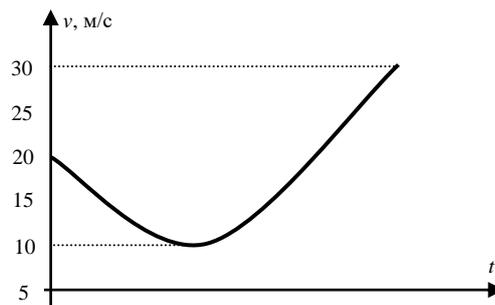


11 класс

11.1

На графике представлена зависимость модуля скорости шарика, брошенного под углом к горизонту с балкона, от момента броска до падения на землю. Определите, под каким углом был брошен шарик, и на какой высоте над землей находится балкон. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. $g = 10 \text{ м/с}^2$.



Возможное решение

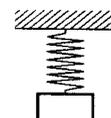
При полете тела, брошенного вверх под углом к горизонту, скорость достигает своего минимального значения $v_0 \cos \alpha$ в верхней точке траектории. Из графика находим, что начальная скорость $v_0 = 20 \text{ м/с}$ вдвое больше минимальной и, следовательно, $\alpha = 60^\circ$. Конечная скорость шарика $u = 30 \text{ м/с}$. Применяя закон сохранения энергии, связывающий моменты падения и броска: $\frac{mv_0^2}{2} + mgh = \frac{mu^2}{2}$, получаем $h = \frac{u^2 - v_0^2}{2g} = 25 \text{ м}$.

Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| • связь угла, начальной и минимальной скорости | 3 балла |
| • нахождение угла | 1 балл |
| • уравнение закона сохранения энергии | 3 балла |
| • выражение для высоты балкона | 2 балла |
| • численное значение высоты | 1 балл |

11.2

Груз, подвешенный на легкой пружине жесткостью $k = 200 \text{ Н/м}$, растягивает ее на $x = 2 \text{ см}$. Какую работу необходимо совершить вертикальной силой, приложенной к грузу, чтобы деформация пружины стала вдвое больше начальной?



Возможное решение

Так как изначально груз в равновесии, $mg = kx$. Внешняя сила может как сжимать пружину, так и растягивать. Рассмотрим оба варианта. Закон сохранения энергии при увеличении растяжения имеет вид: $\frac{kx^2}{2} + A_1 + mgx = \frac{k(2x)^2}{2}$, и $A_1 = \frac{1}{2}kx^2 = 0,04 \text{ Дж}$.

Если пружина сжимается от недеформированного состояния на $2x$, и груз поднимается на $3x$, то закон сохранения энергии имеет вид: $\frac{kx^2}{2} + A_2 = \frac{k(2x)^2}{2} + 3mgx$, и $A_2 = \frac{9}{2}kx^2 = 0,36 \text{ Дж}$. Во втором случае совершается большая работа. Так же большей работы потребуют варианты, в которых в конечном состоянии груз разгоняется. Следовательно, необходимой (минимальной) работой является $0,04 \text{ Дж}$.

То, что работа при сжатии больше чем при растяжении можно объяснить и без уравнений, тем, что в конечном состоянии потенциальная энергия пружины одинакова, но потенциальная энергия в поле гравитации при подъеме явно больше.

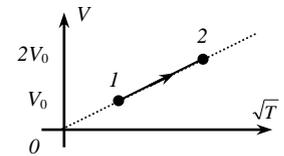
Критерии оценивания

- | | |
|--|---------|
| • условие равновесия груза | 1 балл |
| • явное обоснование необходимости покоя груза в конечном состоянии | 2 балла |
| • закон сохранения энергии при растяжении | 4 балла |

- работа при растяжении 1 балл
- закон сохранения энергии при сжатии 1 балл
- работа при сжатии 1 балл
- либо аргументированное обоснование увеличения работы при подъеме 2 балла

11.3

Один моль гелия нагревают в процессе, показанном на диаграмме (V – объём, T – абсолютная температура), увеличивая его объём в два раза. Найдите работу, совершённую газом, и подведённое к нему количество теплоты, если начальная температура гелия $T_0 = 300$ К.



Возможное решение

По уравнению состояния идеального газа $PV = \nu RT$. По условию $V = \alpha\sqrt{T}$. Исключая температуру, получим, что давление линейно зависит от объема $P = \frac{\nu R}{\alpha^2}V$. Работа,

совершенная газом, равна $A = V_0 \frac{P_0 + 2P_0}{2} = \frac{3}{2}P_0V_0 = \frac{3}{2}\nu RT_0 = 3,74$ кДж. Здесь учтено, что

$P_0V_0 = \nu RT_0$. Количество теплоты по первому закону термодинамики равно

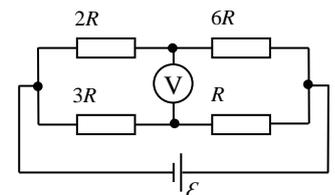
$$Q = A + \Delta U = A + \frac{3}{2}(2P_02V_0 - P_0V_0) = 6P_0V_0 = 6\nu RT_0 = 15 \text{ кДж.}$$

Критерии оценивания

- записано уравнение Менделеева-Клапейрона 1 балл
- получена зависимость давления от объема 2 балла
- выражение для работы газа 2 балла
- численный ответ для работы 1 балл
- первый закон термодинамики 3 балла
- численный ответ для количества теплоты 1 балл

11.4

Найдите показания идеального вольтметра в схеме на рисунке, если ЭДС идеального источника $\mathcal{E} = 70$ В. Какими станут показания вольтметра, если его поменять местами с источником?



Возможное решение

Ток, текущий через идеальный вольтметр, пренебрежимо мал, поэтому можно считать, что

ток I в верхней ветви в два раза меньше, чем в нижней, и равен $I = \frac{1}{8R}\mathcal{E}$. Разность

потенциалов между точками подсоединения вольтметра $4IR$, следовательно, показание вольтметра $U_{V1} = \mathcal{E}/2 = 35$ В.

Если поменять местами источник и вольтметр, то сопротивления параллельных ветвей будут относиться как 5 к 7, и если по правой ветви идет ток $5I$, то по левой пойдет $7I$, причем $\mathcal{E} = 35IR$, а разность потенциалов точек подсоединения вольтметра $16IR$, откуда

$$U_{V2} = \frac{16}{35}\mathcal{E} = 32 \text{ В.}$$

Критерии оценивания

- учет идеальности вольтметра 2 балла
- выражения для токов в ветвях в первом случае 2 балла

- выражение для разности потенциалов в первом случае 1 балл
- численное значение первого показания вольтметра 1 балл
- выражения для токов в ветвях во втором случае 2 балла
- выражение для разности потенциалов во втором случае 1 балл
- численное значение второго показания вольтметра 1 балл