

Izotermický děj



Když zmáčknu injekční stříkačku, vzduch se stlačí a jde to čím dál hůř. Proč?



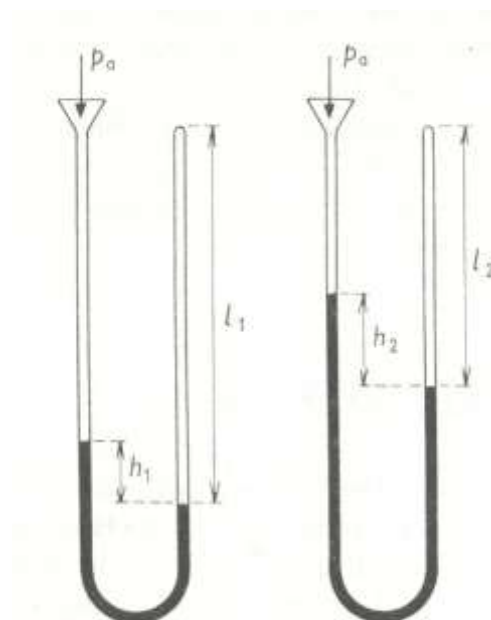
Jedná se o děj s ideálním plynem, při kterém je jeho teplota stálá, tzn. **$T = \text{konst.}$** Při zmenšování objemu roste tlak plynu – **objem a tlak plynu jsou nepřímo úměrné.** Zmenšíme-li objem dvakrát, tlak se naopak dvakrát zvětší.

Příklady z praxe:

- Injekční stříkačka – při zmenšování objemu roste tlak.
 - Trubice s kapalinou – přilítím kapaliny se vzduch stlačí, objem se zmenší.
- Oba případy by se měly dít pomalu, aby nedocházelo k zahřívání.



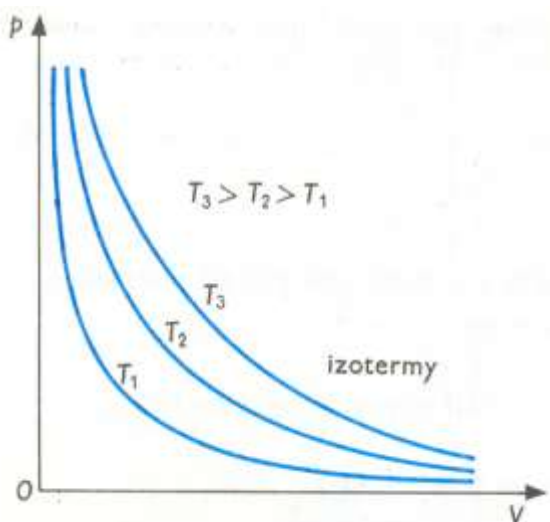
Vzduch v pravé uzavřené části trubice má určitý objem a tlak. Tento tlak je přesně roven hydrostatickému tlaku odpovídajícímu výšce sloupce kapaliny h_1 . Přilejeme-li opatrně kapalinu, vzduch se stlačí a jeho objem zmenší. Dalo by se změřit, jak se objem vzduchu zmenšil a jak narostl jeho tlak (podle zvýšení sloupce kapaliny h_2).



§ **Při konstantní teplotě je tlak ideálního plynu nepřímo úměrný jeho objemu.**



Graf závislosti tlaku plynu na objemu při stálé teplotě ukazuje obrázek. Jedná se o hyperbolu, protože hyperbola je grafem nepřímé úměrnosti.



Jak to vyplývá ze stavové rovnice ideálního plynu?

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{Je-li ale teplota konstantní, pak } T_1 = T_2 = T.$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T} \quad \text{Ve jmenovateli je stejná hodnota, rovnici jí můžeme vynásobit.}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Poznámka:

p_1, V_1, T_1 jsou hodnoty tlaku, objemu a termodynamické teploty plynu před začátkem děje, p_2, V_2, T_2 jsou hodnoty stejných veličin po skončení děje.

Příklad: Stačíme-li vzduch v injekční stříkačce na třetinový objem, zvětší se jeho tlak třikrát.

Co na to první termodynamický zákon?

Podle něho je změna vnitřní energie termodynamické soustavy rovna součtu vykonané/odevzdané práce a přijatého/odevzdaného tepla. Matematicky $\Delta U = W + Q$

Ale pokud se nemění teplota soustavy, nemění se ani její vnitřní energie, neboli její změna je nulová. $\Delta U = 0$

$$Q = -W$$

Teplu přijaté plynem při izotermickém ději je rovno plynem vykonané práci (popř. teplo odevzdané plynem při izotermickém ději je rovno práci vykonané na plynu).

Izochorický děj



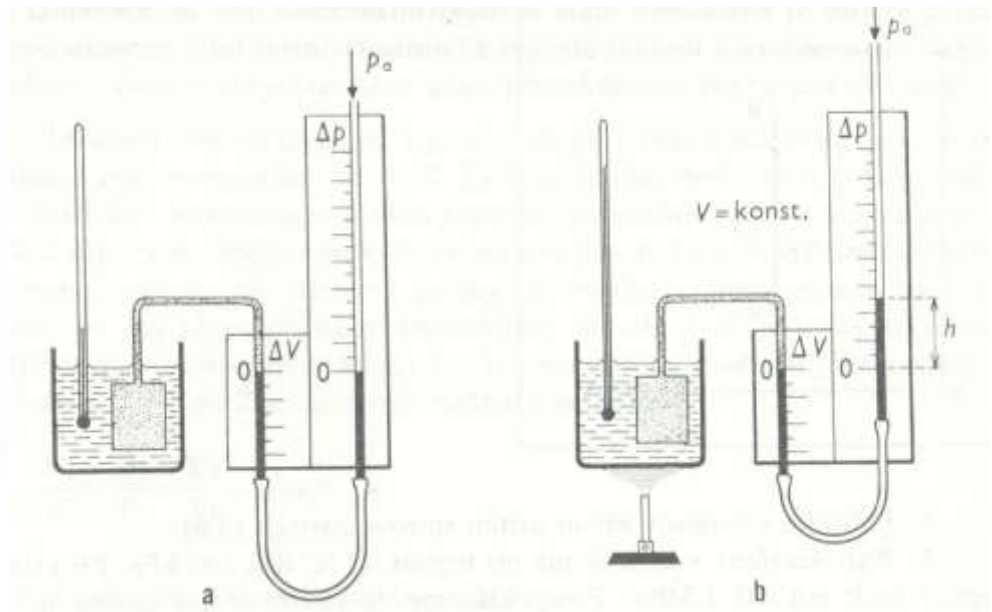
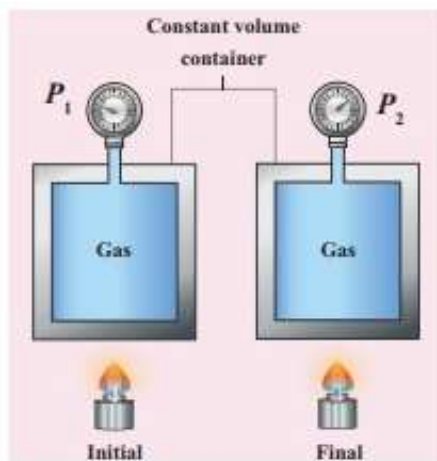
Ohřívám plechovku na ohni. Vypadá stejně, ale pak najednou bouchne! Jak to?



Jedná se o děj s ideálním plynem, při kterém zůstává jeho objem stálý, tzn. $V = \text{konst.}$ Tlak ideálního plynu je při stálém objemu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě.

Příklady z praxe:

- Zvětšení tlaku v uzavřené plechovce při zahřívání
- Změna výšky hladiny v rameni trubice

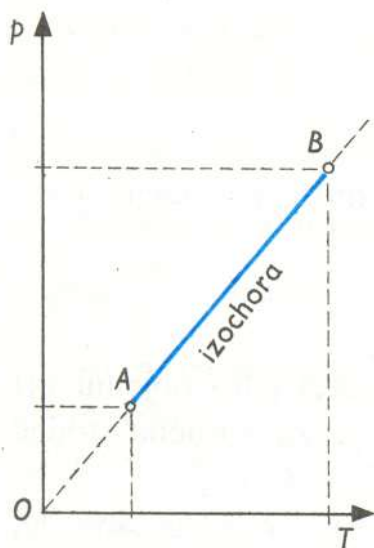


Nádoba s plynem je ponořena do lázně, která se postupně zahřívá. Chceme-li při tom zajistit stálý objem, musíme zvednout pravé rameno aparatury, aby hladina kapaliny v levé části zůstala ve stejné výšce – tím je zajištěn stálý objem plynu v nádobě. Současně je ale vidět, že kapalina v pravé části je výše. Odpovídající hydrostatický tlak (výška h) znamená nárůst tlaku plynu v nádobě.

§ **Při konstantním objemu je tlak plynu přímo úměrný termodynamické teplotě.**



Graf závislosti tlaku plynu na termodynamické teplotě při konstantním objemu ukazuje obrázek. Jedná se o část přímky, protože ta je grafem přímé úměry.



Jak to vyplývá ze stavové rovnice?

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{Je-li ale objem konstantní, pak } V_1 = V_2 = V.$$

$$\frac{p_1 \cdot V}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V}{T_2} \quad \text{V čitateli je stejná hodnota, rovnici jí můžeme vydělit.}$$

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Poznámka:

p_1, V_1, T_1 jsou hodnoty tlaku, objemu a termodynamické teploty plynu před začátkem děje, p_2, V_2, T_2 jsou hodnoty stejných veličin po skončení děje.

Příklad: Zvětší-li se o 10 % (na 1,1 násobek) termodynamická teplota plynu uzavřeného v nádobě se stálým objemem, zvětší se o 10 % i jeho tlak.

Co na to první termodynamický zákon?

Podle něho je změna vnitřní energie termodynamické soustavy rovna součtu vykonané/odevzdané práce a přijatého/odevzdaného tepla. Matematicky $\Delta U = W + Q$

Ale pokud se nemění objem plynné soustavy, nekoná se práce, protože práci plyn koná jen tak, že zvětší svůj objem a posune např. píst. $W = 0$.

$$\Delta U = Q$$

Změna vnitřní energie plynu při izochorickém ději odpovídá přijatému nebo odevzdanému teplu.

Izobarický děj



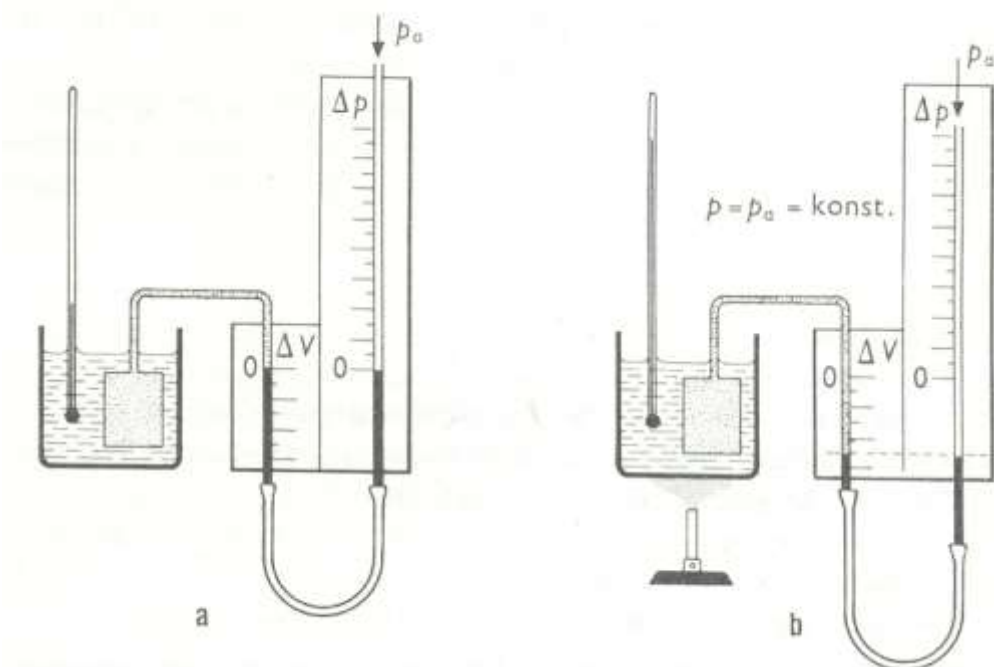
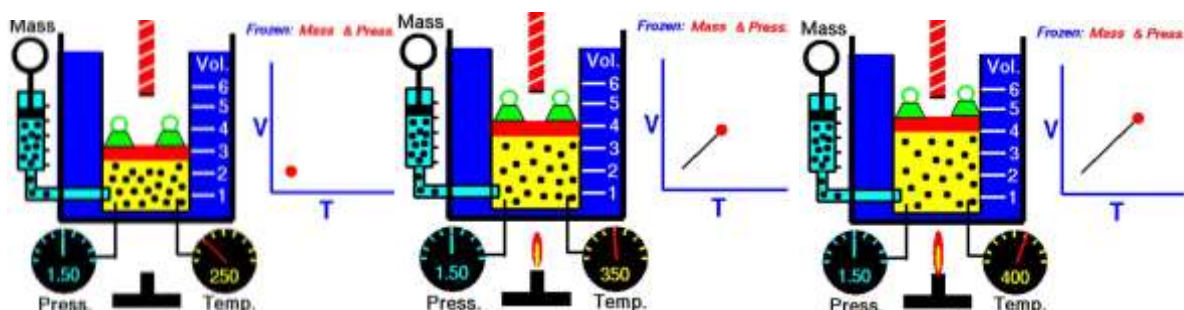
Zahřeju balónek, a on se zvětší. Proč?



U uvedeného příkladu těžko dosáhneme toho, aby byl tlak plynu stálý. Ale bylo dokázáno, že je-li tlak plynu stálý, tzn. $p = \text{konst.}$, pak jeho objem je přímo úměrný termodynamické teplotě.

Příklady z praxe:

- Plyn uzavřený v nádobě s pohyblivým pístem (teoreticky by to mohla být injekční stříkačka, kdyby se její píst pohyboval bez tření).

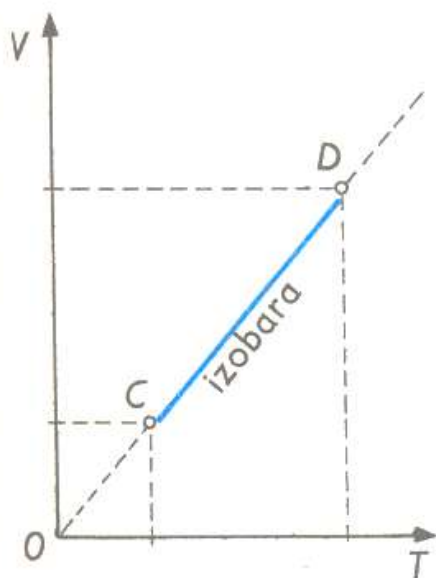


Plyn je uzavřen v nádobě, která je ve vodní lázni. Má stejný tlak jako okolí (atmosféra), což dokazuje stejná výška kapaliny v U-trubici. Teplota se postupně zvyšuje, plyn reaguje změnou objemu a tlaku. Stálost tlaku zajistíme pohybem U-trubice, aby výška hladin zůstala stejná. Změna objemu se dá změřit, teplota také.

§ Při konstantním tlaku je objem plynu přímo úměrný termodynamické teplotě.



Graf závislosti objemu plynu na termodynamické teplotě při konstantním tlaku ukazuje obrázek. Jedná se o část přímky, protože ta je grafem přímé úměry.



Jak to vyplývá ze stavové rovnice?

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad \text{Je-li ale tlak konstantní, pak } p_1 = p_2 = p.$$

$$\frac{p \cdot V_1}{T_1} = \frac{p \cdot V_2}{T_2} \quad \text{V čitateli je stejná hodnota, rovnici jí můžeme vydělit.}$$

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

Poznámka:

p_1, V_1, T_1 jsou hodnoty tlaku, objemu a termodynamické teploty plynu před začátkem děje, p_2, V_2, T_2 jsou hodnoty stejných veličin po skončení děje.

Příklad: Sníží-li se o 20 % (na 0,8 násobek) termodynamická teplota plynu při stálém tlaku, sníží se o 20 % i jeho objem.

Co na to první termodynamický zákon?

Podle něho je změna vnitřní energie termodynamické soustavy rovna součtu vykonané/odevzdané práce a přijatého/odevzdaného tepla. Matematicky $\Delta U = W + Q$

Na rozdíl od izotermického, izochorického a adiabatického děje, kterým se věnují jiné skupiny, tady pro žádnou z veličin v zákoně neplatí nic speciálního.

Poissonova konstanta



Proč musím dodat víc tepla, když ohřívám plyn v balónku, než když ho ohřívám v pevné nádobě?



Poissonova konstanta vystupuje v rovnici popisující tzv. adiabatický děj – jemu se věnuje skupina č. 5. Značí se malým řeckým písmenem kappa κ a definuje se jako podíl měrné tepelné kapacity plynu při stálém tlaku a měrné tepelné kapacity téhož plynu při stálém objemu.

Matematicky: $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$

Měrná tepelná kapacita vyjadřuje, kolik tepla je potřeba dodat, aby se 1 kg určité látky zahřál o 1 °C. Např. měrná tepelná kapacita vody je $c = 4200 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$. Znamená to, že aby se zahřál 1 kg vody (1 litr) o 1 °C, musíme mu dodat 4 200 J tepla.

Podobně je tomu u plynů, tam se ale musí rozlišit, jestli je teplo dodáváno při konstantním tlaku (izobarický děj) nebo při konstantním objemu (izochorický děj). V prvním případě značíme měrnou tepelnou kapacitu plynu c_p , v druhém případě c_v .

Pro vzduch za normálních podmínek je $c_p = 1000 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$, $c_v = 720 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$, $\kappa = 1,4$.

Samotné hodnoty podstatné nejsou, zajímavé ale je, že **c_p je vždy větší než c_v pro všechny plyny.**

Proč?

Podle prvního termodynamického zákona je změna vnitřní energie termodynamické soustavy rovna součtu vykonané/odevzané práce a přijatého/odevzaného tepla.

Matematicky $\Delta U = W + Q$

Při izochorickém ději je konstantní objem, plyn se nerozpíná ani nesmršťuje, nekoná tedy práci ani na něm práce není konaná. Veškeré dodané teplo se využije na zvětšení vnitřní energie a tedy i teploty.

Při izobarickém ději se dodané teplo využije nejen na zvětšení vnitřní energie, ale i na vykonání práce. Aby se tedy vnitřní energie plynu a tedy i jeho teplota zvýšila jako při ději izochorickém, musíme mu dodat více tepla. Má tedy při izobarickém ději větší měrnou tepelnou kapacitu.

Pro uvedené hodnoty vychází Poissonova konstanta vzduchu $\kappa = 1,4$.

Z výše uvedeného vyplývá, že Poissonova konstanta je vždy větší než 1. Její konkrétní hodnota závisí na tom, kolik atomů tvoří molekulu daného plynu. Nejvyšší hodnota je pro plyny s jednoatomovými molekulami.

Adiabatický děj



Proč se prudce ochladí nádobka při posledním použití deodorantu?



Jedná se o děj, při kterém nedochází k tepelné výměně mezi plynem a okolím $Q = 0$.

Podle prvního termodynamického zákona je změna vnitřní energie termodynamické soustavy rovna součtu vykonané/odevzdané práce a přijatého/odevzdaného tepla. Matematicky $\Delta U = W + Q$

Při adiabatickém ději je $Q = 0$, tedy $\Delta U = W$. Plyn koná práci na úkor své vnitřní energie (energie poklesne, teplota poklesne).



Vztah mezi charakteristickými veličinami vyjadřuje následující rovnice:

$p \cdot V^\kappa = \text{konst.}$ nebo taky $p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$, kde κ je tzv. Poissonova konstanta, kterou definuje skupina č. 4.

Poznámka:

p_1, V_1 jsou hodnoty tlaku, objemu a termodynamické teploty plynu před začátkem děje.

p_2, V_2 jsou hodnoty stejných veličin po skončení děje.



Grafem závislosti tlaku plynu na jeho objemu je tzv. adiabáta (modrá křivka), která se trochu podobá izotermě.

