

10 въпрос. Изопроееси и работа при тях. Адиабатен процес.

Известно е, че ако една термодинамична (ТД) система се намира в равновесно състояние, то състоянието ѝ може да се характеризира еднозначно само с три термодинамични (ТД) параметъра: налягане p , обем V и температура T , които са свързани чрез уравнението на Клайперон-Менделеев

$$pV = \frac{m}{\mu}RT \quad (1)$$

Ако един или няколко от тези параметри се изменят с времето, то в ТД система се извършва **термодинамичен (ТД) процес** и тя преминава от едно състояние в друго.

От особен интерес са така наречените изопроееси. По определение **изопроеес** се нарича такъв процес, при който един от ТД параметри, характеризиращи състоянието на системата, остава постоянен при прехода.

Ще разгледаме определена маса m газ с моларна маса μ , които остават постоянни в хода на процеса.

Изотермен процес се нарича процес, при който температурата T на газа остава постоянна, т.е. $T = \text{const}$. Нека газът преминава от състояние, в което се характеризира с налягане p_1 , обем V_1 и температура T_1 в друго състояние, в което газът има налягане p_2 , обем V_2 и температура T_2 чрез изотермен процес, т.е. $T_1 = T_2 = T$. Тези ТД параметри са свързани с уравнението на Клайперон-Менделеев (1)

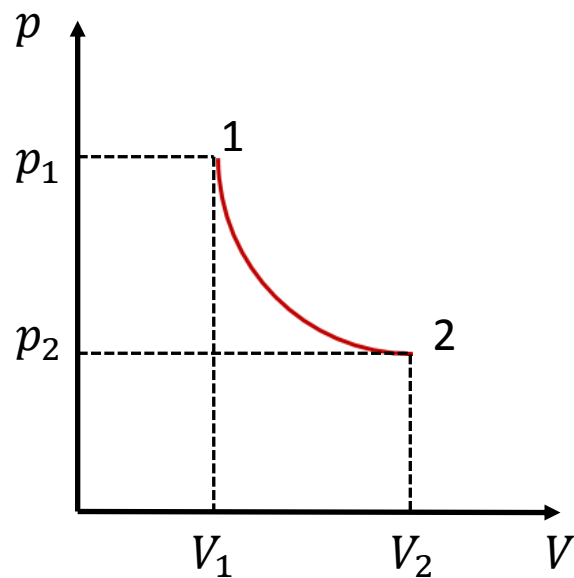
$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{и} \quad p_2 V_2 = \frac{m}{\mu} RT$$

Следователно

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{или} \quad pV = \text{const} \quad (2)$$

Това е законът на Бойл-Мариот, т.е. **произведението от налягането и обема на газа при изотермен процес остава постоянна величина.**

На pV -диаграмата изотермния процес се изобразява чрез хипербола.



Изохорен процес се нарича процес, при който обема V на газа остава постоянен, т.е. $V = \text{const}$. Нека газът преминава от състояние, в което се характеризира с налягане p_1 , обем V_1 и температура T_1 в друго състояние, в което газът има налягане p_2 , обем V_2 и температура T_2 чрез изохорен процес, т.е. $V_1 = V_2 = V$. Тези ТД параметри са свързани с уравнението на Клайперон-Менделеев (1)

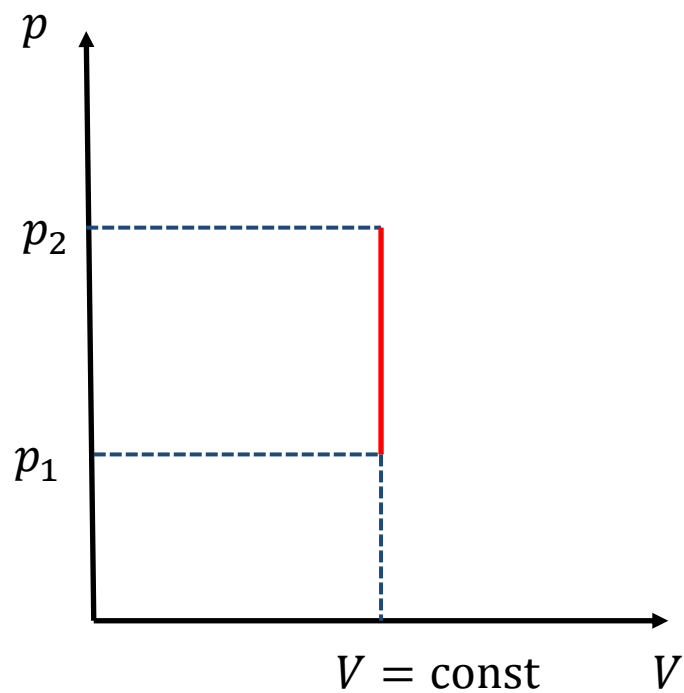
$$p_1 V = \frac{m}{\mu} R T_1 \quad \text{и} \quad p_2 V = \frac{m}{\mu} R T_2$$

Следователно

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{p}{T} = \text{const} \quad (3)$$

Това е законът на Шарл, т.е. **при изохорен процес налягането на газа е провопропор-ционално на неговата температура.**

Графично на pV -диаграмата изохорният процес се изобразява с права успоредна на ординатната ос p .



Изобарен процес се нарича процес, при който налягането p на газа остава постоянно, т.е. $p = \text{const}$. Нека газът преминава от състояние, в което се характеризира с налягане p_1 , обем V_1 и температура T_1 в друго състояние, в което газът има налягане p_2 , обем V_2 и температура T_2 чрез изобарен процес, т.е. $p_1 = p_2 = p$. Тези ТД параметри са свързани с уравнението на Клайперон-Менделеев (1)

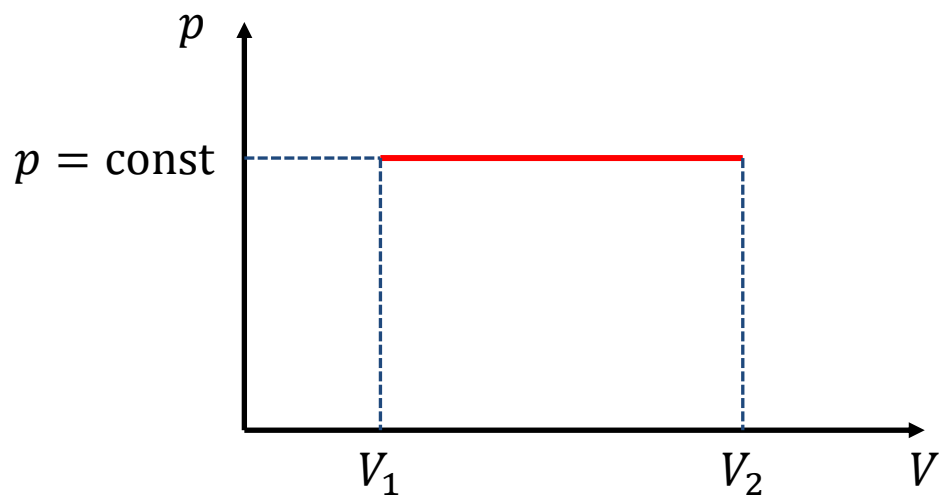
$$pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1 \quad \text{и} \quad pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2$$

Следователно

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{или} \quad \frac{V}{T} = \text{const} \quad (4)$$

Това е закона на Гей-Люсак, т.е. **при изобарен процес обема на газа е пропорционален на неговата температура.**

Графично на pV -диаграмата изобарният процес се изобразява с права успоредна на абцисната ос V .



В 9 въпрос формулирахме първият принцип (закон) на термодинамиката, съгласно който

$$dQ = dU + dA = dU + pdV \quad (5)$$

Като използваме този принцип ще определим работата, която извършва газ и стойностите на моларните топлинни капацитети (моларните топлемности) при различните изопроцеси.

1. Изохорен процес, $V = \text{const} \Rightarrow dV = 0$.

В този случай работата, извършвана от газа е $dA = pdV = 0$. Следователно от (5) получаваме $dQ = dU$, т.е. при изохорния процес газът НЕ извършва работа и получената топлина се изразходва за повишаване на вътрешната му енергия.

От определението за моларен топлинен капацитет за 1 mol едноатомен идеален (виж 9 въпрос) газ в случая за изохорен процес имаме

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU}{dT} \equiv C_V \Rightarrow C_V = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2}R \quad (6)$$

Тук сме използвали, че (виж израза (2) от 9 въпрос)

$$U = \frac{3}{2}RT \Rightarrow dU = \frac{3}{2}RdT \quad (7)$$

2. Изобарен процес, $p = \text{const.}$

Работата, която газът извършва при изобарен процес, при който газа се разширява от обем V_1 до обем V_2 е

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1)$$

т.е. съгласно първия принцип на термодинамиката (5) топлината, получена от идеалния газ се изразходва за изменение на вътрешната му енергия и за извършване на работа от газа против външните сили.

От определението за моларен топлинен капацитет за 1 mol едноатомен идеален газ в този случай имаме

$$C = \frac{dQ}{dT} = \frac{dU + pdV}{dT} = \frac{dU}{dT} + \frac{pdV}{dT} \equiv C_p \Rightarrow C_p = \frac{dU}{dT} + \frac{pdV}{dT} = C_V + R$$

Тук сме използвали, че

$$\frac{dU}{dT} = C_V \quad \text{и} \quad pV = RT \Rightarrow pdV = RdT \quad \text{или} \quad \frac{pdV}{dT} = R$$

Следователно за едноатомен идеален газ

$$C_p = C_V + R = \frac{3}{2}R + R = \left(\frac{3}{2} + 1\right)R$$

3. Изотермен процес, $T = \text{const} \Rightarrow dT = 0$.

В този случай изменението на вътрешната енергия на газа

$$dU = \frac{3}{2} R dT = 0$$

и от първия принцип на термодинамиката (5) можем да запишем

$$dQ = dA = p dV$$

Следователно при изотермния процес предадената на газа топлина се изразходва за извършване на работа против външните сили. Ако обема на газа се изменя от V_1 до V_2 , за работата получаваме

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V} dV = RT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

Този израз показва, че при изотермния процес при свиване на газа извършената от него работа е отрицателна, докато при разширение на газа – извършената работа е положителна.

Ще разгледаме и адиабатните процеси. *Адиабатен процес* се нарича процес, при който газът НЕ обменя топлина с околната среда, т.е. $dQ = 0$. Следователно от първия принцип на термодинамиката (5) получаваме

$$dU + dA = 0 \quad \Rightarrow \quad dA = -dU$$

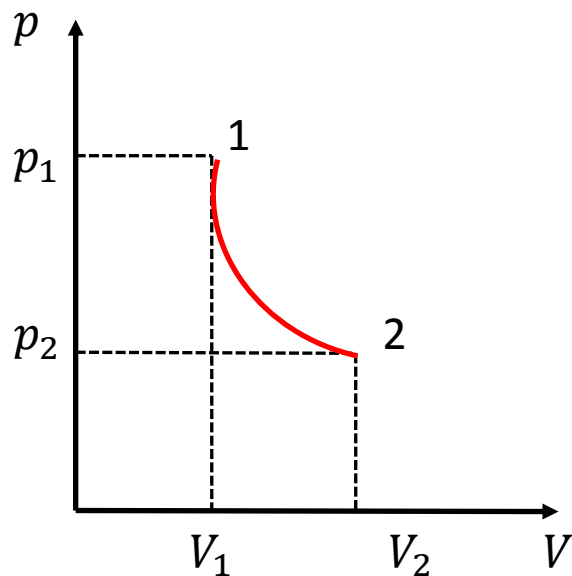
Следователно газът ще извършва работа против външните сили за сметка на своята вътрешна енергия (вътрешната енергия на газа намалява).

Уравнението на адиабатния процес е

$$pV^{\kappa} = \text{const} \quad \text{или} \quad p_1 V_1^{\kappa} = p_2 V_2^{\kappa}$$

където $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ (отношението на специфичната топлоемност при постоянно налягане към специфичната топлоемност при постоянен обем на газа).

На pV -диаграмата адиабатния процес се изобразява с крива, наречена адиабата, която е по-стръмна от изотермата, която е хипербола.



Работата за изменение на обема на газа от V_1 до V_2 се дава чрез

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{T_1}^{T_2} (-C_V dT) = -C_V(T_2 - T_1) = C_V(T_1 - T_2)$$

Тук използваме, че $dA = p dV = -dU$ и $dU = C_V dT$, $\left(C_V = \frac{dU}{dT}\right)$, където C_V е моларния топлинен капацитет при постоянен обем на газа.

Пример 1: Каква работа извършват 200 g въздух при изобарното му загряване с 25 K? Въздуха се приема за еднороден газ с моларна маса $29 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$.

Дадено: $m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$, $\Delta T = T_2 - T_1 = 25 \text{ K}$, $\mu = 29 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$

$$A_{12} = ?$$

Решение: Означаваме налягането, обема и температурата на въздуха в първото (началното) състояние с p_1 , V_1 и T_1 . Съответно във второто състояние трите величини означаваме с p_2 , V_2 и T_2 . Процесът е изобарен, следователно $p_1 = p_2 \equiv p$.

При изобарен процес извършената от газа работа е

$$A_{12} = p(V_2 - V_1)$$

Записваме уравненията на Клайперон-Менделеев за двете състояния

$$pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$pV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

Като извадим от второто уравнение първото получаваме

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

Следователно

$$A_{12} = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{0,2}{29 \times 10^{-3}} \times 8,31 \times 25 = 1,43 \times 10^3 \text{ J}$$

Пример 2: На идеален газ се предават 125 kJ топлина. Какво е изменението на вътрешната енергия на газа, ако той извършва работа 25 kJ ?

А) 25 kJ; Б) 50 kJ; В) 100 kJ; Г) 125 kJ.

Дадено: $\Delta Q = 125 \text{ kJ} = 125000 \text{ J}$, $\Delta A = 25 \text{ kJ} = 25000 \text{ J}$

$$\Delta U = ?$$

Решение: От първият принцип на термодинамиката при предаване на газа на безкрайно малко количество топлина dQ имаме

$$dQ = dU + dA$$

При предаване на газа на крайно малко количество топлина ΔQ , вътрешната енергия на газа и работата, която той извършва също ще имат крайно изменение, т.е.

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

Следователно

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta A = 125000 - 25000 = 100000 = 100 \text{ kJ}$$

Верният отговор е В).