdot$м^2/Кл^2.

Решение

Условие уравновешивания силы Лоренца и электрической силы со стороны зарядившейся до заряда q обкладки конденсатора

$$|e|vB = |e|E, \quad E = 2\pi k\frac{q}{S}, \tag{29}$$

закон сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = |e|U \tag{30}$$

В результате получаем

$$q = \frac{BS}{2\pi k}\sqrt{\frac{2eU}{m}} = 12.6\,\text{нКл} \tag{31}$$

Критерии оценивания
Записано условие уравновешивания магнитной и электрической сил – 2 балла
Получено выражение для напряженности поля внутри конденсатора – 3 балла
Записан закон сохранения энергии – 2 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

6. В полный штиль на поверхности моря сидит чайка. К ней, находясь на постоянной глубине $h = 5\,\text{м}$, подплывает акула. На какое расстояние, отсчитываемое по горизонтали, может приблизиться акула к чайке, прежде чем чайка заметит акулу. Показатель преломления воды $n = 1.33$

Решение Для луча от чайки в предельном случае закон преломления

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}, \quad \beta = 90^\circ. \tag{32}$$

Если s - расстояние до чайки по горизонтали, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{s}{h}. \tag{33}$$

С учетом тригонометрических соотношений получаем

$$s = \frac{h}{\sqrt{n^2-1}} = 5.7\,\text{м}. \tag{34}$$

Критерии оценивания
Выполнено построение хода лучей – 2 балла
Записано выражение для предельного угла – 2 балла
Записаны соотношения для треугольника – 2 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл

Олимпиада Смарт Старт, 2018-19. Физика. Заключительный этап.

9 класс

1. Тонкая прозрачная гладкая трубка согнута в форме кольца радиусом $R = 2.5$ м. Внутри трубки находится маленький шарик, который может двигаться без трения. Кольцо приводят во вращение вокруг вертикальной оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр. Угловая скорость вращения кольца $\omega = 4$ рад/с. Определить максимальную высоту, на которую поднимется шарик относительно нижней точки кольца. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м/с}^2$.

Решение

Проведем радиус в точку, где находится шарик и обозначим угол между радиусом и вертикалью α. Второй закон Ньютона в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси будет иметь вид:

$$N \sin\alpha = m\omega^2 R \sin\alpha, \tag{35}$$

$$N \cos\alpha = mg. \tag{36}$$

Отсюда находим $\cos\alpha = \dfrac{g}{\omega^2 R}$ и из геометрических соображений имеем:

$$h = R - R\cos\alpha = R - \frac{g}{\omega^2} = 1.875\,\text{м} \tag{37}$$

Критерии оценивания

Записаны выражения для 2 закона Ньютона – 5 баллов

Правильно учтены геометрические соотношения – 2 балла

Ответ в общем виде – 2 балла

Численный ответ – 1 балл

2. В полный штиль на поверхности моря сидит чайка. К ней, находясь на постоянной глубине $h = 5\,\text{м}$, подплывает акула. На какое расстояние, отсчитываемое по горизонтали, может приблизиться акула к чайке, прежде чем чайка заметит акулу. Показатель преломления воды $n = 1.33$.

Решение Для луча от чайки в предельном случае закон преломления

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}, \quad \beta = 90^\circ. \tag{38}$$

Если s - расстояние до чайки по горизонтали, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{s}{h}. \tag{39}$$

С учетом тригонометрических соотношений получаем

$$s = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}} = 5.7\,\text{м}. \tag{40}$$

Критерии оценивания

Выполнено построение хода лучей – 2 балла

Записано выражение для предельного угла – 2 балла
Записаны соотношения для треугольника – 2 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл

3. На дне сосуда, заполненного жидкостью плотностью $\rho = 2\,\text{г}/\text{см}^3$, лежит стержень массой $m = 100$ кг и объемом $V = 0.01\,\text{м}^3$. Определить величину силы, которую необходимо приложить к одному из его концов, чтобы приподнять его.

Решение

Правило моментов относительно неподвижного конца

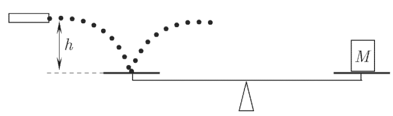
$$-Fl - F_a\frac{l}{2} + mg\frac{l}{2} = 0. \tag{41}$$

С учетом выражения для силы Архимеда получаем

$$F = \frac{1}{2}(mg - \rho gV) = 400\,\text{Н} \tag{42}$$

Критерии оценивания
Найдены точки приложения сил – 2 балла
Правильно выбрана ось, относительно которой записывается правило моментов – 2 балла
Записано правило моментов – 3 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

4. Поток шариков вылетает из горизонтальной трубки и после удара о чашку весов поднимаются на исходную высоту. Масса шарика $m = 0.5$ г, за одну секунду из трубки вылетает $n = 100$ шариков, трубка расположена выше чаши на $h = 0.5$ м. Определить массу груза, лежащего на противоположной чаше весов. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м}/\text{с}^2$.



Решение

Силу, действующую на чашу со стороны потока шариков найдем по второму закону Ньютона в импульсном виде, а вертикальную составляющую скорости шариков из закона сохранения энергии

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2mn\Delta t\sqrt{2gh}}{\Delta t}, \tag{43}$$

массу груза находим с учетом правила моментов

$$M = \frac{F}{g} = \frac{2mn\sqrt{2gh}}{g} = 2mn\sqrt{\frac{2h}{g}} = 31.6\,\text{г}, \tag{44}$$

Критерии оценивания
Получено выражение для силы с использованием 2 закона Ньютона в импульсном виде – 3 балла

Найдена вертикальная составляющая скорости шариков – 2 балла
С учетом правил моментов записано выражение для массы груза – 2 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

5. В чашке приготовили растворимый кофе при температуре $t_1 = 100\,^\circ C$, после чего добавили в нее несколько кубиков льда, имеющего температуру $t_2 = 0\,^\circ C$. После таяния льда температура кофе стала $t_2 = 50\,^\circ C$. На сколько процентов уменьшилась концентрация кофе из-за добавления льда? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью чашки пренебречь. Удельная теплоемкость воды с растворенным в ней кофе $c = 4200\,\text{Дж/кг}\cdot^\circ C$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\,\text{кДж/кг}$.

Решение

Пусть $m_\text{р}$ - масса порошка растворимого кофе, m_1 - масса получившегося кофе с водой, m_2 - масса льда, n_1 - концентрация кофе до добавления льда, n_2 - после добавления, α - относительное изменение концентрации кофе. Тогда

$$n_1 = \frac{m_p}{m_1}, \quad n_2 = \frac{m_p}{m_1 + m_2}, \quad \alpha = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \tag{45}$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \tag{46}$$

Уравнение теплового баланса

$$cm_1(t_1 - t_2) = \lambda m_2 + cm_2(t_2 - t_0). \tag{47}$$

В итоге находим

$$\alpha = \frac{c(t_1 - t_2)}{\lambda + c(t_1 - t_0)} = 0.28 \tag{48}$$

Критерии оценивания
Записаны соотношения для концентраций – 2 балла
Записано уравнение теплового баланса – 3 балла
Ответ в общем виде – 4 балла
Численный ответ – 1 балл

Олимпиада Смарт Старт, 2018-19. Физика. Заключительный этап.

8 класс

1. Два друга, любящих гулять по торговым центрам, решили провести небольшой эксперимент на эскалаторе. Они одновременно подошли к одному и тому же эскалатору с противоположных сторон, одновременно на него зашли и начали двигаться навстречу друг другу. Скорости друзей относительно эскалатора одинаковы и равны $v = 2$ м/с, длина эскалатора $l = 120$ м, скорость ленты эскалатора $u = 1.5$ м/с. Определите, на каком расстоянии от входа на эскалатор друзья встретятся.

Решение

Пусть t - время движения до встречи, тогда

$$l = (v + u)t + (v - u)t, \tag{49}$$

отсюда $t = \dfrac{l}{2v} = 30\,c$. Тогда расстояние, пройденное до встречи тем мальчиком, который двигался от входа

$$s = (v + u)t = 105\,\text{м} \tag{50}$$

Критерии оценивания

Записаны выражения для путей, пройденных мальчиками – 3 балла
Понято,что сумма этих расстояний есть длина эскалатора – 3 балла
Найдено время движения до встречи – 2 балла
Понято, что при движении от входа на эскалатор скорости складываются – 1 балл
Численный ответ – 1 балл

2. В конструкторском бюро компании, производящей бытовую технику, проводили испытания электрического чайника для путешественников, бывающих в разных странах с разными стандартами напряжения в бытовой сети. Модель чайника была рассчитана на мощность $P_1 = 339\,\text{Вт}$ при напряжении в сети $U_1 = 110$ В. Испытания показали, что если в чайник налить воду массой $m = 1,62$ кг, то она нагревается до температуры $t = 100\,^\circ C$, но кипение не начинается, даже при достаточно большом времени ожидания. Определите, за какое время выкипит половина этой воды, если повысить напряжение на чайнике до $U_2 = 220$ В? Удельная теплота парообразования воды $L = 2,26$ МДж/кг.

Решение

В первом случае можно сделать вывод, что при $t = 100\,^\circ C$ выполняется условие равенства мощности чайника и мощности тепловых потерь, поэтому вода не закипает:

$$P_\text{ч} = P_\text{п}. \tag{51}$$

Во втором случае мощность чайника увеличивается в 4 раза и можно записать закон сохранения энергии

$$4P_\text{ч}\tau = P_\text{п}\tau + L\frac{m}{2}. \tag{52}$$

В результате получаем

$$\tau = \frac{Lm}{6P} = 30\,\text{мин} \tag{53}$$

Критерии оценивания
Понято, что вода не закипает в первом случае, т.к. мощность чайника равна мощности потерь – 3 балла
Найдена мощность чайника во втором случае — 2 балла
Записан закон сохранения энергии во втором случае – 3 балла
Получен ответ –2 балла.

3. На дне сосуда, заполненного жидкостью плотностью $\rho = 2\,\text{г}/\text{см}^3$, лежит стержень массой $m = 100$ кг и объемом $V = 0.01\,\text{м}^3$. Определить величину силы, которую необходимо приложить к одному из его концов, чтобы приподнять его. Ускорение свободного падения $g = 10\,\text{м}/\text{с}^2$, плотность воды $\rho = 1000\,\text{кг}/\text{м}^3$.

Решение

Правило моментов относительно неподвижного конца

$$-Fl - F_a\frac{l}{2} + mg\frac{l}{2} = 0. \tag{54}$$

С учетом выражения для силы Архимеда получаем

$$F = \frac{1}{2}(mg - \rho gV) = 400\,\text{Н} \tag{55}$$

Критерии оценивания
Найдены точки приложения сил – 2 балла
Правильно выбрана ось, относительно которой записывается правило моментов – 2 балла
Записано правило моментов – 3 балла
Ответ в общем виде – 2 балла
Численный ответ – 1 балл

4. В чашке приготовили растворимый кофе при температуре $t_1 = 100\,^\circ C$, после чего добавили в нее несколько кубиков льда, имеющего температуру $t_2 = 0\,^\circ C$. После таяния льда температура кофе стала $t_2 = 50\,^\circ C$. На сколько процентов уменьшилась концентрация кофе из-за добавления льда? Теплообменом с окружающей средой и теплоемкостью чашки пренебречь. Удельная теплоемкость воды с растворенным в ней кофе $c = 4200\,\text{Дж}/\text{кг}\cdot^\circ C$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\,\text{кДж}/\text{кг}$.

Решение

Пусть $m_\text{р}$ - масса порошка растворимого кофе, m_1 - масса получившегося кофе с водой, m_2 - масса льда, n_1 - концентрация кофе до добавления льда, n_2 - после добавления, α - относительное изменение концентрации кофе. Тогда

$$n_1 = \frac{m_p}{m_1}, \quad n_2 = \frac{m_p}{m_1 + m_2}, \quad \alpha = \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \tag{56}$$

Отсюда

$$\alpha = \frac{m_2}{m_1 + m_2}. \tag{57}$$

Уравнение теплового баланса

$$cm_1(t_1 - t_2) = \lambda m_2 + cm_2(t_2 - t_0). \tag{58}$$

В итоге находим

$$\alpha = \frac{c(t_1 - t_2)}{\lambda + c(t_1 - t_0)} = 0.28 \tag{59}$$

Критерии оценивания
Записаны соотношения для концентраций – 2 балла
Записано уравнение теплового баланса – 3 балла
Ответ в общем виде – 4 балла
Численный ответ – 1 балл

5. В полный штиль на поверхности моря сидит чайка. К ней, находясь на постоянной глубине $h = 5\,\text{м}$, подплывает акула. На какое расстояние, отсчитываемое по горизонтали, может приблизиться акула к чайке, прежде чем чайка заметит акулу. Показатель преломления воды $n = 1.33$.

Решение Для луча от чайки в предельном случае закон преломления

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{1}{n}, \quad \beta = 90^\circ. \tag{60}$$

Если s - расстояние до чайки по горизонтали, то

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{s}{h}. \tag{61}$$

С учетом тригонометрических соотношений получаем

$$s = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}} = 5.7\,\text{м}. \tag{62}$$

Критерии оценивания
Выполнено построение хода лучей – 2 балла
Записано выражение для предельного угла – 2 балла
Записаны соотношения для треугольника – 2 балла
Ответ в общем виде – 3 балла
Численный ответ – 1 балл