

Физика. Школьный этап 2020.

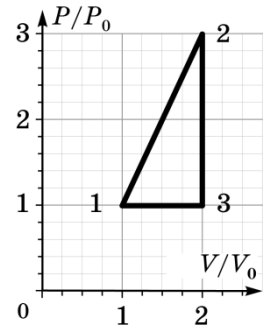
11 класс

Автор комплекта: Кутелев К.А.

Тёплый треугольник

Вариант 1

На графике показан цикл, происходящий с идеальным одноатомным газом. Известно, что минимальная температура в этом цикле $T_0 = -23^\circ\text{C}$. Количество вещества $\nu = 0,12$ моль. Газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль К) (Считайте, что $\nu R = 1$ Дж/К).



Определите:

- 1) Работу в процессе 2-3 A_{2-3} (в Дж, округлите до целого)(1 балла);
- 2) максимальную температуру в цикле T_{\max} . (в К, округлите до целого)(2 балла);
- 3) изменение внутренней энергии газа в процессе 2-3 ΔU_{2-3} (в Дж, округлите до целого)(2 балла);
- 4) работу, совершаемую газом за цикл A_0 (в Дж, округлите до целого)(2 балла).
- 5) КПД цикла η (в %, округлите до десятых) (3 балла)

Ответы:

- 1) 0
- 2) 1500
- 3) -1500
- 4) 250
- 5) 10,5

Решение:

- 1) Работа в изохорном процессе $A_{2-3} = 0$.
- 2) Температура пропорциональна произведению PV . Значит, минимальная

температура в цикле $\frac{P_0 V_0}{\nu R} = T_0 = -23^\circ\text{C} = 250$ К. Максимальная температура $T_{\max} = T_2 = \frac{6P_0 V_0}{\nu R} = 6T_0 = 1500$ К.

- 3) Для одноатомного идеального газа

$$\Delta U_{2-3} = \frac{3}{2}(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}(2T_0 - 6T_0) = -1500 \text{ Дж.}$$

- 4) Работа A_0 пропорциональна площади внутри цикла на графике $P(V)$.

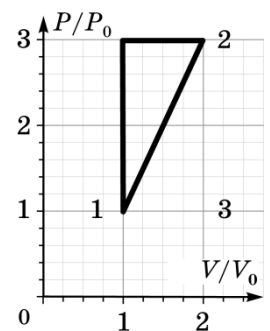
$$A_0 = P_0 V_0 = \nu R T_0 = 250 \text{ Дж.}$$

- 5) Теплота в цикле подводится только на участке 1-2. $Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2}$.

$$Q_{1-2} = \frac{3}{2}\nu R 5T_0 + 2\nu R T_0 = 2375 \text{ Дж. КПД } \eta = A_0/Q_{1-2} \approx 0,105 \approx 10,5\%$$

Вариант 2

На графике показан цикл, происходящий с идеальным одноатомным газом. Известно, что минимальная температура в этом цикле $T_0 = -33^\circ\text{C}$. Количество вещества $\nu = 0,12$ моль. Газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль К) (Считайте, что $\nu R = 1$ Дж/К).



Определите:

- 1) Работу в процессе 1-2 A_{1-2} (в Дж, округлите до целого)(1 балла);
- 2) максимальную температуру в цикле T_{\max} . (в К, округлите до целого)(2 балла);
- 3) изменение внутренней энергии газа в процессе 3-1 ΔU_{3-1} (в Дж, округлите до целого)(2 балла);
- 4) работу, совершаемую газом за цикл A_0 (в Дж, округлите до целого)(2 балла).
- 5) КПД цикла η (в %, округлите до десятых) (3 балла)

а. Ответы:

- 1) 0
- 2) 1440
- 3) -1800
- 4) 240
- 5) 7,4

б. Решение:

1) Работа в изохорном процессе $A_{1-2} = 0$.

2) Температура пропорциональна произведению PV . Значит, минимальная температура в цикле $\frac{P_0 V_0}{\nu R} = T_0 = -33^\circ\text{C} = 240 \text{ К}$. Максимальная температура $T_{\text{max}} = T_3 = \frac{6P_0 V_0}{\nu R} = 6T_0 = 1440 \text{ К}$.

3) Для одноатомного идеального газа $\Delta U_{3-1} = \frac{3}{2}(T_3 - T_2) = \frac{3}{2}(T_0 - 6T_0) = -1800 \text{ Дж}$.

4) Работа A_0 пропорциональна площади внутри цикла на графике $P(V)$. $A_0 = P_0 V_0 = \nu R T_0 = 240 \text{ Дж}$.

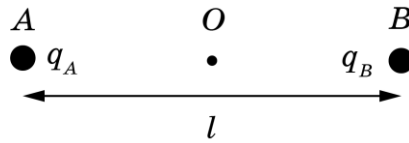
5) Теплота в цикле подводится на участках 1-2 и 2-3. $Q_{\text{нагр}} = \Delta U_{1-3} + A_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R 5T_0 + 3\nu R T_0 = 2520$

Дж. КПД $\eta = A_0 / Q_{\text{нагр}} \approx 0,095 \approx 9,5\%$

Раз пылинка, два пылинка...

Вариант 1

Две заряженные пылинки с одинаковыми массами $m = 0,05$ мкг удерживаются в точках A и B на расстоянии $l = 30$ см (см. рис). Заряды частиц: $q_A = 2$ нКл, $q_B = 3$ нКл. Константа в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/(Кл²).



Определите:

- 1) Силу взаимодействия пылинок F (в мкН, округлите до десятых)(1 балл);
- 2) модуль напряжённости электрического поля E_0 в середине отрезка AB . (в В/м, округлите до целых)(2 балла);
- 3) скорость v , которую приобретут пылинки на большом удалении друг от друга, если их одновременно отпустить. (в м/с, округлите до целого)(3 балла);
- 4) величину заряда Q , который необходимо закрепить на отрезке AB , чтобы система зарядов находилась в равновесии (неустойчивом) без внешних сил(в нКл, округлите до десятых)(4 балла).

а. Ответы:

- 1) 0,6
- 2) 400
- 3) 60
- 4) -0,6

б. Решение:

1) Сила Кулона $F = k \frac{|q_A||q_B|}{l^2} = 6 \cdot 10^{-7}$ Н = 0,6 мкН.

2) Напряжённость в середине отрезка $E_0 = 4k \frac{|q_B|}{l^2} - 4k \frac{|q_A|}{l^2} = 400$ В/м.

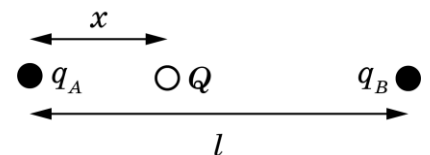
3) Центр масс системы должен покоиться, значит скорости пылинок в любой момент времени равны по модулю и противоположны по направлению. Запишем закон сохранения энергии для начального положения и для разлёта пылинок на большое расстояние:

$$k \frac{q_A q_B}{l} = 2 \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{k \frac{q_A q_B}{ml}} = 60 \text{ м/с.}$$

4) Для создания равновесия необходимо поместить $Q < 0$.

Обозначим расстояние от q_A до Q как x (см рис.). Необходимое для равновесия равенство сил описывается системой уравнений:

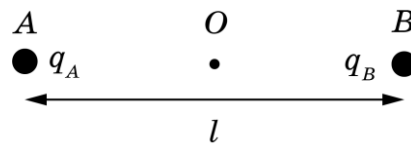
$$\begin{cases} \frac{|q_A||Q|}{x^2} = \frac{|q_A||q_B|}{l^2} \\ \frac{|q_B||Q|}{(l-x)^2} = \frac{|q_A||q_B|}{l^2} \end{cases}$$



Исключая x находим $|Q| = q_B (\sqrt{6} - 2)^2 = 0,6$ нКл. С учётом знака $Q = -0,6$ нКл.

Вариант 2

Две заряженные пылинки с одинаковыми массами $m = 0,4$ мкг удерживаются в точках A и B на расстоянии $l = 90$ см (см. рис.). Заряды частиц: $q_A = 1$ нКл, $q_B = 4$ нКл. Константа в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/(Кл²).



Определите:

- 1) Энергию взаимодействия пылинок W (в нДж, округлите до целых)(1 балл);
- 2) модуль потенциала электрического поля φ_0 в середине отрезка AB . (в В, округлите до целых)(2 балла);
- 3) скорость v , которую приобретут пылинки на большом удалении друг от друга, если их одновременно отпустить. (в м/с, округлите до целого)(3 балла);
- 4) величину заряда Q , который необходимо закрепить на отрезке AB , чтобы система зарядов находилась в равновесии (неустойчивом) без внешних сил(в нКл, округлите до сотых)(4 балла).

Ответы:

- 1) 40
- 2) 100
- 3) 10
- 4) -0,44

Решение:

1) Энергия взаимодействия $W = k \frac{q_A q_B}{l} = 40$ нДж.

2) Потенциал в середине отрезка $\varphi_0 = k \frac{q_A}{l/2} + k \frac{q_B}{l/2} = 100$ В.

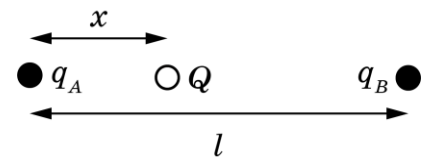
3) Центр масс системы должен покоиться, значит скорости пылинок в любой момент времени равны по модулю и противоположны по направлению. Запишем закон сохранения энергии для начального положения и для разлёта пылинок на большое расстояние:

$$k \frac{q_A q_B}{l} = 2 \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{k \frac{q_A q_B}{m l}} = 10 \text{ м/с.}$$

4) Для создания равновесия необходимо поместить $Q < 0$. Обозначим расстояние от q_A до Q как x (см рис.). Необходимое для равновесия

равенство сил описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{|q_A Q|}{x^2} = \frac{|q_A q_B|}{l^2} \\ \frac{|q_B Q|}{(l-x)^2} = \frac{|q_A q_B|}{l^2} \end{cases}$$



Исключая x находим $|Q| = q_B/9 = 0,44$ нКл. С учётом знака $Q = -0,44$ нКл.

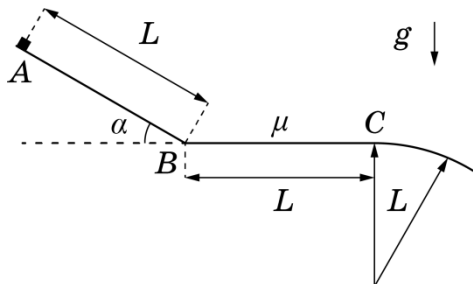
Полоса препятствий.

Вариант 1

Материальная точка съезжает с горки (см. рис). Первый участок AB - гладкая плоскость длиной $L = 10$ м, с углом наклона $\alpha = 30^\circ$, переход в точке B - плавный. Второй участок BC - горизонтальная плоскость длиной $L = 10$ м, с коэффициентом трения $\mu = 0,375$. Заключительная часть - гладкая горка с радиусом кривизны в точке C $R_C = 10$ м. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

Определите:

1) Модуль ускорения на участке AB a_{AB} (в м/с², округлите до целого)(2 балла);



2) время движения на участке AB t_{AB} (в с, округлите до целого)(2 балла);

3) скорость в точке B v_B (в м/с, округлите до целого)(2 балла);

4) скорость в точке C v_C (в м/с, округлите до целого)(2 балла);

5) модуль ускорения на гладкой горке в точке C a_C (в м/с², округлите до десятых)(2 балла).

а. Ответы:

- 1) 5
- 2) 2
- 3) 10
- 4) 5
- 5) 2,5

Решение:

1) ускорение на гладкой плоскости $a_{AB} = g \sin(\alpha) = 5$ м/с².

2) время равноускоренного движения $t_{AB} = \sqrt{\frac{2L}{a_{AB}}} = 2$ с.

3) скорость в точке B $v_B = \sqrt{2La_{AB}} = 10$ м/с.

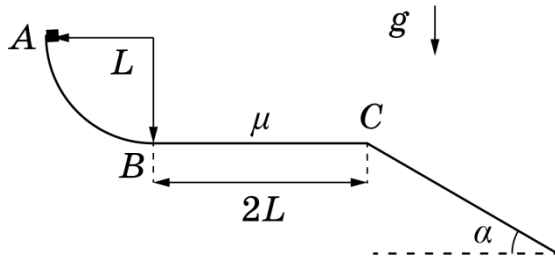
4) скорость в точке C v_C найдём через закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_B^2}{2} = \frac{mv_C^2}{2} + \mu mgL \Rightarrow v_C \sqrt{v_B^2 - 2\mu gL} = 5 \text{ м/с.}$$

5) ускорение на гладкой горке в точке C $a_C = \frac{v_C^2}{L} = 2g(\sin^2(\alpha) - \mu) = 2,5$ м/с².

Вариант 2

Материальная точка съезжает с горки (см. рис). Первый участок AB - гладкая горка с постоянным радиусом кривизны $L = 2,45$ м и такой же высотой. Второй участок BC - горизонтальная плоскость длиной $2L$, с коэффициентом трения $\mu = 0,375$. Заключительная часть - гладкая плоскость, с углом наклона α ($\cos(\alpha) = \frac{4}{5}$). Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².



Определите:

- 1) Модуль ускорения на участке после точки C a_C (в м/с², округлите до целого)(2 балла);
- 2) скорость в точке B v_B (в м/с, округлите до целого)(2 балла);
- 3) модуль ускорения на гладкой горке в точке B a_B (в м/с², округлите до десятых)(2 балла)
- 4) скорость в точке C v_C (в м/с, округлите до десятых)(2 балла);
- 5) время движения на участке BC t_{BC} (в с, округлите до десятых)(2 балла);

Ответы:

- 1) 6
- 2) 7
- 3) 20
- 4) 3,5
- 5) 0,9

Решение:

1) ускорение на гладкой плоскости $a_C = g \sin(\alpha) = 6$ м/с².

2) скорость в точке B $v_B = \sqrt{2Lg} = 7$ м/с.

3) ускорение на гладкой горке в точке B $a_B = \frac{v_B^2}{L} = 2g = 20$ м/с².

4) скорость в точке C v_C найдём через закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_B^2}{2} = \frac{mv_C^2}{2} + 2\mu mgL \Rightarrow v_C \sqrt{v_B^2 - 4\mu gL} = 3,5 \text{ м/с.}$$

5) время равноускоренного движения t_{BC} найдём из уравнения скорости: $v_C = v_B - a t_{BC}$. $t_{BC} = (v_B - v_C)/(\mu g) = 0,9$ с.