

Фізика 10

Урок 78 Робота в термодинаміці

Мета уроку:

Навчальна. Формувати знання учнів про роботу термодинамічного процесу, про теплоємність; формувати вміння учнів розв'язувати фізичні задачі на визначення роботи; формувати вміння встановлювати причинно-наслідкові зв'язки, обґрунтовувати твердження, моделювати ситуації.

Розвивальна. З метою розвитку мислення розвивати вміння: розкривати загальне і конкретне; встановлювати закономірності; встановлювати головне, суттєве у матеріалі, що вивчається; самостійно знаходити причинно-наслідкові зв'язки (робити висновки); узагальнювати; систематизувати, встановлювати зв'язки нового з раніше вивченим;

Виховна. Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

Тип уроку: комбінований.

Наочність і обладнання: навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

Хід уроку

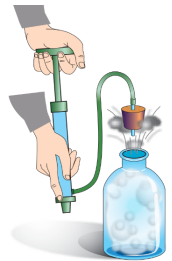
I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

У товстостінну посудину накачують повітря. Через деякий час корок вилітає з посудини. Спостерігається утворення туману.

Під дією яких сил корок вилетів із посудини? Про що свідчить утворення туману? Який висновок можна зробити щодо зміни внутрішньої енергії газу, який міститься в посудині?

Якщо роботу виконує саме тіло, то його внутрішня енергія зменшується. У момент вильоту корка в балоні утворився туман. Це свідчить про те, що температура повітря знизилась. Таким чином, внутрішня енергія повітря зменшилась у результаті того, що воно виконало роботу, виштовхнувши корок.



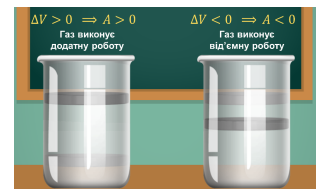
III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

1. Внутрішня енергія (зміна об'єму газу)

Внутрішня енергія газу може змінюватися, якщо зовнішні сили, що діють на нього, виконують роботу (додатну або від'ємну).

Якщо газ розширюється (тобто виконує додатну роботу), то швидкість руху молекул, температура і внутрішня енергія газу зменшуються.

Якщо газ стискають (газ виконує від'ємну роботу) і він при цьому не віддає енергію навколишньому середовищу, то швидкість руху молекул газу, а відповідно, і внутрішня енергія, і температура газу збільшуються.



2. Робота газу

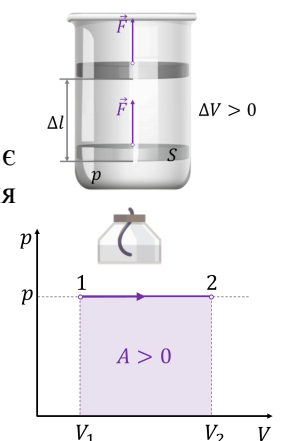
Газ розширюється ізобарно:

За означенням роботи: $A = F s \cos \alpha$

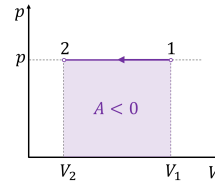
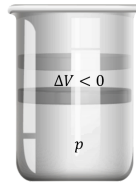
Якщо газ розширюється ізобарно, то сила, яка діє з боку газу на поршень, є незмінною: $F = pS$ (p – тиск газу; S – площа поршня); модуль переміщення поршня $s = \Delta l$; $\alpha = 0$.

$$A = F s \cos \alpha = p S \Delta l = p \Delta V$$

$$A = p \Delta V \quad \text{або} \quad A = p(V_2 - V_1)$$



Газ стискається ізобарно: $A = p \Delta V$

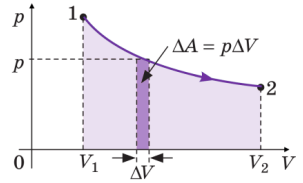
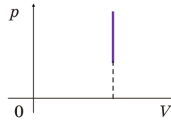


Робота газу в разі ізобарного розширення (або стиснення) чисельно дорівнює площі прямокутника під графіком залежності $p(V)$.

3. Геометричний зміст роботи

Робота газу при ізотермічному розширенні (стисненні) чисельно дорівнює площі криволінійної трапеції під графіком залежності $p(V)$.

При ізохорному процесі газ роботу не виконує.



Робота газу залежить від того, яким шляхом відбувався перехід газу з початкового стану в кінцевий.

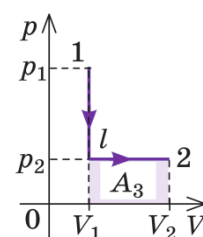
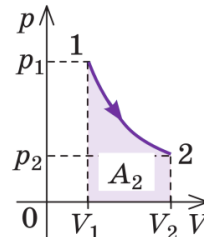
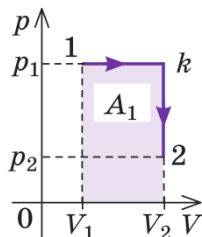
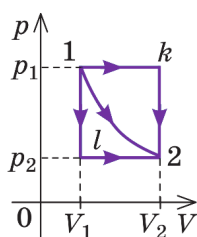
Три шляхи переходу газу зі стану 1 у стан 2:

а – газ ізобарно розширюється (ділянка 1к), потім ізохорно охолоджується (ділянка к2);

б – газ ізотермічно розширюється;

в – газ ізохорно охолоджується (ділянка 1l), потім ізобарно розширюється (ділянка l2).

Площі фігур під графіками показують: $A_1 > A_2 > A_3$



а

б

в

IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Газ, який займав об'єм $0,1 \text{ м}^3$ під тиском 200 кПа , нагріли ізобарно від 290 К до 355 К . Визначити роботу розширення газу.

Дано:

$$V_1 = 0,1 \text{ м}^3$$

$$p = 200 \text{ кПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T_1 = 290 \text{ К}$$

$$T_2 = 355 \text{ К}$$

$A = ?$

Розв'язання

$$\text{Робота газу: } A = p(V_2 - V_1)$$

Процес ізобарний ($p = \text{const}$), закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1}$$

$$A = p \left(V_1 \frac{T_2}{T_1} - V_1 \right) = p V_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

$$A = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot \left(\frac{355}{290} - 1 \right) \approx 4,5 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A \approx 4,5 \text{ кДж}$.

2. Молекулярний водень, маса якого $6,5 \text{ г}$ і температура 27°C , нагрівають за сталого тиску так, що його об'єм збільшився вдвічі. Знайдіть роботу, виконану газом під час розширення. Молярна маса водню $2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

Дано:

$$m = 6,5 \text{ г} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному розширенні:

$$A = pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M} RT_2 - \frac{m}{M} RT_1 = \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$$

Робота газу в ході процесу 2–3 чисельно дорівнює площі прямокутника зі сторонами p_2 і $(V_3 - V_2)$; об'єм газу збільшується, тому ця робота додатна:

$$A_{23} = p_2(V_3 - V_2)$$

$$A = p_2(V_3 - V_2)$$

$$[A] = \text{Па} \cdot (\text{м}^3 - \text{м}^3) = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = 1,1 \cdot 10^5 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 11 \cdot 10^{-3}) = 110 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A = 110 \text{ Дж}$.

V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

Бесіда за питаннями

1. Яким є геометричний зміст роботи?
2. Виведіть формулу для розрахунку роботи під час ізобарного процесу.
3. Чому дорівнює робота під час ізохорного процесу?
4. Чи залежить виконана робота від способу переведення тіла з одного стану в інший?

Обґрунтуйте свою відповідь.

VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 37, Вправа № 37 (2, 4)

Додаткові задачі

1. Яку роботу виконує газ, розширюючись ізобарно за тиску 200 кПа від 5,6 л до 7,5 л?

Дано:

$$p = 200 \text{ кПа} = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 5,6 \text{ л} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_2 = 7,5 \text{ л} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$A = ?$$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному розширенні:

$$A = p(V_2 - V_1)$$

$$[A] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = 2 \cdot 10^5 \cdot (7,5 \cdot 10^{-3} - 5,6 \cdot 10^{-3}) = 8,4 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A = 8,4 \text{ кДж}$.

2. Газ в ході ізобарного розширення від 3 м^3 до $3,25 \text{ м}^3$ виконав роботу 25 кДж. Знайдіть тиск цього газу.

Дано:

$$V_1 = 3 \text{ м}^3$$

$$V_2 = 3,25 \text{ м}^3$$

$$A = 25 \text{ кДж} = 25 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$p = ?$$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному розширенні:

$$A = p(V_2 - V_1) \quad \Rightarrow \quad p = \frac{A}{V_2 - V_1}$$

$$[p] = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 - \text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}$$

$$p = \frac{25 \cdot 10^3}{3,25 - 3} = 10^5 \text{ (Па)}$$

Відповідь: $p = 100 \text{ кПа}$.

3. Криптон масою 840 г ізобарно нагріли на 20 К. Знайдіть роботу, яку виконав криптон.

Дано:

$$m = 840 \text{ г} = 0,84 \text{ кг}$$

$$\Delta T = 20 \text{ К}$$

$$M = 84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$A = ?$$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному розширенні:

$$A = p(V_2 - V_1) = pV_2 - pV_1$$

$$pV_1 = \frac{m}{M}RT_1 \quad pV_2 = \frac{m}{M}RT_2$$

$$A = \frac{m}{M}RT_2 - \frac{m}{M}RT_1 = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1) = \frac{m}{M}R\Delta T$$

$$A = \frac{0,84}{84 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 20 = 1662 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A \approx 1,7 \text{ кДж}$.

4. В ході ізобарного зменшення в 3 рази об'єму, який займає кисень масою 20 г, зовнішня сила виконала роботу 1 кДж. Знайдіть початкову температуру кисню.

Дано:

$$m = 20 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

$$A' = 1 \text{ кДж} = 10^3 \text{ Дж}$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ К}$$

$$V_1 = 3V_2$$

Розв'язання

Робота газу при ізобарному стисненні:

$$A = pV_2 - pV_1 = \frac{m}{M}RT_2 - \frac{m}{M}RT_1 = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1)$$

Процес ізобарний ($p = \text{const}$), закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1} = T_1 \frac{V_2}{3V_2} = \frac{1}{3}T_1$$

$$M = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$T_1 = ?$$

$$A = \frac{m}{M} R \left(\frac{1}{3} T_1 - T_1 \right) = - \frac{2}{3} \frac{m}{M} R T_1$$

В умові йдеться про роботу зовнішніх сил, тому робота газу від'ємна $A = -A'$.

$$A' = \frac{2}{3} \frac{m}{M} R T_1 \Rightarrow T_1 = \frac{3}{2} \frac{MA'}{mR}$$

$$T_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{32 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 8,31} \approx 289 \text{ (К)}$$

Відповідь: $T_1 \approx 289 \text{ К}$.

5. На рисунку графічно зображено циклічний процес, здійснений ідеальним газом. Визначте роботу, яку виконав газ за цикл.

1 спосіб

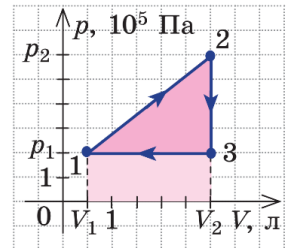
Повна робота за цикл дорівнює сумі робіт, виконаних у ході кожного процесу циклу.

Згідно з геометричним змістом роботи робота газу в ході процесу 1–2 чисельно дорівнює площі прямокутної трапеції, основи якої дорівнюють p_1 і p_2 , а висота – $(V_2 - V_1)$; об'єм газу збільшується, тому ця робота додатна.

Робота газу в ході процесу 2–3 дорівнює нулю, оскільки цей процес ізохорний.

Робота газу в ході процесу 3–1 чисельно дорівнює площі прямокутника зі сторонами p_1 і $(V_2 - V_1)$; об'єм газу зменшується, тому ця робота від'ємна.

Отже, для визначення роботи за весь цикл потрібно від площі трапеції відняти площу прямокутника. Тобто, як видно з рисунка, робота за цикл чисельно дорівнює площі прямокутного трикутника 1–2–3: $A = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{2}$



2 спосіб

$$\text{Робота газу: } A = A_{12} + A_{23} + A_{31}$$

Робота газу в ході процесу 1–2 чисельно дорівнює площі прямокутної трапеції:

$$A_{12} = \frac{(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)}{2}$$

Робота газу в ході процесу 2–3 чисельно дорівнює нулю, оскільки цей процес ізохорний:

$$A_{23} = 0$$

Робота газу в ході процесу 3–1 чисельно дорівнює площі прямокутника:

$$A_{31} = p_1(V_1 - V_2)$$

$$A = \frac{(p_1 + p_2)(V_2 - V_1)}{2} + p_1(V_1 - V_2) = \frac{(p_1 + p_2)(V_2 - V_1) - 2p_1(V_2 - V_1)}{2} = \frac{(p_1 + p_2 - 2p_1)(V_2 - V_1)}{2} = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{2}$$

Необхідні значення величин знайдемо з графіка:

$$p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}; p_2 = 6 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ л} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; V_2 = 3 \text{ л} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$[A] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = \frac{(6 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3})}{2} = 5 \cdot 10^2 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $A = 5$ кДж.