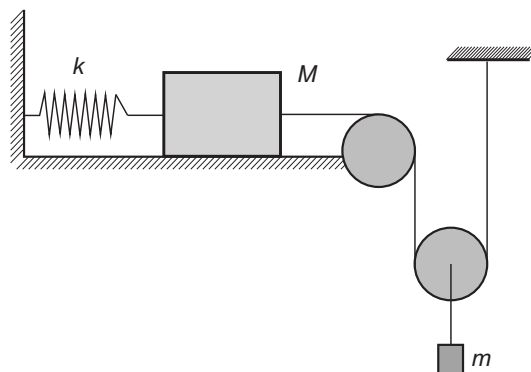


Олимпиада Смарт Старт – 2017. Физика. Заключительный этап.

Решения и критерии.

11 класс

1. В середине боковой стороны бруска массой M , лежащего на горизонтальной плоскости стола, прикреплена легкая пружина жесткостью k , другой конец которой прикреплен к вертикальной стенке так, что ось пружины горизонтальна (см. рис.). К середине противоположной стороны бруска прикреплена легкая нерастяжимая нить, перекинутая через неподвижный блок. На нити висит другой блок, к оси которого подвешен кубик массой m . Верхний конец нити прикреплен к потолку. Первоначально кубик удерживали в положении, при котором пружина не деформирована, а нить слегка натянута. Отрезки нити, не лежащие на блоках, либо горизонтальны, либо вертикальны. Пренебрегая трением и массой блоков, найдите максимальную скорость бруска после отпускания кубика без начальной скорости.



Решение

Скорости бруска и кубика связаны простым кинематическим соотношением

$$v_{\text{бр}} = 2v_{\text{куб}}. \quad (1)$$

Эти скорости будут максимальны, когда ускорения обоих тел будут равны нулю. Отсюда получаем

$$T = kx, \quad 2T = mg, \quad (2)$$

где x – деформация пружины в этот момент, T – натяжение нити. Из (2) находим

$$x = \frac{mg}{2k}. \quad (3)$$

Закон сохранения энергии

$$\frac{kx^2}{2} + \frac{Mv_{\text{бр}}^2}{2} + \frac{mv_{\text{куб}}^2}{2} = mg\frac{x}{2}. \quad (4)$$

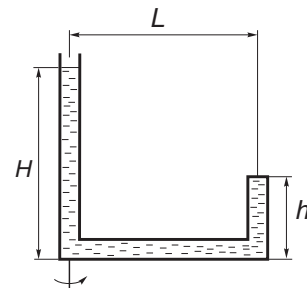
Из (4) с учетом (1) и (3) находим

$$v_{\text{бр}} = \frac{mg}{\sqrt{k(m + 4M)}}. \quad (5)$$

Критерии оценки

1. Найдена кинематическая связь (1): 2 балла
 2. Сделан вывод о равенстве нулю ускорений и записан второй закон Ньютона для обоих тел (2): 3 балла
 3. Записан закон сохранения энергии (4): 3 балла
 4. Получен правильный ответ (5): 2 балла
- Максимальная оценка 10 баллов

2. Тонкая трубка, запаянная с одного конца, заполнена водой и закреплена на горизонтальной платформе, вращающейся с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через левое колено. Открытое и запаянное колена трубки вертикальны. Геометрические размеры установки даны на рис. Атмосферное давление p_0 , плотность воды ρ . Найдите давление воды у запаянного конца трубки.



Решение

Изменение давления вдоль горизонтального участка трубки с учетом его вращения

$$\Delta p = \rho \omega^2 x \Delta x. \quad (6)$$

С учетом (6) условие гидростатического равновесия у основания открытого колена

$$p_0 + \rho g H = p_x + \rho g h - \frac{1}{2} \rho \omega^2 L^2, \quad (7)$$

где p_x – давление у запаянного конца. Из (7) находим

$$p_x = p_0 + \rho g (H - h) + \frac{1}{2} \rho \omega^2 L^2. \quad (8)$$

Критерии оценки

1. Найдено изменение давление вдоль горизонтального участка трубки (6): 3 балла

2. Записано условие гидростатического равновесия (7): 5 баллов

3. Получен правильный ответ (8): 2 балла

Максимальная оценка 10 баллов

3. Баллон с теплонепроницаемыми стенками заполнен озоном (O_3) при температуре $T_1 = 800$ К. Через некоторое время озон превращается в кислород (O_2). Во сколько раз при этом изменилось давление в баллоне? На образование одного моля озона из кислорода требуется $q = 142$ кДж тепла, молярная теплоемкость кислорода при постоянном объеме составляет $c_V = 21 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Решение

Обозначим количество молей озона ν , из него получится $\frac{3}{2}\nu$ молей кислорода. По закону сохранения энергии получаем

$$\nu q = \frac{3}{2} \nu c_V \Delta T, \quad (9)$$

отсюда

$$\Delta T = \frac{2}{3} \frac{q}{c_V}. \quad (10)$$

Уравнения Менделеева-Клапейрона для начального и конечного состояний

$$p_1 V = \nu R T_1, \quad p_2 V = \frac{3}{2} \nu R T_2. \quad (11)$$

Разделив одно уравнение на другое находим с учетом (10)

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{3 T_2}{2 T_1} = \frac{3}{2} + \frac{q}{c_V T_1} \approx 10. \quad (12)$$

Критерии оценки

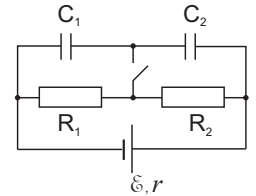
1. Записан закон сохранения энергии и найдено изменение температуры (9), (10) : 4 балла

2. Записаны уравнения Менделеева-Клапейрона (11): 3 балла

3. Получен правильный ответ (12): 3 балла

Максимальная оценка 10 баллов

4. Найдите изменение энергии конденсатора C_2 после замыкания ключа в схеме, изображенной на рис. Сопротивления резисторов, емкости конденсаторов, внутреннее сопротивление и ЭДС батареи указаны на рисунке.



Решение

До замыкания ключа общее напряжение на последовательно включенных конденсаторах находим из закона Ома

$$U = \frac{\mathcal{E}(R_1 + R_2)}{r + R_1 + R_2}. \quad (13)$$

Для конденсаторов

$$\frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = U \Rightarrow q = \frac{C_1 C_2 U}{C_1 + C_2} \quad (14)$$

и энергия конденсатора C_2

$$W_1 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{C_1^2 C_2 \mathcal{E}^2 (R_1 + R_2)^2}{2(C_1 + C_2)^2 (r + R_1 + R_2)^2}. \quad (15)$$

После замыкания ключа напряжение на конденсаторе C_2

$$U' = \frac{\mathcal{E} R_2}{r + R_1 + R_2} \quad (16)$$

и энергия конденсатора C_2

$$W_2 = \frac{C_2 U'^2}{2} = \frac{C_2 \mathcal{E}^2 R_2^2}{2(r + R_1 + R_2)^2}. \quad (17)$$

Изменение энергии конденсатора C_2

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C_2 (R_1 + R_2)^2 \mathcal{E}^2}{2(r + R_1 + R_2)^2} \left(\frac{R_2^2}{(R_1 + R_2)^2} - \frac{C_1^2}{(C_1 + C_2)^2} \right) \quad (18)$$

Критерии оценки

1. Найдена энергия конденсатора C_2 до замыкания ключа (15): 3 балла

2. Найдена энергия конденсатора C_2 после замыкания ключа (17): 4 балла

3. Получен правильный ответ (18): 3 балла

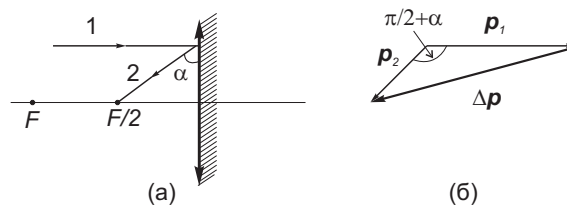
Максимальная оценка 10 баллов

5. Плоская поверхность тонкой плосковыпуклой положительной линзы посеребрена. Узкий пучок лазерного излучения с энергией $W = 4$ Дж и длительностью импульса $\tau = 10^{-8}$ с падает на выпуклую поверхность этой линзы параллельно ее главной оптической оси. Расстояние между осью пучка и главной оптической осью системы равно $F/2\sqrt{3}$ (F - фокусное расстояние линзы). При прохождении через эту систему половина энергии

лазерного излучения поглощается. Найдите величину средней силы, действующей на линзу со стороны света. Отражением от поверхности линзы (без покрытия) можно пренебречь. Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Решение

Так как падающий луч 1 проходит через линзу дважды из-за отражения, что соответствует линзе с удвоенной оптической силой, то луч 2 пересечет главную оптическую ось в точке $F/2$. Ход лучей изображен на рис. (а). Сила, действующая на линзу, находится из второго закона Ньютона в импульсной форме. Т.е,



$$\mathbf{F}\Delta t = \Delta \mathbf{p}, \quad \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1. \tag{19}$$

Из векторного треугольника на рис. (б) находим по теореме косинусов

$$\Delta p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \sin \alpha}. \tag{20}$$

По рис. (а) находим $\alpha = \pi/3$, $p_1 = W/c$, $p_2 = W/2c$ и

$$F = \frac{W}{2c\tau} \sqrt{5 + 2\sqrt{3}}. \tag{21}$$

Критерии оценки

1. Правильно построен ход лучей в системе: 3 балла
2. Найдено изменение импульса света (20): 4 балла
3. Получен правильный ответ (21): 3 балла

Максимальная оценка 10 баллов

Олимпиада Смарт Старт – 2017. Физика. Заключительный этап.

Решения и критерии.

10 класс

Задачи 1-4 см. в 11 классе

5. Кювета с водой находится в закрытом помещении объемом $V = 83 \text{ м}^3$ в течение длительного времени. Определить массу воды, испарившейся из кюветы, если температуру в помещении медленно повысить от $t_1 = 7^\circ\text{C}$ до $t_2 = 17^\circ\text{C}$? Давление насыщенного водяного пара при t_1 равно $p_1 = 1120 \text{ Па}$, а при t_2 оно равно $p_2 = 2200 \text{ Па}$. Молярная масса воды $M = 0,018 \text{ кг/моль}$.

Решение

Так как сосуд с водой находится в закрытом помещении, то пар в помещении – насыщенный. Найдем массу пара в помещении при температурах t_1 и t_2 из уравнения Менделеева - Клапейрона:

$$m_1 = \frac{p_1 V M}{R T_1}, \quad m_2 = \frac{p_2 V M}{R T_2}. \quad (22)$$

Тогда масса испарившейся воды

$$\Delta m = m_2 - m_1 = \frac{V M}{R} \left(\frac{p_2}{T_2} - \frac{p_1}{T_1} \right) = 0.65 \text{ кг} \quad (23)$$

Критерии оценки

1. Сделан вывод о том, что пар в помещении насыщенный *3 балла*
2. Найдены массы пара в помещении (22): *4 балла*
3. Получен правильный ответ (23): *3 балла*

Максимальная оценка *10 баллов*

Олимпиада Смарт Старт – 2017. Физика. Заключительный этап.

Решения и критерии.

9 класс

1. Пластилиновый шар бросают в сторону вертикальной стены, находящейся на расстоянии $L = 5$ м от точки бросания, с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Шар прилипает к стене. Считая, что вся кинетическая энергия шара пошла на его нагревание, найдите изменение его температуры. Удельная теплоемкость пластилина $c = 2,5 \cdot 10^3$ Дж/(кг · К).

Решение

Зависимость от времени горизонтальной координаты шарика

$$x = v_0 \cos \alpha t \quad (24)$$

и проекций его скорости

$$\begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \alpha, \\ v_y &= v_0 \sin \alpha - gt. \end{aligned} \quad (25)$$

Из (24) находим время движения шарика до столкновения

$$t = \frac{L}{v_0 \cos \alpha}. \quad (26)$$

По закону сохранения энергии

$$\frac{m}{2}(v_x^2 + v_y^2) = cm\Delta T. \quad (27)$$

Из (27) с учетом (25) и (26) получаем

$$\Delta T = \frac{1}{2c} \left(v_0^2 \cos^2 \alpha + \left(v_0 \sin \alpha - \frac{gL}{v_0 \cos \alpha} \right)^2 \right) = 0.01 \text{ K} \quad (28)$$

Критерии оценки

1. Найдено время движения до столкновения (26) *3 балла*
2. Записан закон сохранения энергии (27): *3 балла*
3. Найдена зависимость проекций скорости от времени (25): *2 балла*
4. Получен правильный ответ (28): *2 балла*

Максимальная оценка *10 баллов*

2. Сосуд с водой, масса которой $m_1 = 100$ г и температура $t_1 = 0^\circ\text{C}$, был подвешен посередине комнаты. Через $\tau_1 = 15$ мин температура воды поднялась до $t_2 = 2^\circ\text{C}$. В другой раз в тот же сосуд вместо воды поместили лед массой $m_2 = 100$ г при температуре $t = 0^\circ\text{C}$. В тех же условиях лед растаял за $\tau_2 = 10$ ч. Оцените по этим данным удельную теплоту плавления льда. Удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · °C).

Решение

Полагая, что тепловой поток (количество теплоты, отдаваемое в единицу времени) в обоих случаях одинаков, получаем

$$\frac{cm_1(t_2 - t_1)}{\tau_1} = \frac{\lambda m_2}{\tau_2}. \quad (29)$$

Отсюда,

$$\lambda = \frac{\tau_2 c m_1 (t_2 - t_1)}{\tau_1 m_2} = 336 \text{ кДж/кг}. \quad (30)$$

Критерии оценки

1. Найдено количество теплоты, получаемое водой: *2 балла*
2. Найдено количество теплоты, получаемое льдом: *2 балла*
3. Сделан вывод о равенстве тепловых потоков: *4 балла*
4. Получен правильный ответ (30): *2 балла*

Максимальная оценка *10 баллов*

3. Два нагревательных элемента, номинальные мощности которых $P_1 = 100$ Вт и $P_2 = 200$ Вт, включают в сеть сначала параллельно, а затем последовательно. Чему равно отношение общих мощностей, выделяющихся в этих нагревателях в рассматриваемых двух случаях? Считайте, что сопротивления элементов не зависят от температуры.

Решение

При включении элементов параллельно общая мощность

$$P' = P_1 + P_2. \quad (31)$$

Сопротивления элементов

$$R_1 = \frac{U^2}{P_1}, \quad R_2 = \frac{U^2}{P_2}. \quad (32)$$

Общая мощность при последовательном включении

$$P'' = \frac{U^2}{R_1 + R_2} = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2}. \quad (33)$$

Отношение мощностей

$$\frac{P'}{P''} = \frac{(P_1 + P_2)^2}{P_1 P_2} = 2 + \frac{P_1}{P_2} + \frac{P_2}{P_1} = 4.5. \quad (34)$$

Критерии оценки

1. Найдена общая мощность при параллельном соединении (31): *2 балла*
2. Найдена общая мощность при последовательном соединении (31): *5 баллов*
3. Получен правильный ответ (34): *3 балла*

Максимальная оценка *10 баллов*

4. При движении машины по горизонтальной дороге с неизменной скоростью, бортовой компьютер показывает расход топлива $\mu_1 = 0.07$ л/км. Что будет показывать бортовой компьютер при движении с той же скоростью вверх по дороге с уклоном 50 м на 1 км пути? Характеристики асфальтового покрытия постоянны, масса автомобиля $M = 1000$ кг, КПД двигателя $\eta = 30\%$, удельная теплота сгорания топлива $q = 42$ МДж/кг, плотность топлива $\rho = 0.7$ кг/л.

Решение

КПД двигателя

$$\eta = \frac{A}{Q}, \quad (35)$$

где A - полезная работа по перемещению автомобиля, Q - количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива. Если автомобиль проехал расстояние s , то

$$Q = \mu s \rho q.$$

При движении по горизонтальному участку

$$A_1 = F s, \quad (36)$$

на подъеме

$$A_2 = F s + 0.05 M g s, \quad (37)$$

где F - сила сопротивления движению автомобиля. Т.о. получаем

$$\begin{aligned} F s &= \eta \mu_1 s \rho q, \\ F s + 0.05 M g s &= \eta \mu_2 s \rho q. \end{aligned} \quad (38)$$

Из (38)

$$\mu_2 = \mu_1 + \frac{0.05 M g}{\eta \rho q} = 0.126 \text{ л/км}. \quad (39)$$

Критерии оценки

1. Записано выражения для КПД двигателя (35): *2 балла*
2. Записаны выражения для полезной работы на горизонтальном участке и участке с подъемом (36), (37) : *4 балла*
3. Составлена система (38): *2 балла*
4. Получен правильны ответ (39): *2 балла*

Максимальная оценка *10 баллов*

5. Жук движется по вертикальной поверхности с постоянной скоростью $v = 3$ см/с. Параллельное поверхности плоское зеркало удаляется от нее со скоростью $u = 2$ см/с. Определить модуль скорости движения изображения жука в зеркале?

Решение

Рассмотрим неподвижную точку и ее изображение в зеркале. Если зеркало удалится от точки на величину Δs , то изображение точки переместится на величину $2\Delta s$. Т.е. если зеркало будет удаляться со скоростью u , изображение будет двигаться со скоростью $2u$. Далее рассмотрим случай неподвижного зеркала, а точка пусть движется со скоростью v параллельно зеркалу. Очевидно, что изображение будет двигаться с такой же скоростью. Т.о., в нашем случае по теореме Пифагора скорость изображения жука в зеркале

$$v_{\text{иж}} = \sqrt{v^2 + (2u)^2} = 5 \text{ см/с}. \quad (40)$$

Критерии оценки

1. Найдена скорость изображения неподвижной точки в удаляющемся зеркале : *4 балла*
2. Найдена скорость изображения движущейся параллельно зеркалу точки : *3 балла*
3. Получен правильный ответ (40): *3 балла*

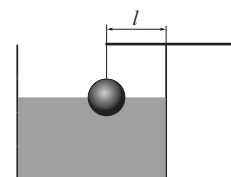
Максимальная оценка *10 баллов*

Олимпиада Смарт Старт – 2017. Физика. Заключительный этап.

Решения и критерии.

8 класс

1. Выполняя лабораторную работу, ученик 8 класса определял массу шарика объемом $V = 0.5 \text{ см}^3$. Для этого он подвесил шарик на легкой нити, другой конец которой прикрепил к концу тонкого однородного стержня массой $M = 4.5 \text{ г}$ и длиной $L = 5 \text{ см}$. Далее он положил стержень на край тонкостенного сосуда, заполненного водой.



При этом в воду шарик был погружен ровно наполовину своего объема, а стержень находился в равновесии, если расстояние от точки закрепления нити до края сосуда $l = 2 \text{ см}$. Какую массу шарика нашел ученик, если плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

Решение

Сила упругости нити будет равна весу шарика с учетом выталкивающей силы:

$$T = mg - \frac{1}{2}\rho gV. \quad (41)$$

Эта же сила будет действовать со стороны нити на стержень. Сила тяжести, действующая на стержень, приложена в его середине. Правило моментов для стержня, относительно оси, проходящей через точку касания стержня и сосуда

$$Mg \left(\frac{L}{2} - l \right) = Tl, \quad (42)$$

и с учетом (41) получаем

$$m = \frac{1}{2}\rho V + M \left(\frac{L}{2l} - 1 \right) = 1.38 \text{ г}. \quad (43)$$

Критерии оценки

1. Найден вес шарика и сила натяжения нити (41): 3 балла
2. Записано правило моментов для стержня (42): 4 балла
3. Получен правильный ответ (43): 3 балла

Максимальная оценка 10 баллов

2. В сосуд с теплонепроницаемыми стенками налито воды объемом 9 л при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Далее в сосуд стали опускать шарики, имеющие температуру $200 \text{ }^\circ\text{C}$. К тому моменту, когда сосуд оказался заполненным точно до краев, а все шарики были полностью погружены в воду, вода оказалась нагрета до температуры кипения. Найдите объем сосуда, если известно, что плотность материала шариков в 2.5 раза больше плотности воды, а удельная теплоемкость материала шариков в 5 раз меньше удельной теплоемкости воды. Принять, что перед опусканием каждого шарика в сосуде успевало устанавливаться тепловое равновесие.

Решение

Уравнение теплового баланса

$$c_{\text{в}}\rho_{\text{в}}V_{\text{в}}(t_{\text{кип}} - t_{\text{в}}) = c_{\text{ш}}\rho_{\text{ш}}V_{\text{ш}}(t_{\text{ш}} - t_{\text{кип}}). \quad (44)$$

Объем сосуда

$$V_c = V_B + V_{III}. \quad (45)$$

Из (44) и (45) находим

$$V_c = V_B \left(1 + \frac{c_B \rho_B t_{кип} - t_B}{c_{III} \rho_{III} t_{III} - t_{кип}} \right) = 21 \text{ л.} \quad (46)$$

Критерии оценки

1. Записано уравнение теплового баланса (44): *5 баллов*
 2. Записано соотношение между объемом сосуда, объемом воды и объемом всех шариков (45): *2 балла*
 3. Получен правильный ответ (46): *3 балла*
- Максимальная оценка *10 баллов*

3. Мальчик со своей собакой движется по прямой дороге с постоянной скоростью $u = 5$ км/ч. При этом собака бежит вперед от мальчика со скоростью $v = 15$ км/ч, пока поводок не натянется. После этого собака разворачивается и бежит обратно к мальчику. Добежав до хозяина, собака опять разворачивается и бежит вперед. Определить расстояние, какое пройдет мальчик к тому моменту, когда собака вернется к нему после $N = 100$ циклов? Длина поводка $l = 10$ м.

Решение

Скорость собаки относительно человека при движении вперед равна $v - u$, при движении назад равна $v + u$. Время, которое будет бегать собака,

$$t = \frac{Nl}{v - u} + \frac{Nl}{v + u} = \frac{2Nlv}{v^2 - u^2}, \quad (47)$$

расстояние, которое пройдет мальчик

$$s = ut = \frac{2Nlvu}{v^2 - u^2} = 750 \text{ м.} \quad (48)$$

Критерии оценки

1. Предложено рассматривать движение собаки относительно мальчика и найдены скорости собаки: *3 балла*
 2. Найдено время движения собаки (47): *4 балла*
 3. Получен правильный ответ (46): *3 балла*
- Максимальная оценка *10 баллов*

4. См. задачу N2 из 9 класса

5. См. задачу N3 из 9 класса