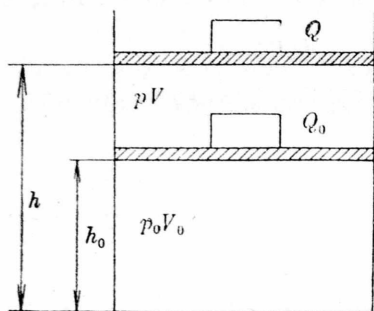


Elementárna práca plynu dA' pri malej zmene jeho objemu dV je $dA' = p dV$. Je teda správne znázornená úzkym, na obrázku vyšrafovaným pruhom nad úsečkou dV . Grafickým obrazom práce plynu pri zväžení jeho objemu V_1 na hodnotu V_2 je preto zrejme plocha MV_1V_2N .

12.10. Vratné a nevratné deje. V čl. 12.5 sme nazvali tepelným strojom zariadenie, ktoré umožňuje vykonávanie práce len tým, že sa v jeho okolí teplota aspoň niektorých telies znižuje. Pre úplné pochopenie jeho funkcie oboznámime sa v tomto článku s pojmom *vratného (reverzibilného) deja*. Objasníme si obsah tohto pojmu najprv príkladom.



Obr. 12.10

Predstavme si valec s pohyblivým piestom, ktorý pri začiatočnom objeme V_0 obsahuje plyn pod tlakom p_0 (obr. 12.10). Teplota plynu aj jeho okolia nech je T . Keď prierez piesta je q , plyn v objeme V_0 účinkuje na piest silou $P_0 = p_0 q$. Aby sa piest udržal vo svojej polohe, nech je zatažený rovnako ťažkým závažím $Q_0 = P_0 = p_0 q$ (pre jednoduchosť predpokladáme, že tiaž samotného piesta je zanedbateľne malá).

Začiatočný objem plynu V_0 , pri ktorom je piest vo výške h_0 nad dnom valca, môžeme zväčšiť na objem V dvojakým spôsobom:

1. Nahradíme závažie Q_0 ľahším závažím $Q = P = pq = q \frac{p_0 V_0}{V}$. V dôsledku zmenšenia vonkajšej sily plyn vydvihne piest, zatažený len závažím $Q < Q_0$, do výšky h a vykoná prácu $A'_1 = Q(h - h_0) = pq(h - h_0) = p(V - V_0) = \frac{p_0 V_0}{V} (V - V_0) = p_0 V_0 \left(1 - \frac{V_0}{V}\right)$.

2. Závažie Q_0 , použité v podobe veľmi tenkých lístkov, postupne znižujeme. V tomto prípade aj časť lístkov zodpovedajúcich rozdielu $Q_0 - Q$ sa dostane do polôh vyšších. Teda plynom vykonaná práca je teraz väčšia. V hraničnom prípade, keď váhu závažia znižujeme po nekonečne malých čiastkach a pri každom kroku počkáme, aby sa teplota plynu vyrovnala s konštantnou teplotou okolia, môžeme počítať prácu plynu ako prácu pri jeho intermickej expanzii, a táto práca podľa vzorca (12.9.2) je $A'_2 = p_0 V_0 \ln \frac{V}{V_0}$.

A'_2 je skutočne väčšie ako A'_1 , lebo pri malom zväžení objemu môžeme písať:

$$\frac{A_2'}{A_1'} = \frac{\ln \frac{V}{V_0}}{1 - \frac{V_0}{V}} = \frac{\ln \left(1 + \frac{V}{V_0} - 1 \right)}{\frac{(V - V_0)}{V}} = \frac{\frac{(V - V_0)}{V_0}}{\frac{(V - V_0)}{V}} = \frac{V}{V_0} > 1$$

Keďže v obidvoch prípadoch je plyn nakoniec v tom istom stave, je aj zmena jeho vnútornej energie v obidvoch prípadoch rovnaká. V druhom prípade teda väčšiu prácu mohol plyn vykonať len preto, že prijal viac tepla od svojho okolia.

Takým istým postupom, akým sme zväčšili objem plynu v druhom prípade, môžeme objem plynu — obrátením celého pochodu — aj zmenšiť na pôvodnú hodnotu V_0 . Ba obrátenie chodu deja na opačný môžeme docieľiť v každej jeho fáze ľubovoľnou malou zmenou vonkajšej sily, lebo tá sa stále rovná sile, ktorou účinkuje plyn na piest z jeho druhej strany. Na druhom mieste opísané zväčšenie objemu plynu nazývame preto *vratným*.

Všeobecne *vratným* (*reverzibilným*) nazývame každý dej v systéme látok, ktorý prebieha za ustavičnej rovnováhy vlastností systému a jeho okolia, lebo vtedy jeho priebeh ľubovoľne malou zmenou niektorej stavovej veličiny (tlaku, teploty, koncentrácie, elektrického napätia) môžeme kedykoľvek zmeniť na opačný.

Dej v sústave látok sme už v čl. 12.5 nazvali pozitívnym (pracovným), keď sa pri ňom produkuje energia vo forme mechanickej (alebo s ňou rovnocennej). Dejom negatívnym sme, naopak, nazvali dej, ktorý prebieha za spotreby takejto energie. Pozitívnym dejom je napríklad expanzia plynu, zatiaľ čo jeho kompresia je dej negatívny.

Keďže reverzibilný dej prebieha za ustavičnej rovnováhy síl systému a jeho okolia, je zrejmé, že pozitívny reverzibilný dej je spojený s uvoľnením najväčšieho množstva energie vo forme mechanickej alebo jej podobnej, a naopak negatívny reverzibilný dej na svoje uskutočnenie potrebuje najmenej energie tejto formy. Reverzibilné deje sa teda vyznačujú najväčšou pracovnou úsporou.

Pravda, dokonale reverzibilné deje sú len hraničné prípady konečnou rýchlosťou prebiehajúcich dejov *nereverzibilných*, a môžeme ich prakticky vykonávať len s väčším alebo menším priblížením. V skutočnosti všetky v prírode prebiehajúce deje sú viac alebo menej nereverzibilné (nevratné).

12.11. Carnotov kruhový dej. Keď stav látky alebo sústavy látok meníme tak, že stav konečný je totožný so stavom začiatočným, hovoríme, že sme vykonali s látkou kruhový dej. Môže prebiehať vratne aj nevratne. Význačný kruhový dej je *vratný kruhový dej* (cyklus) Carnotov, ktorý sa