

Решения и система оценивания

Задача 1

Частица движется вдоль оси Ox . На рис 1 приведён график зависимости $v_x(t)$ – проекции скорости частицы на ось Ox от времени. Найдите модуль перемещения частицы от начала движения ($t = 0$ с) до момента времени $t = 4$ с.

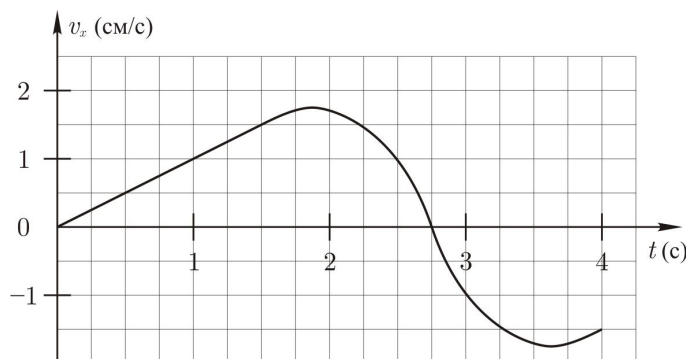


Рис. 1

Решение

Участки BC и CD графика симметричны (рис. 1а), поэтому модуль перемещения частицы на участке BD равен нулю. Остаётся только участок AB графика, модуль перемещения на котором легко найти, поскольку этот участок линейен.

Искомый модуль перемещения: $s = \frac{1}{2} \cdot 1,5 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot 1,5 \text{с} = 1,125 \text{см}.$

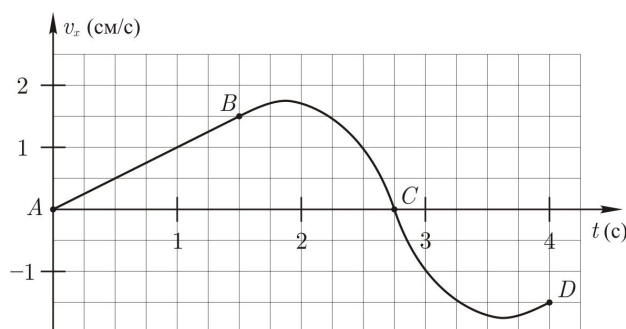


Рис. 1а

Критерии оценивания

- Высказана идея о нахождении перемещения геометрическим способом.... **1 балл**
- Отмечена симметрия участков BC и CD **1 балл**
- Указано, что модуль перемещения на участке BD равен нулю **3 балла**
- Получен ответ..... **5 баллов**

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

*При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – **10 баллов**.*

Задача 2

Шарик массой m подвешен на лёгкой нерастяжимой нити. Шарик отклоняют так, что нить составляет угол 45° с вертикалью, и отпускают. Найдите максимальный модуль силы натяжения нити в процессе движения шарика. Трением можно пренебречь.

Решение

Рассмотрим момент, когда нить составляет с вертикалью угол α . Пусть v – модуль скорости шарика в этот момент. Его можно найти из закона сохранения механической энергии:

$$mgl(1 - \cos 45^\circ) = \frac{mv^2}{2} + mgl(1 - \cos \alpha) \Rightarrow v = \sqrt{2gl(\cos \alpha - \cos 45^\circ)},$$

где l — длина нити.

Поскольку нить нерастяжима, шарик движется по дуге окружности радиусом l , значит, величина его центростремительного ускорения равна $a_n = \frac{v^2}{l}$.

На шар действуют сила тяжести и сила натяжения нити. Запишем второй закон Ньютона для шара в проекции на ось, направленную вдоль нити от шара к точке крепления нити:

$$T - mg \cos \alpha = ma_n = m \frac{v^2}{l} \Rightarrow T = mg(\cos \alpha + 2(\cos \alpha - \cos 45^\circ)) = mg(3 \cos \alpha - 2 \cos 45^\circ).$$

Из полученного выражения видно, что модуль силы натяжения тем больше, чем больше $\cos \alpha$. Значит, модуль силы натяжения максимален при $\alpha = 0$ и равен

$$T_{\max} = mg \left(3 - 2 \frac{\sqrt{2}}{2} \right) = mg(3 - \sqrt{2}) \approx 1,6mg.$$

Критерии оценивания

Найден модуль скорости шара	3 балла
Записано выражение для центростремительного ускорения.....	1 балл
Записан второй закон Ньютона для шара	1 балл
Получено общее выражение для модуля силы натяжения нити	2 балла
Указано, когда модуль силы натяжения нити максимален	1 балл
Получен ответ.....	2 балла

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – **10 баллов**.

Задача 3

Горизонтальный цилиндрический сосуд разделён на две части поршнем, способным свободно перемещаться вдоль сосуда без трения. В начальный момент поршень делит сосуд на две равные части, в каждой из которых находится идеальный газ при температуре T_0 и давлении P_0 . До какой температуры T нужно нагреть газ в правой части сосуда, чтобы занимаемый им объём стал в 3 раза больше, чем объём, занимаемый газом слева от поршня? Температура газа слева от поршня поддерживается постоянной.

Решение

Пусть конечный объём слева от поршня V_1 , а справа V_2 . Поскольку $V_2 = 3V_1$ и $V_1 + V_2 = V$, то

$$V_1 = \frac{V}{4}, \quad V_2 = \frac{3V}{4}.$$

Температура газа слева от поршня не менялась. Согласно уравнению состояния, его конечное давление:

$$P_1 = \frac{P_0 \frac{V}{2}}{V_1} = 2P_0.$$

Поскольку поршень свободен и движется без трения, конечное давление газа справа от поршня также равно $2P_0$. Согласно уравнению состояния,

$$\frac{T}{T_0} = \frac{2P_0 V_2}{P_0 \frac{V}{2}} = 3, \quad T = 3T_0.$$

Критерии оценивания

Найдены объёмы V_1 и V_2	2 балла
Найдено конечное давление слева от поршня.....	3 балла
Указано, что давление слева и справа от поршня одинаковое	1 балл
Получен ответ.....	4 балла

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – 10 баллов.

Задача 4

В цепи, схема которой показана на рис. 2, в начальный момент времени конденсаторы не заряжены, а ключи разомкнуты. Сначала замыкают ключ K_1 , а затем, спустя некоторое время, замыкают ключ K_2 , после чего ждут достаточно долго. Определите, какой заряд в результате протёк через ключ K_2 . Все параметры, указанные на схеме, известны. Источник напряжения идеальный.

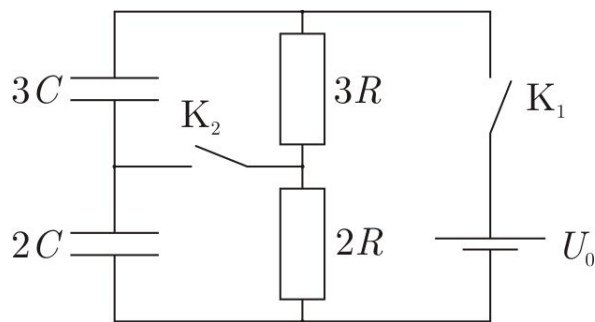


Рис. 2

Решение

После замыкания ключа K_1 суммарный заряд нижней пластины конденсатора $3C$ и верхней пластины конденсатора $2C$ равен $q_0 = 0$, так как это изолированный и никуда не подключённый участок цепи.

После того как замкнули ключ K_2 и прошло достаточно большое время, ток через ключ K_2 течь перестал. Сила тока, текущего через резистор $3R$, равна силе тока, текущего через резистор $2R$: $I = \frac{U_0}{5R}$.

Значит, напряжение на резисторе $3R$ равно $U_1 = \frac{3}{5}U_0$, а напряжение на резисторе

$2R$ равно $U_2 = \frac{2}{5}U_0$. Суммарный заряд нижней пластины конденсатора $3C$ и

верхней пластины конденсатора $2C$ стал равен $q_1 = -3C \cdot U_1 + 2C \cdot U_2 = -CU_0$.

Значит, через ключ слева направо протёк заряд $q_0 - q_1 = CU_0$.

Критерии оценивания

Указано и обосновано, что $q_0 = 0$	3 балла
Найдено напряжение на резисторе $2R$	1 балл
Найдено напряжение на резисторе $3R$	1 балл
Используется факт, что напряжение на конденсаторах после замыкания ключа K_2 такое же, как на соответствующих резисторах	2 балла
Найден заряд q_1	2 балла
Получен ответ.....	1 балл

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл.

Максимум за задание – 10 баллов.

Задача 5

Ламповый диод представляет собой откачанный до высокого вакуума цилиндр, с одной стороны которого находится катод, а с другой, на расстоянии $l = 10$ см от катода, находится анод. Между анодом и катодом поддерживается разность потенциалов $U = 200$ В, а форма электродов такова, что электрическое поле между ними можно считать однородным. Катод излучает электроны, которые затем ускоряются полем и попадают на анод. Найдите время τ пролёта диода электроном, если начальной скоростью электрона можно пренебречь.

Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Решение

Зная разность потенциалов и расстояние между электродами, найдём модуль напряжённости электрического поля:

$$E = \frac{U}{l} = 2,00 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}}.$$

Поскольку поле в диоде однородно, то электрон в нём будет двигаться с постоянным ускорением

$$a = \frac{eE}{m_e} = 3,52 \cdot 10^{14} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

За искомое время τ электрон пройдёт путь l :

$$l = \frac{a\tau^2}{2},$$

откуда $\tau = \sqrt{\frac{2l}{a}} = 2,4 \cdot 10^{-8}$ с.

Критерии оценивания

Найден модуль напряжённости поля	2 балла
Найден модуль ускорения электрона.....	2 балла
Записано выражение для перемещения при равноускоренном движении.....	2 балла
Получен ответ.....	4 балла

За каждое верно выполненное действие баллы складываются.

При арифметической ошибке (в том числе ошибке при переводе единиц измерения) оценка снижается на 1 балл. Максимум за задание – 10 баллов.

Всего за работу – 50 баллов.
