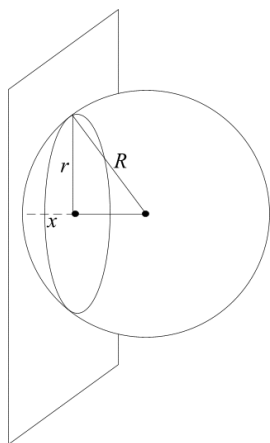


Физика. 11 класс. Вариант 1

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

1. Футбольный мячик с массой $m=0.5\text{ кг}$ и радиусом $R=0.15\text{ м}$ налетает на неподвижную стену со скоростью $v=10\text{ м/с}$ и упруго отскакивает. Давление воздуха в мячике $P=3\text{ атм}$ и не меняется в процессе контакта со стеной. Каково время контакта мячика со стеной? Какова средняя сила давления мячика на стену? (25 баллов)

Решение:



Давление воздуха в мяче заметно превышает атмосферное, следовательно, разумно предположить, что величина “вдавливания” мяча в стену x много меньше его радиуса (см. рисунок). Составим уравнение движения после соприкосновения со стеной:

$$ma = -PS, \text{ здесь } S = \pi r^2 = \pi(R^2 - (R-x)^2) \approx 2\pi Rx, \quad a = -\frac{2\pi RP}{m}x = -\omega^2 x. \quad (1)$$

Очевидно, взаимодействие мяча со стеной описывается уравнением гармонических колебаний, и время контакта составляет половину периода, т.е. из уравнения (1) получим:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{\pi m}{2RP}}. \quad (2)$$

Для средней силы взаимодействия получим:

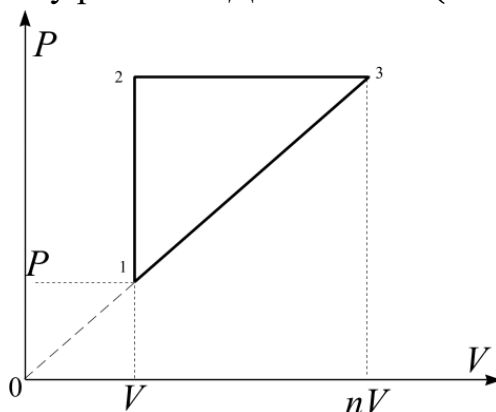
$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{2mv}{t} = 2v \sqrt{\frac{2RPm}{\pi}}. \quad (3)$$

Ответ: t (с) = 0,004, F (Н) = 2400

Критерии (25 баллов)

1. Построен поясняющий рисунок, составлено уравнение движения. Высказана догадка о подобии движения мяча и колебательного движения. (15 баллов)
2. Получено выражение для времени и численный ответ. (5 баллов).
3. Получено выражение для силы и численный ответ. (5 баллов).

2. Тепловая машина работает по циклу, изображенному на рисунке. В процессе работы объем рабочего тела (один моль двухатомного идеального газа) меняется в $n = 5$ раз. Чему равен КПД машины? (25 баллов)



Решение:

Согласно определению КПД: $\eta = \frac{A}{Q}$, $Q = Q_{12} + Q_{23}$ - количество теплоты, полученное рабочим телом за один цикл, A - работа газа за один цикл. Вычислим каждое слагаемое отдельно. Из рисунка следует, что если объем газа меняется в n раз, то во столько же раз меняется и давление, т.к. продолжение линейного участка 1-3 проходит через начало координат.

Работа газа равна площади цикла: $A = \frac{1}{2}(nV - V)(nP - P) = \frac{1}{2}(n^2 - 1)PV$. Количество теплоты (газ двухатомный):

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = C_V \Delta T_{12} + C_P \Delta T_{23} = \frac{5}{2} R \Delta T_{12} + \frac{7}{2} R \Delta T_{23}. \quad (4)$$

С использованием уравнения состояния идеального газа можно записать: $PV = RT_1$, $nPV = RT_2$, $n^2 PV = RT_3$. С учетом этого для выражения (4) получим:

$Q = \frac{5}{2}(n-1)PV + \frac{7}{2}(n^2 - n)PV = \frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)$. В итоге для КПД будем иметь:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}(n^2 - 1)PV}{\frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)} = \frac{n+1}{7n+5}.$$

Ответ: КПД (%) = 15

Критерии (25 баллов)

1. Записано выражение для работы цикла (8 баллов)
2. Записано выражение для полученного количества теплоты (10 баллов).
3. Получено выражение для КПД. (7 баллов).

3. В русской народной сказке “Лисичка-сестричка и Волк” описан эпизод обмана Лисой Мужика, который вез домой в санях богатый улов рыбы. Лиса, притворившись мертвой, была подобрана возницей. Через некоторое время, в процессе движения саней Лиса постепенно (рыбка за рыбкой) выбрасывала улов, потом вовсе убежала. В сказке утверждается, что ни Мужик, ни его лошадь не почувствовали, что для движения саней нужно прикладывать меньшие усилия. Рассмотрите идеальную ситуацию: в пренебрежении массой Лисы по сравнению со всей системой и неизменной силой трения саней о дорогу оцените, на сколько меньшую силу необходимо прикладывать лошади для движения саней с постоянной скоростью $v = 5$ м/с. За каждый малый промежуток времени $\Delta t = 1$ с Лиса выбрасывает массу $\Delta m = 0.5$ кг. (15 баллов)

Решение:

Запишем уравнение движения: $F + F_{тр} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ (F - сила тяги, развиваемая лошадью, $F_{тр} = const$ - сила трения). Следует учесть, что сани движутся равномерно, но масса убывает. Это обстоятельство должно быть учтено при расчете изменения импульса: $\Delta p = (m - \Delta m)v - mv = -\Delta m v$. Таким образом, до того, как Лиса приступила к воровству, сила тяги была равна силе трения (равномерное движение). После начала убыли массы сила тяги уменьшилась на величину:

$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = v \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Ответ: ΔF (Н) = 2,5

Критерии (15 баллов)

1. Записано уравнение движения саней через изменение импульса. (5 баллов).
2. Получено выражение для изменения импульса (5 балла).
3. Верно записано выражение для изменения силы и получен численный ответ. (5 балла).

4. В фантастической литературе часто упоминают фотонные реактивные двигатели космических кораблей. Из сопел ракеты вырывается свет (поток фотонов). Оцените, какой интенсивности свет должен быть обеспечен двигателем, чтобы корабль с массой $M = 10$ кг смог преодолеть земное притяжение? Площадь сечения сопел $S = 10 \text{ см}^2$. (10 баллов)

Решение:

Сила тяги двигателя должна по крайней мере компенсировать силу тяжести, действующую на корабль. Находясь на корпускулярных позициях, запишем выражение для силы тяги двигателя из второго закона Ньютона:

$$F = \frac{\Delta N p}{\Delta t} = Mg, \quad (5)$$

здесь p - импульс, уносимый одним фотоном, ΔN - число фотонов, вылетающих из сопел за время Δt .

С другой стороны можно связать интенсивность света I с импульсом фотона, с учетом того, что его энергия равна $E = pc$ (c - скорость света):

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pc \frac{\Delta N}{\Delta t}}{S}. \quad (6)$$

Объединяя (5) и (6) получим: $I = \frac{Mgc}{S}$.

Ответ: $I \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 3 \cdot 10^{14}$

Критерии (10 баллов)

1. Записано выражение для силы через количество фотонов и их импульс. (4 балла).
2. Записано выражение для интенсивности света через энергию фотона. (4 балла).
3. Получено выражение для силы тяги и численный ответ (2 балла)

5. Предмет расположен на расстоянии $3F$ от тонкой сферической собирающей линзы (F — фокусное расстояние). Каково увеличение полученного изображения? (5 баллов)

Решение:

Увеличение в тонкой линзе определяем из выражения: $\Gamma = \frac{b}{a}$, где a и b - расстояние от предмета до линзы и от изображения до линзы соответственно.

Эти расстояния связаны формулой тонкой линзы: $\frac{1}{mF} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, откуда получим:
 $b = \frac{mF}{m-1}$. Тогда для увеличения получим: $\Gamma = \frac{1}{m-1}$.

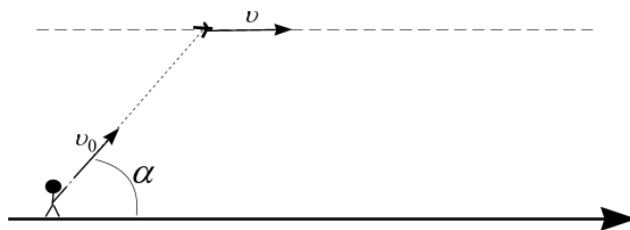
Ответ: $\Gamma = 0,5$

Критерии (5 баллов)

1. Объединены в систему выражения для увеличения и формула тонкой линзы. (3 балла).
2. Решена система уравнений и получен численный ответ. (2 балла).

6. Над охотником пролетела утка, в которую он выстрелил, целясь без упреждения. Птица двигалась равномерно прямолинейно со скоростью $v = 10$ м/с. Тем не менее, случилось попадание. Выстрел был произведен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, скорость пули $v_0 = 500$ м/с. На какой высоте H летела птица? (20 баллов)

Решение:



Условие на попадание следующее. Пуля и утка должны оказаться в одном месте в одно и то же время t . Следовательно, должно быть выполнено равенство:

$$v_0 \cos(\alpha)t = \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha)} + vt, \text{ отсюда:}$$

$$t = \frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (7)$$

Кроме того, пуля и утка в этот момент времени должны оказаться на высоте $H = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2}$. Подстановка сюда выражение (7):

$$H = \frac{H v_0 \cos(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha) - v} - \frac{g}{2} \left(\frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)} \right)^2.$$

Отсюда для высоты полета получим: $H = \frac{2v}{g} \operatorname{tg}^2(\alpha)(v_0 \cos(\alpha) - v)$.

Ответ: $H \text{ (м)} = 701$

Критерии (20 баллов)

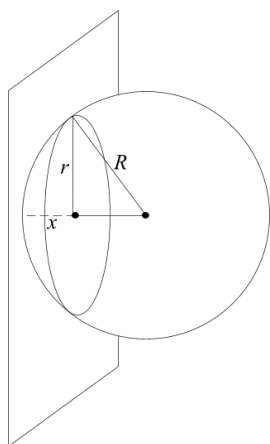
1. Построен поясняющий рисунок и получено выражение для времени полета пули. (10 баллов).
2. Записано выражение для высоты полета пули/утки. (5 баллов).
3. После объединения уравнений получено выражение для высоты попадания и получен численный ответ (5 баллов).

Физика. 11 класс. Вариант 2

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

1. Футбольный мячик с массой $m=0.3$ кг и радиусом $R=0.1$ м налетает на неподвижную стену со скоростью $v=5$ м/с и упруго отскакивает. Давление воздуха в мячике $P=2$ атм и не меняется в процессе контакта со стеной. Каково время контакта мячика со стеной? Какова средняя сила давления мячика на стену? (25 баллов)

Решение:



Давление воздуха в мяче заметно превышает атмосферное, следовательно, разумно предположить, что величина “вдавливания” мяча в стену x много меньше его радиуса (см. рисунок). Составим уравнение движения после соприкосновения со стеной:

$$ma = -PS, \text{ здесь } S = \pi r^2 = \pi(R^2 - (R-x)^2) \approx 2\pi Rx, \quad a = -\frac{2\pi RP}{m}x = -\omega^2 x. \quad (1)$$

Очевидно, взаимодействие мяча со стеной описывается уравнением гармонических колебаний, и время контакта составляет половину периода, т.е. из уравнения (1) получим:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{\pi m}{2RP}}. \quad (2)$$

Для средней силы взаимодействия получим:

$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{2mv}{t} = 2v \sqrt{\frac{2RPm}{\pi}}. \quad (3)$$

Ответ: t (с) = 0,005, F (Н) = 618

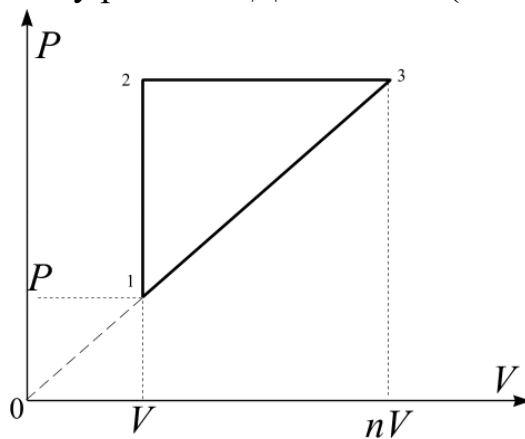
Критерии (25 баллов)

1. Построен поясняющий рисунок, составлено уравнение движения. Высказана догадка о подобии движения мяча и колебательного движения. (15 баллов)

2. Получено выражение для времени и численный ответ. (5 баллов).

3. Получено выражение для силы и численный ответ. (5 баллов).

2. Тепловая машина работает по циклу, изображенному на рисунке. В процессе работы объем рабочего тела (один моль двухатомного идеального газа) меняется в $n=2$ раза. Чему равен КПД машины? (25 баллов)



Решение:

Согласно определению КПД: $\eta = \frac{A}{Q}$, $Q = Q_{12} + Q_{23}$ - количество теплоты, полученное рабочим телом за один цикл, A - работа газа за один цикл. Вычислим каждое слагаемое отдельно. Из рисунка следует, что если объем газа меняется в n раз, то во столько же раз меняется и давление, т.к. продолжение линейного участка 1-3 проходит через начало координат.

Работа газа равна площади цикла: $A = \frac{1}{2}(nV - V)(nP - P) = \frac{1}{2}(n^2 - 1)PV$. Количество теплоты (газ двухатомный):

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = C_V \Delta T_{12} + C_P \Delta T_{23} = \frac{5}{2} R \Delta T_{12} + \frac{7}{2} R \Delta T_{23}. \quad (4)$$

С использованием уравнения состояния идеального газа можно записать: $PV = RT_1$, $nPV = RT_2$, $n^2 PV = RT_3$. С учетом этого для выражения (4) получим:

$Q = \frac{5}{2}(n-1)PV + \frac{7}{2}(n^2 - n)PV = \frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)$. В итоге для КПД будем иметь:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}(n^2 - 1)PV}{\frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)} = \frac{n+1}{7n+5}.$$

Ответ: КПД (%) = 16

Критерии (25 баллов)

4. Записано выражение для работы цикла (8 баллов)
5. Записано выражение для полученного количества теплоты (10 баллов).
6. Получено выражение для КПД. (7 баллов).

3. В русской народной сказке “Лисичка-сестричка и Волк” описан эпизод обмана Лисой Мужика, который вез домой в санях богатый улов рыбы. Лиса, притворившись мертвой, была подобрана возницей. Через некоторое время, в процессе движения саней Лиса постепенно (рыбка за рыбкой) выбрасывала улов, потом вовсе убежала. В сказке утверждается, что ни Мужик, ни его лошадь не почувствовали, что для движения саней нужно прикладывать меньшие усилия. Рассмотрите идеальную ситуацию: в пренебрежении массой Лисы по сравнению со всей системой и неизменной силой трения саней о дорогу оцените, на сколько меньшую силу необходимо прикладывать лошади для движения саней с постоянной скоростью $v = 10$ м/с. За каждый малый промежуток времени $\Delta t = 0.5$ с Лиса выбрасывает массу $\Delta m = 1$ кг. (15 баллов)

Решение:

Запишем уравнение движения: $F + F_{тр} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ (F - сила тяги, развиваемая лошадью, $F_{тр} = const$ - сила трения). Следует учесть, что сани движутся равномерно, но масса убывает. Это обстоятельство должно быть учтено при расчете изменения импульса: $\Delta p = (m - \Delta m)v - mv = -\Delta m v$. Таким образом, до того, как Лиса приступила к воровству, сила тяги была равна силе трения (равномерное движение). После начала убыли массы сила тяги уменьшилась на величину:

$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = v \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Ответ: ΔF (Н) = 20

Критерии (15 баллов)

1. Записано уравнение движения саней через изменение импульса. (5 баллов).
2. Получено выражение для изменения импульса (5 балла).
3. Верно записано выражение для изменения силы и получен численный ответ. (5 балла).

4. В фантастической литературе часто упоминают фотонные реактивные двигатели космических кораблей. Из сопел ракеты вырывается свет (поток фотонов). Оцените, какой интенсивности свет должен быть обеспечен двигателем, чтобы корабль с массой $M=100$ кг смог преодолеть земное притяжение? Площадь сечения сопел $S=20$ см². (10 баллов)

Решение:

Сила тяги двигателя должна по крайней мере компенсировать силу тяжести, действующую на корабль. Находясь на корпускулярных позициях, запишем выражение для силы тяги двигателя из второго закона Ньютона:

$$F = \frac{\Delta N p}{\Delta t} = Mg, \quad (5)$$

здесь p - импульс, уносимый одним фотоном, ΔN - число фотонов, вылетающих из сопел за время Δt .

С другой стороны можно связать интенсивность света I с импульсом фотона, с учетом того, что его энергия равна $E = pc$ (c - скорость света):

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pc \frac{\Delta N}{\Delta t}}{S}. \quad (6)$$

Объединяя (5) и (6) получим: $I = \frac{Mgc}{S}$.

Ответ: I (Вт/м²) = $1.5 \cdot 10^{14}$

Критерии (10 баллов)

1. Записано выражение для силы через количество фотонов и их импульс. (4 баллов).

2. Записано выражение для интенсивности света через энергию фотона. (4 балла).

3. Получено выражение для силы тяги и численный ответ (2 балла)

5. Предмет расположен на расстоянии $1.5F$ от тонкой сферической собирающей линзы (F - фокусное расстояние). Каково увеличение полученного изображения? (5 баллов)

Решение:

Увеличение в тонкой линзе определяем из выражения: $\Gamma = \frac{b}{a}$, где a и b - расстояние от предмета до линзы и от изображения до линзы соответственно.

Эти расстояния связаны формулой тонкой линзы: $\frac{1}{mF} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, откуда получим:
 $b = \frac{mF}{m-1}$. Тогда для увеличения получим: $\Gamma = \frac{1}{m-1}$.

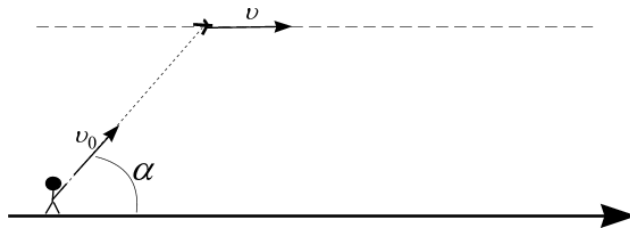
Ответ: $\Gamma = 2$

Критерии (5 баллов)

1. Объединены в систему выражения для увеличения и формула тонкой линзы. (3 балла).
2. Решена система уравнений и получен численный ответ. (2 балла).

6. Над охотником пролетела утка, в которую он выстрелил, целясь без упреждения. Птица двигалась равномерно прямолинейно со скоростью $v = 5$ м/с. Тем не менее, случилось попадание. Выстрел был произведен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, скорость пули $v_0 = 700$ м/с. На какой высоте H летела птица? (20 баллов)

Решение:



Условие на попадание следующее. Пуля и утка должны оказаться в одном месте в одно и то же время t . Следовательно, должно быть выполнено равенство:

$$v_0 \cos(\alpha)t = \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha)} + vt, \text{ отсюда:}$$

$$t = \frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (7)$$

Кроме того, пуля и утка в этот момент времени должны оказаться на высоте $H = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2}$. Подстановка сюда выражение (7):

$$H = \frac{Hv_0 \cos(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha) - v} - \frac{g}{2} \left(\frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)} \right)^2.$$

Отсюда для высоты полета получим: $H = \frac{2v}{g} \operatorname{tg}^2(\alpha)(v_0 \cos(\alpha) - v)$.

Ответ: H (м) = 500

Критерии (20 баллов)

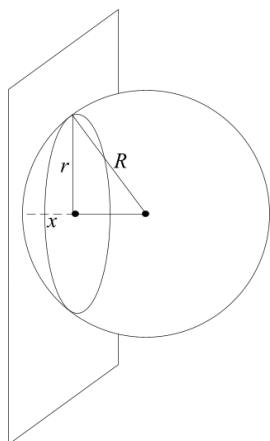
1. Построен поясняющий рисунок и получено выражение для времени полета пули. (10 баллов).
2. Записано выражение для высоты полета пули/утки. (5 баллов).
3. После объединения уравнений получено выражение для высоты попадания и получен численный ответ (5 баллов).

Физика. 11 класс. Вариант 3

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

1. Футбольный мячик с массой $m=0.2$ кг и радиусом $R=0.1$ м налетает на неподвижную стену со скоростью $v=15$ м/с и упруго отскакивает. Давление воздуха в мячике $P=1.5$ атм и не меняется в процессе контакта со стеной. Каково время контакта мячика со стеной? Какова средняя сила давления мячика на стену? (25 баллов)

Решение:



Давление воздуха в мяче заметно превышает атмосферное, следовательно, разумно предположить, что величина “вдавливания” мяча в стену x много меньше его радиуса (см. рисунок). Составим уравнение движения после соприкосновения со стеной:

$$ma = -PS, \text{ здесь } S = \pi r^2 = \pi(R^2 - (R-x)^2) \approx 2\pi Rx, \quad a = -\frac{2\pi RP}{m}x = -\omega^2 x. \quad (1)$$

Очевидно, взаимодействие мяча со стеной описывается уравнением гармонических колебаний, и время контакта составляет половину периода, т.е. из уравнения (1) получим:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{\pi m}{2RP}}. \quad (2)$$

Для средней силы взаимодействия получим:

$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{2mv}{t} = 2v \sqrt{\frac{2RPm}{\pi}}. \quad (3)$$

Ответ: t (с) = 0,005, F (Н) = 1311

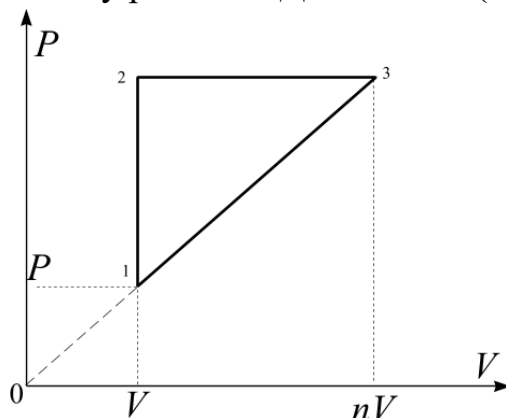
Критерии (25 баллов)

1. Построен поясняющий рисунок, составлено уравнение движения. Высказана догадка о подобии движения мяча и колебательного движения. (15 баллов)

2. Получено выражение для времени и численный ответ. (5 баллов).

3. Получено выражение для силы и численный ответ. (5 баллов).

2. Тепловая машина работает по циклу, изображенному на рисунке. В процессе работы объем рабочего тела (один моль двухатомного идеального газа) меняется в $n = 1.5$ раза. Чему равен КПД машины? (25 баллов)



Решение:

Согласно определению КПД: $\eta = \frac{A}{Q}$, $Q = Q_{12} + Q_{23}$ - количество теплоты,

полученное рабочим телом за один цикл, A - работа газа за один цикл. Вычислим каждое слагаемое отдельно. Из рисунка следует, что если объем газа меняется в n раз, то во столько же раз меняется и давление, т.к. продолжение линейного участка 1-3 проходит через начало координат.

Работа газа равна площади цикла: $A = \frac{1}{2}(nV - V)(nP - P) = \frac{1}{2}(n^2 - 1)PV$. Количество теплоты (газ двухатомный):

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = C_V \Delta T_{12} + C_P \Delta T_{23} = \frac{5}{2} R \Delta T_{12} + \frac{7}{2} R \Delta T_{23}. \quad (4)$$

С использованием уравнения состояния идеального газа можно записать: $PV = RT_1$, $nPV = RT_2$, $n^2 PV = RT_3$. С учетом этого для выражения (4) получим:

$Q = \frac{5}{2}(n-1)PV + \frac{7}{2}(n^2 - n)PV = \frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)$. В итоге для КПД будем иметь:

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}(n^2 - 1)PV}{\frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)} = \frac{n+1}{7n+5}.$$

Ответ: КПД (%) = 16

Критерии (25 баллов)

7. Записано выражение для работы цикла (8 баллов)
8. Записано выражение для полученного количества теплоты (10 баллов).
9. Получено выражение для КПД. (7 баллов).

3. В русской народной сказке “Лисичка-сестричка и Волк” описан эпизод обмана Лисой Мужика, который вез домой в санях богатый улов рыбы. Лиса, притворившись мертвой, была подобрана возницей. Через некоторое время, в процессе движения саней Лиса постепенно (рыбка за рыбкой) выбрасывала улов, потом вовсе убежала. В сказке утверждается, что ни Мужик, ни его лошадь не почувствовали, что для движения саней нужно прикладывать меньшие усилия. Рассмотрите идеальную ситуацию: в пренебрежении массой Лисы по сравнению со всей системой и неизменной силой трения саней о дорогу оцените, на сколько меньшую силу необходимо прикладывать лошади для движения саней с постоянной скоростью $v = 15$ м/с. За каждый малый промежуток времени $\Delta t = 0.5$ с Лиса выбрасывает массу $\Delta m = 1.5$ кг. (15 баллов)

Решение:

Запишем уравнение движения: $F + F_{тр} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ (F - сила тяги, развиваемая лошадью, $F_{тр} = const$ - сила трения). Следует учесть, что сани движутся равномерно, но масса убывает. Это обстоятельство должно быть учтено при расчете изменения импульса: $\Delta p = (m - \Delta m)v - mv = -\Delta m v$. Таким образом, до того, как Лиса приступила к воровству, сила тяги была равна силе трения (равномерное движение). После начала убыли массы сила тяги уменьшилась на величину:

$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = v \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Ответ: ΔF (Н) = 45

Критерии (15 баллов)

1. Записано уравнение движения саней через изменение импульса. (5 баллов).
2. Получено выражение для изменения импульса (5 баллов).
3. Верно записано выражение для изменения силы и получен численный ответ. (5 баллов).

4. В фантастической литературе часто упоминают фотонные реактивные двигатели космических кораблей. Из сопел ракеты вырывается свет (поток фотонов). Оцените, какой интенсивности свет должен быть обеспечен двигателем, чтобы корабль с массой $M = 40$ кг смог преодолеть земное притяжение? Площадь сечения сопел $S = 15 \text{ см}^2$. (10 баллов)

Решение:

Сила тяги двигателя должна по крайней мере компенсировать силу тяжести, действующую на корабль. Находясь на корпускулярных позициях, запишем выражение для силы тяги двигателя из второго закона Ньютона:

$$F = \frac{\Delta N p}{\Delta t} = Mg, \quad (5)$$

здесь p - импульс, уносимый одним фотоном, ΔN - число фотонов, вылетающих из сопел за время Δt .

С другой стороны можно связать интенсивность света I с импульсом фотона, с учетом того, что его энергия равна $E = pc$ (c - скорость света):

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pc \frac{\Delta N}{\Delta t}}{S}. \quad (6)$$

Объединяя (5) и (6) получим: $I = \frac{Mgc}{S}$.

Ответ: $I \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 7.8 \cdot 10^{14}$

Критерии (10 баллов)

1. Записано выражение для силы через количество фотонов и их импульс. (4 балла).
2. Записано выражение для интенсивности света через энергию фотона. (4 балла).
3. Получено выражение для силы тяги и численный ответ (2 балла)

5. Предмет расположен на расстоянии $1.2F$ от тонкой сферической собирающей линзы (F - фокусное расстояние). Каково увеличение полученного изображения? (5 баллов)

Решение:

Увеличение в тонкой линзе определяем из выражения: $\Gamma = \frac{b}{a}$, где a и b - расстояние от предмета до линзы и от изображения до линзы соответственно.

Эти расстояния связаны формулой тонкой линзы: $\frac{1}{mF} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, откуда получим:
 $b = \frac{mF}{m-1}$. Тогда для увеличения получим: $\Gamma = \frac{1}{m-1}$.

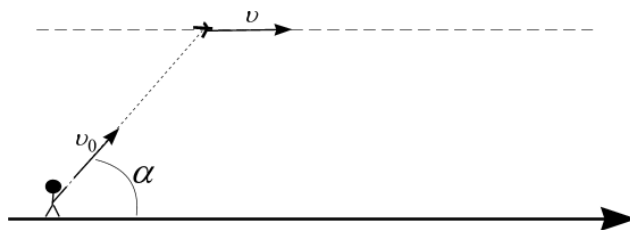
Ответ: $\Gamma = 5$

Критерии (5 баллов)

3. Объединены в систему выражения для увеличения и формула тонкой линзы. (3 балла).
4. Решена система уравнений и получен численный ответ. (2 балла).

6. Над охотником пролетела утка, в которую он выстрелил, целясь без упреждения. Птица двигалась равномерно прямолинейно со скоростью $v = 8$ м/с. Тем не менее, случилось попадание. Выстрел был произведен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, скорость пули $v_0 = 800$ м/с. На какой высоте H летела птица? (20 баллов)

Решение:



Условие на попадание следующее. Пуля и утка должны оказаться в одном месте в одно и то же время t . Следовательно, должно быть выполнено равенство:

$$v_0 \cos(\alpha)t = \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha)} + vt, \text{ отсюда:}$$

$$t = \frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (7)$$

Кроме того, пуля и утка в этот момент времени должны оказаться на высоте $H = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2}$. Подстановка сюда выражение (7):

$$H = \frac{Hv_0 \cos(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha) - v} - \frac{g}{2} \left(\frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)} \right)^2.$$

Отсюда для высоты полета получим: $H = \frac{2v}{g} \operatorname{tg}^2(\alpha)(v_0 \cos(\alpha) - v)$.

Ответ: $H (\text{м}) = 911$

Критерии (20 баллов)

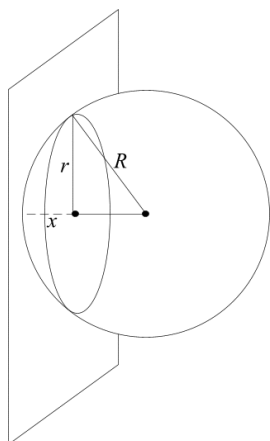
1. Построен поясняющий рисунок и получено выражение для времени полета пули. (10 баллов).
2. Записано выражение для высоты полета пули/утки. (5 баллов).
3. После объединения уравнений получено выражение для высоты попадания и получен численный ответ (5 баллов).

Физика. 11 класс. Вариант 4

Во всех задачах необходимо привести полное обоснованное решение.

1. Футбольный мячик с массой $m=0.4$ кг и радиусом $R=0.1$ м налетает на неподвижную стену со скоростью $v=12$ м/с и упруго отскакивает. Давление воздуха в мячике $P=2.5$ атм. и не меняется в процессе контакта со стеной. Каково время контакта мячика со стеной? Какова средняя сила давления мячика на стену? (25 баллов)

Решение:



Давление воздуха в мяче заметно превышает атмосферное, следовательно, разумно предположить, что величина “вдавливания” мяча в стену x много меньше его радиуса (см. рисунок). Составим уравнение движения после соприкосновения со стеной:

$$ma = -PS, \text{ здесь } S = \pi r^2 = \pi(R^2 - (R-x)^2) \approx 2\pi Rx, \quad a = -\frac{2\pi RP}{m}x = -\omega^2 x. \quad (1)$$

Очевидно, взаимодействие мяча со стеной описывается уравнением гармонических колебаний, и время контакта составляет половину периода, т.е. из уравнения (1) получим:

$$t = \frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega} = \sqrt{\frac{\pi m}{2RP}}. \quad (2)$$

Для средней силы взаимодействия получим:

$$F = \frac{\Delta p}{t} = \frac{2mv}{t} = 2v \sqrt{\frac{2RPm}{\pi}}. \quad (3)$$

Ответ: t (с) = 0,005, F (Н) = 1914

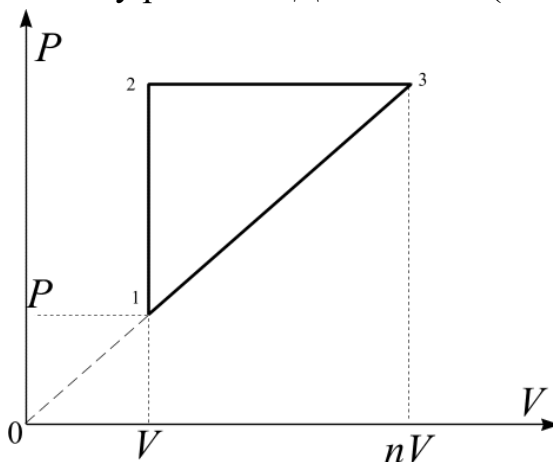
Критерии (25 баллов)

1. Построен поясняющий рисунок, составлено уравнение движения. Высказана догадка о подобии движения мяча и колебательного движения. (15 баллов)

2. Получено выражение для времени и численный ответ. (5 баллов).

3. Получено выражение для силы и численный ответ. (5 баллов).

2. Тепловая машина работает по циклу, изображенному на рисунке. В процессе работы объем рабочего тела (один моль двухатомного идеального газа) меняется в $n = 1.1$ раза. Чему равен КПД машины? (25 баллов)



Решение:

Согласно определению КПД: $\eta = \frac{A}{Q}$, $Q = Q_{12} + Q_{23}$ - количество теплоты, полученное рабочим телом за один цикл, A - работа газа за один цикл. Вычислим каждое слагаемое отдельно. Из рисунка следует, что если объем газа меняется в n раз, то во столько же раз меняется и давление, т.к. продолжение линейного участка 1-3 проходит через начало координат.

Работа газа равна площади цикла: $A = \frac{1}{2}(nV - V)(nP - P) = \frac{1}{2}(n^2 - 1)PV$. Количество теплоты (газ двухатомный):

$$Q = Q_{12} + Q_{23} = C_V \Delta T_{12} + C_P \Delta T_{23} = \frac{5}{2} R \Delta T_{12} + \frac{7}{2} R \Delta T_{23}. \quad (4)$$

С использованием уравнения состояния идеального газа можно записать: $PV = RT_1$, $nPV = RT_2$, $n^2 PV = RT_3$. С учетом этого для выражения (4) получим:

$$Q = \frac{5}{2}(n-1)PV + \frac{7}{2}(n^2 - n)PV = \frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5). \text{ В итоге для КПД будем иметь:}$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2}(n^2 - 1)PV}{\frac{1}{2}PV(n-1)(7n+5)} = \frac{n+1}{7n+5}.$$

Ответ: КПД (%) = 16

Критерии (25 баллов)

1. Записано выражение для работы цикла (8 баллов)
2. Записано выражение для полученного количества теплоты (10 баллов).
3. Получено выражение для КПД. (7 баллов).

3. В русской народной сказке “Лисичка-сестричка и Волк” описан эпизод обмана Лисой Мужика, который вез домой в санях богатый улов рыбы. Лиса, притворившись мертвой, была подобрана возницей. Через некоторое время, в процессе движения саней Лиса постепенно (рыбка за рыбкой) выбрасывала улов, потом вовсе убежала. В сказке утверждается, что ни Мужик, ни его лошадь не почувствовали, что для движения саней нужно прикладывать меньшие усилия. Рассмотрите идеальную ситуацию: в пренебрежении массой Лисы по сравнению со всей системой и неизменной силой трения саней о дорогу оцените, на сколько меньшую силу необходимо прикладывать лошади для движения саней с постоянной скоростью $v = 8$ м/с. За каждый малый промежуток времени $\Delta t = 0.2$ с Лиса выбрасывает массу $\Delta m = 1.2$ кг. (15 баллов)

Решение:

Запишем уравнение движения: $\mathbf{F} + \mathbf{F}_{тр} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$ ($\mathbf{F}$ - сила тяги, развиваемая лошадью, $\mathbf{F}_{тр} = const$ - сила трения). Следует учесть, что сани движутся равномерно, но масса убывает. Это обстоятельство должно быть учтено при расчете изменения импульса: $\Delta p = (m - \Delta m)v - mv = -\Delta m v$. Таким образом, до того, как Лиса приступила к воровству, сила тяги была равна силе трения (равномерное движение). После начала убыли массы сила тяги уменьшилась на величину:

$$\Delta F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = v \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Ответ: ΔF (Н) = 48

Критерии (15 баллов)

1. Записано уравнение движения саней через изменение импульса. (5 баллов).
2. Получено выражение для изменения импульса (5 балла).
3. Верно записано выражение для изменения силы и получен численный ответ. (5 балла).

4. В фантастической литературе часто упоминают фотонные реактивные двигатели космических кораблей. Из сопел ракеты вырывается свет (поток фотонов). Оцените, какой интенсивности свет должен быть обеспечен двигателем, чтобы корабль с массой $M = 140$ кг смог преодолеть земное притяжение? Площадь сечения сопел $S = 200 \text{ см}^2$. (10 баллов)

Решение:

Сила тяги двигателя должна по крайней мере компенсировать силу тяжести, действующую на корабль. Находясь на корпускулярных позициях, запишем выражение для силы тяги двигателя из второго закона Ньютона:

$$F = \frac{\Delta N p}{\Delta t} = Mg, \quad (5)$$

здесь p - импульс, уносимый одним фотоном, ΔN - число фотонов, вылетающих из сопел за время Δt .

С другой стороны можно связать интенсивность света I с импульсом фотона, с учетом того, что его энергия равна $E = pc$ (c - скорость света):

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pc \frac{\Delta N}{\Delta t}}{S}. \quad (6)$$

Объединяя (5) и (6) получим: $I = \frac{Mgc}{S}$.

Ответ: $I \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 2.1 \cdot 10^{14}$

Критерии (10 баллов)

1. Записано выражение для силы через количество фотонов и их импульс. (4 балла).
2. Записано выражение для интенсивности света через энергию фотона. (4 балла).
3. Получено выражение для силы тяги и численный ответ (2 балла)

5. Предмет расположен на расстоянии $5F$ от тонкой сферической собирающей линзы (F - фокусное расстояние). Каково увеличение полученного изображения? (5 баллов)

Решение:

Увеличение в тонкой линзе определяем из выражения: $\Gamma = \frac{b}{a}$, где a и b - расстояние от предмета до линзы и от изображения до линзы соответственно. Эти расстояния связаны формулой тонкой линзы: $\frac{1}{mF} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$, откуда получим: $b = \frac{mF}{m-1}$. Тогда для увеличения получим: $\Gamma = \frac{1}{m-1}$.

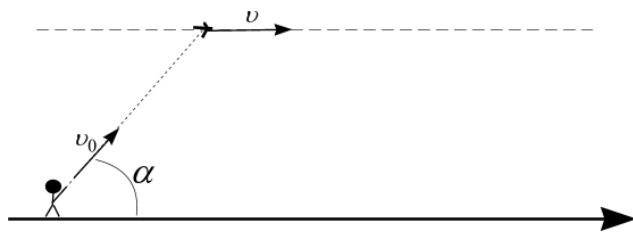
Ответ: $\Gamma = 0,25$

Критерии (5 баллов)

5. Объединены в систему выражения для увеличения и формула тонкой линзы. (3 балла).
6. Решена система уравнений и получен численный ответ. (2 балла).

6. Над охотником пролетела утка, в которую он выстрелил, целясь без упреждения. Птица двигалась равномерно прямолинейно со скоростью $v = 5$ м/с. Тем не менее, случилось попадание. Выстрел был произведен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, скорость пули $v_0 = 600$ м/с. На какой высоте H летела птица? (20 баллов)

Решение:



Условие на попадание следующее. Пуля и утка должны оказаться в одном месте в одно и то же время t . Следовательно, должно быть выполнено равенство:

$$v_0 \cos(\alpha)t = \frac{H}{\operatorname{tg}(\alpha)} + vt, \text{ отсюда:}$$

$$t = \frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)}. \quad (7)$$

Кроме того, пуля и утка в этот момент времени должны оказаться на высоте

$H = v_0 \sin(\alpha)t - \frac{gt^2}{2}$. Подстановка сюда выражение (7):

$$H = \frac{Hv_0 \cos(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha) - v} - \frac{g}{2} \left(\frac{H}{v_0 \sin(\alpha) - v \operatorname{tg}(\alpha)} \right)^2.$$

Отсюда для высоты полета получим: $H = \frac{2v}{g} \operatorname{tg}^2(\alpha)(v_0 \cos(\alpha) - v)$.

Ответ: $H \text{ (м)} = 428$

Критерии (20 баллов)

1. Построен поясняющий рисунок и получено выражение для времени полета пули. (10 баллов).
2. Записано выражение для высоты полета пули/утки. (5 баллов).
3. После объединения уравнений получено выражение для высоты попадания и получен численный ответ (5 баллов).