

11. Tepelné děje v plynech

11.1 Teplotní roztažnost a rozpínavost plynů

Teplotní roztažnost – objem plynů závisí na teplotě při stálém tlaku. S rostoucí teplotou se roztažnost plynů při stálém tlaku zvětšuje.

Součinitel objemové roztažnosti označujeme γ a nezávisí na tlaku ani na teplotě a je pro

$$\text{všechny plyny stejný: } \gamma = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{1}{273,15} K^{-1}$$

Poměr objemu plynu při stálém tlaku

Pro objemovou roztažnost plynů při stálém tlaku platí Gay-Lussacův zákon $V_t = V_0(1 + \gamma t)$.

Musíme zde využít absolutní teplotní stupnici ozn. T. Přičemž označení $T_0 = 273,15$ K.

Při stálém tlaku je poměr objemu plynu dané hmotnosti a absolutní teploty stálý. Vztah bude

$$\text{mít tvar: } \frac{V_T}{T} = \frac{V_0}{T_0}$$

Rozpínavost plynů – tlak plynu se mění s teplotou při stálém objemu.

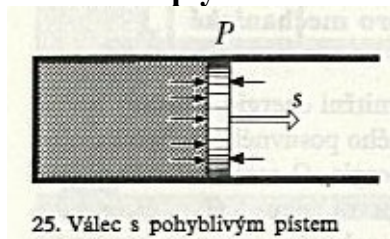
relativní změnu tlaku při zvýšení teploty o 1 °C vyjádříme součinitelem tlakové rozpínavosti:

$$\gamma = \frac{1}{p} \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{1}{273,15} K^{-1}$$

Děj popisuje Charlesův zákon: $p_t = p_0(1 + \gamma t)$. Či jeho následující tvar: $\frac{p_T}{T} = \frac{p_0}{T_0}$

Poměr tlaku plynu dané hmotnosti (při stálém objemu) a absolutní teploty je stálý. Plyn který by se přesně řídil Gay-Lussacovým a Charlesovým zákonem se nazývá dokonalý plyn.

11.2 Práce plynu



Plyn uzavřený ve válci s posuvným pístem P může při zvětšování objemu konat práci. Při zmenšování objemu se koná práce působením vnějších sil na píst. Je-li posunutí pístu Δs tak malé, že se tlak plynu p ztlačně nezmění, působí na píst tlaková síla $F = pS$ a vykoná se práce: $\Delta W = F \cdot \Delta s = p \cdot S \cdot \Delta s = p \cdot \Delta V$

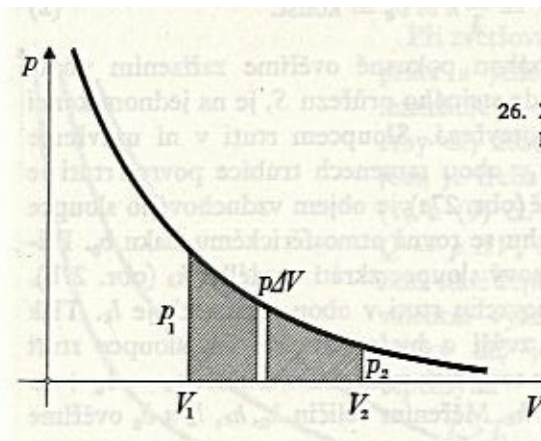
Vysvětlení: Působí-li na píst vnější síla F změní se posunutí pístu o Δs objem o ΔV a vykoná se práce.

Se změnou objemu se ve skutečnosti mění i tlak plynu. Práci plynu můžeme proto vypočítat jako malé objemové změny, při kterých tlak zůstává stálý: p_1, p_2, \dots

Celková práce bude: $W = p_1 \cdot \Delta V + p_2 \cdot \Delta V + p_3 \cdot \Delta V + \dots + p_n \cdot \Delta V$.

Závislost tlaku plynu na měnícím se objemu vyjádříme graficky.

Diagram práce plynu



Při objemové změně $V_2 - V_1$ je práce rovna vyšrafované ploše.

11.3 Děj izotermický (Boyl-Mariottův zákon)

Je o takový děj, při kterém zůstává teplota soustavy stálá.

Definice: Součin objemu a tlaku plynu určité hmotnosti je při stálé teplotě stejný.

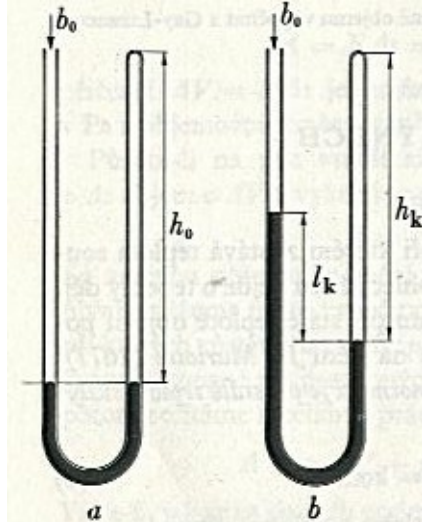
Matematické vyjádření: $p \cdot V = p_0 \cdot V_0 = konst$,

kde p_0, V_0 jsou počáteční hodnoty tlaku a objemu plynu.

podle kinetické teorie je tlak plynu: $p = \frac{1}{3} \frac{n}{V} m v_k^2$

Protože při stálé teplotě je střední rychlost v_k^2 stálá, získáme pro součin tlaku a objemu stálou hodnotu: $pV = \frac{1}{3} n m v_k^2 = konst$.

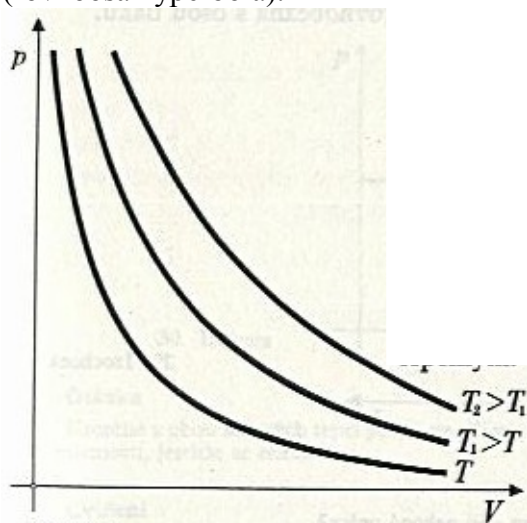
Ověříme tento zákon v U trubici.



U trubice má všude stejný průřez S a na jednom konci je uzavřená. Nalijeme do ní rtuť a tím v ní uzavřeme sloupec vzduchu. Objem vzduchového sloupce je $V_0 = S \cdot h_0$ a tlak vzduchu je b_0 . Přiléváním rtuti se vzduchový sloupec zkrátí na délku h_k . vzájemná vzdálenost povrchu rtuti v obou ramenech je l_k . Tlak vzduchu v trubici se zvýší o hydrostatický tlak sloupce rtuti o výšce l_k : $p = \rho g l_k$.

Tlak vzduchu v trubici je: $p_k = b_0 + p$. Jeho objem je: $V_k = S h_k$. Měřením ověříme platnost vztahu: $h_k (b_0 + \rho g l_k) = h_0 b_0 = konst$.

Grafické znázornění průběhu tlaku $p = \frac{p_0 \cdot V_0}{V}$. Graf této závislosti se jmenuje izoterma (rovnoosá hyperbola).



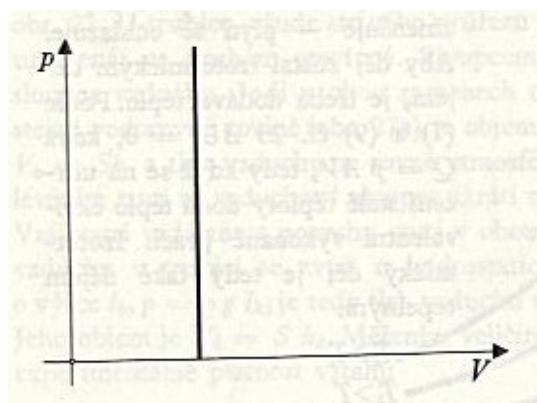
Při vyšší teplotě je součin $p_0 \cdot V_0$ větší než při nižší teplotě. Při velmi vysokých tlacích se na izotermách ukazují odchylky od ideálního tvaru. Příčinou těchto odchylek jsou molekulové síly, které se projevují při vyšších tlacích a vlastní objem molekul.

Při zvětšování objemu koná plyn práci a jeho vnitřní energie se zmenšuje a plyn se ochlazuje. Aby děj zůstal izotermickým musíme dodávat teplo. Izotermický děj je proto dějem tepelným.

11.4 Děj izochorický (Charlesův zákon)

Je to děj při stálém objemu. Určuje závislost tlaku na teplotě. Ukazuje se, že tlak p je přímo úměrný teplotě T a je to vyjádřeno tímto vztahem: $p = \frac{p_0}{T_0} T$.

Při izochorickém ději zůstává objem plynu stálý ($\Delta V = 0$), nekoná se práce. Přijatým teplem se zvětšuje vnitřní energie plynu. Soustava přijme teplo: $Q = \Delta U = c_v m \Delta T$, kde c_v je měrné teplo plynu při stálém objemu a je vyjádřeno: $c_v = \frac{1}{m} \frac{\Delta U}{\Delta T}$.



Grafický obraz funkce $p = \frac{p_0}{T_0} T$. v pV -

diagramu určuje izochoru, jež probíhá jako přímka, rovnoběžná s osou tlaků.

11.5 Děj izobarický (Gay-Lussacův zákon)

Je to děj při stálém tlaku. Určuje závislost objemu na teplotě. Objem plynu V je přímo úměrný teplotě T : $V = \frac{V_0}{T_0} T$.

Při izobarickém ději se mění objem plynu, a proto se koná práce. Vnitřní energie plynu se mění, protože plyn mění teplotu.

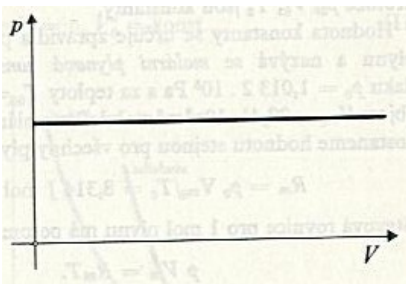
Měrné teplo plynu při stálém tlaku c_p se stanoví následující rovnicí: $c_p = c_v + p \left(\frac{\Delta V}{\Delta T} \right)_p$,

Poznámka:

index p při znaku objemové změny vyznačuje, že se změna uskuteční při stálém tlaku.

Závěr:

Měrné teplo plynu při stálém tlaku c_p je větší než měrné teplo při stálém objemu c_v o práci vykonanou plynem o jednotkové hmotnosti na zvětšení objemu.



Grafické znázornění izobarického děje. Grafem je izobara a je v pV - diagramu znázorněna přímkou, rovnoběžnou s osou objemů

11.6 Stavová rovnice

V zákonech pro plyny, které jsme dosud uvedli, se ze tří veličin V, p, T měnily vždy jen dvě. Ve skutečnosti se mění všechny tři veličiny.

V počátečním stavu má plyn tlak p_0 , objem V_0 a teplotu T_0 .

Izotermicky ho stlačíme tak, že se tlak změní na hodnotu p , přičemž nabude objemu V' .

Podle rovnice $pV' = p_0V_0$.

Potom plyn zahřejeme izobaricky tak, že jeho výsledná teplota bude T a objem se změní z hodnoty V' na V podle rovnice $V/T = V'/T_0$.

Z poslední rovnice dosadíme za $V' = T_0V/T$ do předcházející rovnice a **dostaneme stavovou**

rovnici: $\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0} = \text{konst.}$

Hodnota konstanty se určuje zpravidla pro molární objem V_m plynu a nazývá se **molární plynová konstanta**. Za normálního tlaku $p_0 = 1,0132 \cdot 10^5 Pa$ a za teploty $T_0 = 273,15K$ je molární objem $V_m = 22,41 \cdot 10^{-3} m^3 mol^{-1}$. Pro molární plynovou konstantu dostaneme

hodnotu stejnou pro všechny plyny: $R = \frac{p_0V_0}{T_0} = 8,314 J mol^{-1} K^{-1}$.

Stavová rovnice pro 1 mol plynu má potom tvar: $pV = RT$.

Pro libovolné látkové množství u plynu vyjádřené v jednotce mol o objemu V platí:

$pV = n \cdot R \cdot T$. Je-li N počet molekul pak $n = \frac{N}{N_A}$ a můžeme psát: $pV = \frac{N}{N_A} \cdot RT$.

Dále můžeme definovat $\frac{R}{N_A} = k$ a potom má stavová rovnice tento tvar: $pV = k \cdot N \cdot T$.

Stavová rovnice vyjadřující hmotnost:

Vyjdeme ze základního tvaru: $pV = n \cdot R \cdot T$, kde $n = \frac{m}{M_m}$. Výsledná rovnice je:

$$pV = \frac{m}{M_m} \cdot RT$$

Pomocí stavové rovnice můžeme vypočítat hustotu:

Vyjdeme z tvaru $pV = \frac{m}{M_m} \cdot RT$. Hustota je definována $\rho = \frac{m}{V}$. Výsledný vztah

pro hustotu: $\rho = \frac{M_m \cdot p}{R \cdot T}$

11.7 Děj adiabatický

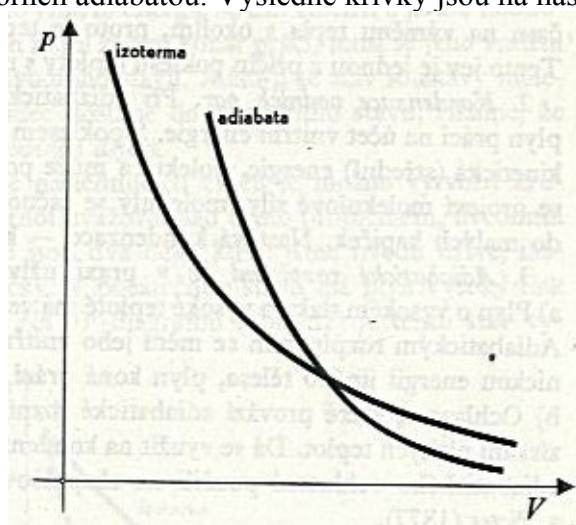
Je to děj, při něm je plyn tepelně izolován, a proto žádné teplo nepřijímá ani neodevzdává.

Platí $\Delta U = \Delta W$.

Vnitřní energie se mění pomocí práce. Při adiabatickém zmenšování objemu plynu se koná práce působením vnějších sil. Teplota plynu se zvětšuje, vnitřní energie plynu roste.

Při adiabatickém zvětšování objemu plynu plyn koná práci, jeho teplota klesá, jeho vnitřní energie se zmenšuje.

Při adiabatickém stlačování roste tlak plynu rychleji než při izotermickém stlačování. Adiabatický děj je znázorněn adiabatou. Výsledné křivky jsou na následujícím grafu.



Pro adiabatický děj platí Poissonův zákon: $p \cdot V^\chi = p_0 \cdot V_0^\chi = konst.$,

kde exponent je $\chi = \frac{c_p}{c_v}$. Jeho hodnota závisí na počtu atomů v molekule. Její hodnota je vždy větší než 1.

Příklad: jednoatomové molekuly $\chi = \frac{5}{3}$. Dvouatomové molekuly $\chi = \frac{7}{5}$.

11.8 Adiabatické děje v přírodě a v praxi

1) Adiabatické rozpínání – Hustota vodní páry je 0,6 krát menší než hustota suchého vzduchu za stejné teploty a tlaku. Proto vlhký vzduch v tíhovém poli stoupá a suchý klesá. S výškou tlak vzduchu klesá, a proto se vlhký vzduch při výstupu adiabaticky rozpíná a ochlazuje (pokles teploty s nadmořskou výškou).

2) Kondenzace vodních par – Při adiabatickém rozpínání koná plyn práci na účet vnitřní energie. S poklesem teploty zmenšuje se kinetická energie molekul a může poklesnout o tolik, že se projeví molekulové síly, molekuly se začnou vázat a shlukovat do malých kapiček. Dochází ke kondenzaci.

3) Adiabatické rozpínání – V praxi se užívá dvěma způsoby:

a) Plyn o vysokém tlaku a vysoké teplotě má velkou vnitřní energii. Adiabatickým rozpínáním se mění jeho vnitřní energie v mechanickou energii jiného tělesa, plyn koná práci.

b) Ochlazení, které provází adiabatické rozpínání, se využívá na získání nízkých teplot. Dá se využít na kondenzaci plynů. Principu adiabatického ochlazení použili na zkapaňování plynů.

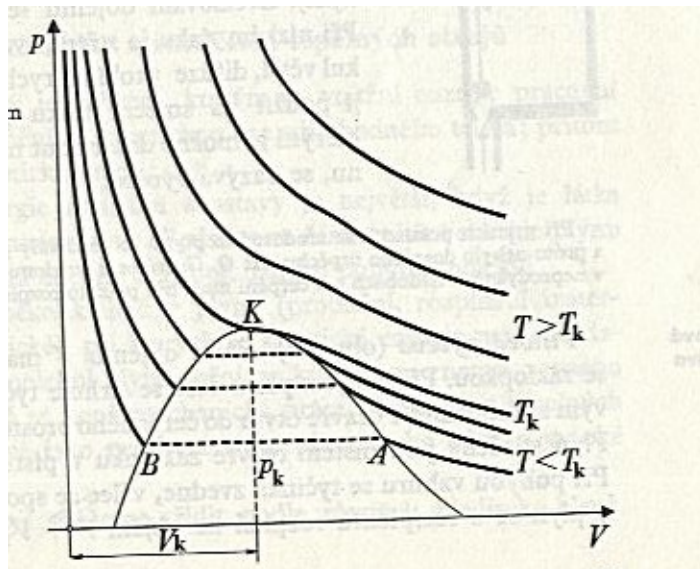
4) Adiabatické stlačení – Prudkým adiabatickým stlačením se plyn ohřeje a tohoto zvýšení teploty se používá na zapalování v adiabatických zapalovačích a ve vznětových motorech.

5) Tlakové změny, když se šíří zvuková vlna v plynech jsou adiabatické.

Tepelné děje v plynech jsou důležité nejenom při přeměně vnitřní energie plynu na energii mechanickou, ale i při změnách skupenství.

11.9 Plyny při vysokých a nízkých tlacích

11.9.1 Plyn při vysokém tlaku



Hustota plynu je přímo úměrná tlaku: $\rho = \frac{\rho_0}{p_0} p$. S rostoucím tlakem

se hustota plynu blíží hustotě kapaliny. Při vyšších teplotách mají molekuly dostatečně velkou střední kinetickou energii, a proto se při srážkách nespojují. Existuje teplota a jí odpovídající střední kinetická energie molekul, při které po stlačení (přiblížení molekul) začnou vznikat mezi molekulami vazby. Tuto teplotu označíme T_k . Při této teplotě má izoterma odchylku od ideální izotermy. Při dostatečně velkém stlačení plynu se začnou molekuly

plynu vázat – dojde ke kondenzaci plynu. Tuto teplotu nazýváme teplotou kritickou a tlak jí odpovídající kritickým tlakem. Při nižší teplotě, než je kritická, a při dostatečném stlačení plyn kondenzuje.

11.9.2 Plyn při nízkém tlaku

Ukazuje se, že reálný plyn se nechová podle stavové rovnice. Rovnice je poněkud komplikovanější. Stavovou rovnicí se řídí plyn, který má menší tlak. Čím menší tlak bude tím lépe bude odpovídat stavové rovnici. Pokles tlaku zajistíme rozpínáním plynu. Zvětšování objemu se provádí různě. Při nízkém tlaku je střední volná dráha molekul větší, difúze probíhá rychleji a je možno jí použít na snížení tlaku plynu. Zařízení na výrobu nízkého tlaku se nazývá vývěva.