

# STRUKTURA A VLASTNOSTI PLYNŮ

## 1. Ideální plyn

představuje model ideálního plynu, který často používáme k popisu různých dějů. Například později předpokládáme, že všechny molekuly mají **STEJNĚ VELKOU RYCHLOST**, která je pro daný vzorek plynu typickou veličinou (= střední kvadratická rychlost, která není ani průměrnou ani nejpravděpodobnější rychlostí molekul daného vzorku, jak si vysvětlíme později)

IDEÁLNÍ PLYN:

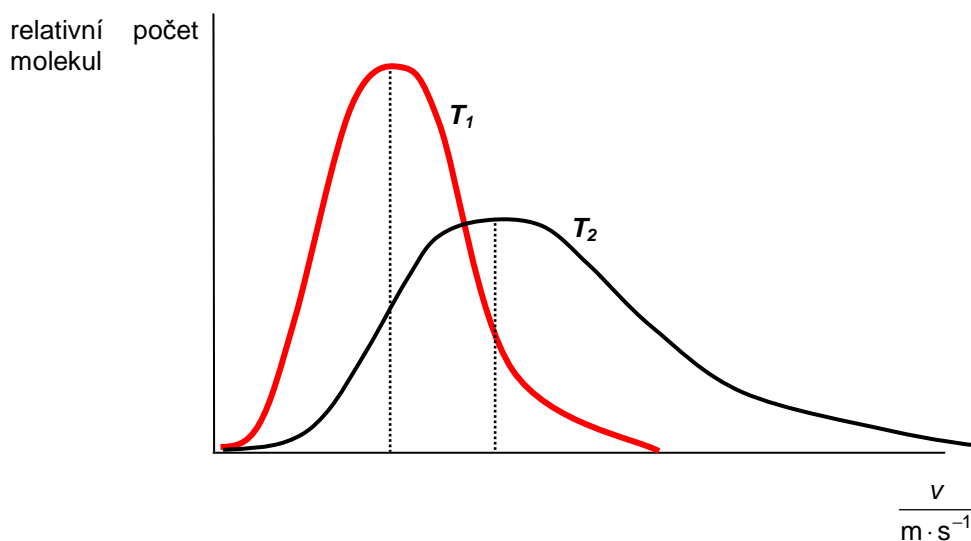
- Velikosti molekul jsou zanedbatelné vzhledem k jejich středním vzdálenostem ( $\Rightarrow$  málo molekul, plyn lze stlačit na nulový objem).
- Molekuly na sebe působí silami pouze při vzájemných srážkách.
- Srážky (mezi molekulami navzájem nebo nárazy molekul na stěnu nádoby) jsou ideálně pružné ( $\Rightarrow$  kinetická energie se zachovává).

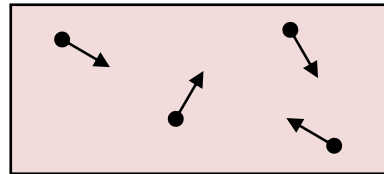
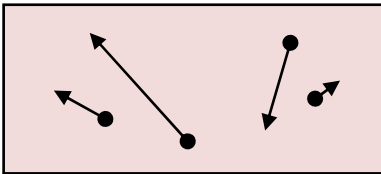
## 2. Rozdělení molekul podle rychlosti

- nejpravděpodobnější rychlost  $v_p$  – má ji většina molekul
- průměrná rychlost – není to  $v_p$

### **Střední kvadratická rychlost $v_k$**

teoreticky stanovená rychlost - stejná pro každou molekulu - tak, aby měl vzorek plynu stejnou celkovou kinetickou energii, jako když mají molekuly různou rychlost (díky srážkám atp.)





$$p, V, T, N, v_1, v_2, \dots$$

$$E_k = \frac{1}{2} m \sum_{i=1}^N v_i^2$$

$$p, V, T, N, v_k$$

$$E_k = N \frac{1}{2} m v_k^2$$

$$v_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N}}$$

### 3. Střední kinetická energie molekuly

$$E_0 = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{3}{2} kT \quad k = 1,38 \cdot 10^{23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \dots \text{ Boltzmannova konstanta}$$

hmotnost JEDNÉ molekuly

Střední kinetická energie molekuly závisí pouze na teplotě plynu

Kinetická energie vzorku obsahujícího  $N$  molekul:  $E = NE_0 = \dots\dots\dots$

$$R = kN_A = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \dots \text{ Univerzální plynová konstanta}$$

$$\text{Avogadrovo číslo} = 6,023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\text{počet molů} \quad n = \frac{m}{M_m} = \frac{N}{N_A}$$

#### Otázky:

1. Dva vzorky různých plynů (kyslík, dusík) mají stejnou teplotu. a) Jaký vztah platí mezi středními kinetickými energiemi jejich molekul? b) Jaký je vztah mezi středními kvadratickými rychlostmi jejich molekul? c) Když je umístíme do nádob se stejným objemem a za stejného tlaku, co můžeme říct o počtu částic v nádobách?
2. Spočítejte střední kvadratickou rychlost molekul kyslíku při teplotě  $-100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ .
3. 100 g argonu má teplotu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Spočítejte celkovou kinetickou energii jeho molekul.

#### 4. Tlak plynu

je způsoben nárazy molekul na stěnu nádoby

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2 = \frac{1}{3} \rho v_k^2$$

L3/64-76

#### 5. Stavová rovnice ideálního plynu

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2 \quad v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad \text{odvodte níže uvedenou rovnici}$$

$$pV = nRT \quad \text{kde} \quad n = \frac{m}{M_m} = \frac{N}{N_A}$$

Tato rovnice platí jen pro plyn při nízkém tlaku a vysoké teplotě. Vylepšení - Van der Waals – Nobelova cena 1910.

#### Avogadrův princip (1811)

Pokud umístíte dva plyny do nádob stejného objemu a mají stejný tlak i teplotu, potom musejí obsahovat stejný počet částic (vysvětlí pomocí stavové rovnice)

#### 6. Děje s ideálním plynem

Máme plyn v nádobě, jeho počet molů (molekul, hmotnost) je konstantní. Jedna z veličin  $p$ ,  $V$ ,  $T$  se nemění, další dvě se budou měnit velmi pomalu – izotermický (IT), izochorický (ICH, IV) a izobarický (IB) děj.

obecná rovnice – platí, i když se VŠECHNY veličiny mění:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = nR = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{konst}$$

## 7. Izotermický děj

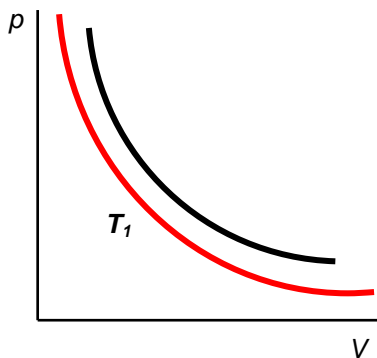


$$T_1 = T_2 = konst \Rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2$$

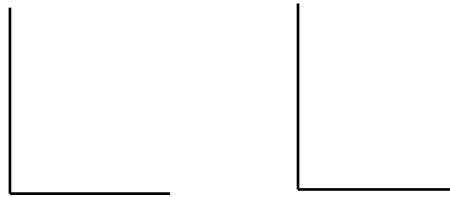
$$pV = konst \quad \text{Boylův – Mariottův zákon (Boyle's Law, IE, 1627-1691, F, 1620-1684)}$$

Co představuje konstanta z B. – M. zákona? Jak byste ukázali izotermický děj??

p-V diagram



označte osy a dokončete grafy



## 8. Izochorický děj

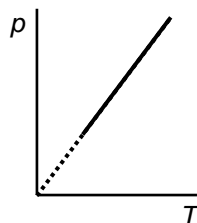
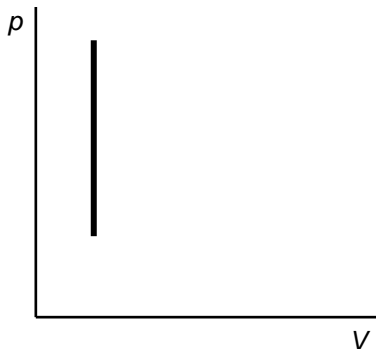
$$V_1 = V_2 = konst \Rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\frac{p}{T} = konst \quad \text{Charlesův zákon (Pressure Law, F, 1746-1823)}$$

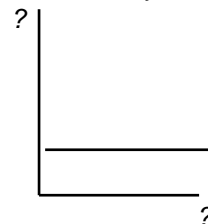
Co představuje konstanta v uvedeném zákoně?

Najděte analogie a rozdíly mezi dějem popisujícím tento zákon a využitím tlakového hrnce.

p-V diagram



označte osy



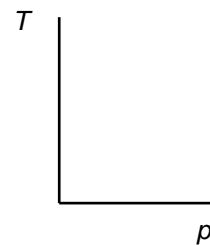
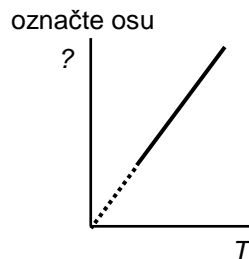
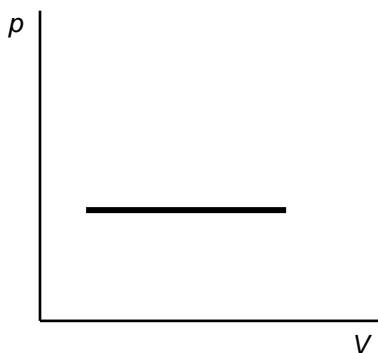
## 9. Izobarický děj

$$p_1 = p_2 = konst \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{V}{T} = konst \quad \text{Gay – Lussacův zákon (Gay – Lussac's Law, 1778-1850)}$$

Co představuje konstanta v uvedeném zákoně? Nakreslete a vysvětlete demonstrační pokus, který jste viděli.

p-V diagram



L3/77-83, 86-7, X88-9, 90, X91-3

## 10. První termodynamický zákon a stavové změny z energetického hlediska

- První termodynamický zákon:  $Q = \Delta U + W$   
Teplu dodané plynu může zvýšit jeho vnitřní energii nebo se přeměnit na vykonanou práci.

**Znaménka:**

$Q > 0$  když se plyn ohřívá

$Q < 0$  když se ochlazuje

$\Delta U > 0$  když teplota roste

$\Delta U < 0$  když teplota klesá

$W > 0$  když se plyn rozpíná ( $V$  roste)

$W < 0$  když se plyn stlačuje ( $V$  klesá)

- aplikujeme na děje s ideálním plynem

a) IT

$$T = konst \Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow Q_T = W$$

ALE:

**Druhý zákon termodynamiky:** Není možné sestrojít periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od určitého tělesa a konal stejně velkou práci.

Najdi a vysvětli rozdíl mezi předchozími dvěma stanovisky.

**b) ICH**

$$V = konst \Rightarrow W = 0 \Rightarrow Q_V = \Delta U$$

$$Q_V = mc_V \Delta t$$

$c_V$  ... měrná tepelná kapacita pro izochorický děj

**c) IB**

$$p = konst \Rightarrow Q_p = \Delta U + W$$

$$Q_p = mc_p \Delta t$$

$c_p$  ... měrná tepelná kapacita pro izobarický děj

**Otázky:**

- Definujte měrné tepelné kapacity pro ICH a IB děj. Můžeme je někde najít? Jaký je mezi nimi rozdíl?
- Je některá z nich vždy větší bez ohledu na druh plynu? Vysvětli proč (následující tabulka nestačí).

PLYN	$\frac{c_p}{\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$	$\frac{c_p}{c_V}$
dusík	1,037	1,404
kyslík	0,912	1,401
vodík	14,189	1,41

## 11. Adiabatický děj

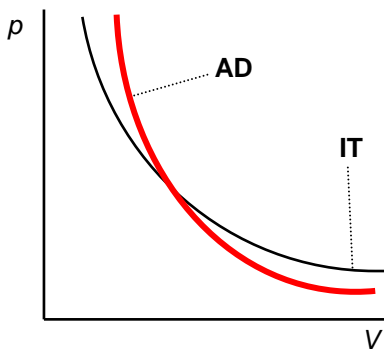
- všechny veličiny  $p, V, T$  se mění
  - rychlé stlačení/rozpínání
  - teplo se nevyměňuje (rychlý děj)
- } rozdíly mezi adiabatickým dějem a IT, ICH a IB ději

$$pV^\kappa = konst \quad \text{Poissonův zákon (F, 1781-1840)}$$

$$\kappa \dots \text{kappa} \dots \text{Poissonova konstanta} \dots \kappa = \frac{c_p}{c_v} - 1$$

doplňte symbol větší/rovno/menší

$\kappa$  má velmi podobnou hodnotu pro molekuly mající stejný počet atomů  
(1,4 pro dvouatomové; 1,66 pro jednoatomové; 1,3 pro tříatomové)



- příklad adiabatické komprese: dieselův motor (vysvětlí) [www.engines.ic.cz](http://www.engines.ic.cz)
- příklady adiabatické expanze : CO<sub>2</sub> hasicí přístroj  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Fire\\_extinguisher](http://en.wikipedia.org/wiki/Fire_extinguisher)  
odstraňování bradavic dusíkem  
[http://www.medicinenet.com/warts\\_common\\_warts/article.htm](http://www.medicinenet.com/warts_common_warts/article.htm)

- První termodynamický zákon pro AD děj:

$$Q = 0 \Rightarrow 0 = \Delta U + W$$

Platí rovnice  $\frac{pV}{T} = konst$  také pro AD děj? Vysvětli.

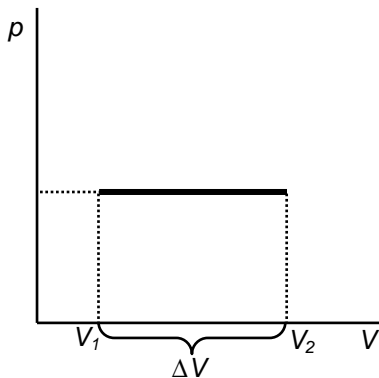
L3/ 94-95, 51-54

## 12. Práce ideálního plynu

- IB děj

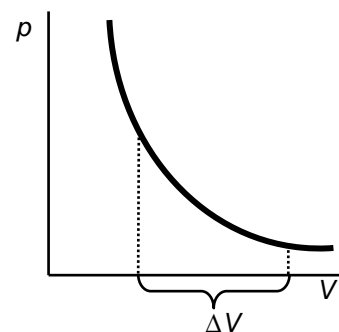
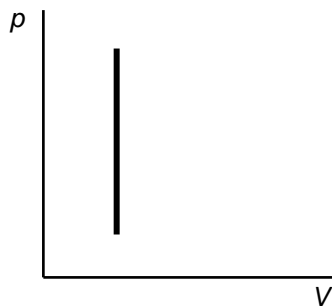
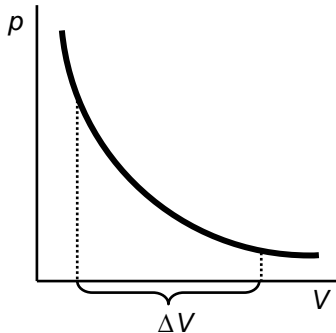


$$W = F s = p A s = p \Delta V$$



*plocha pod p - V diagramem = vykonaná práce (pro libovolný tvar/děj!!!)*

- ostatní děje



O jaké děje se jedná?



$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

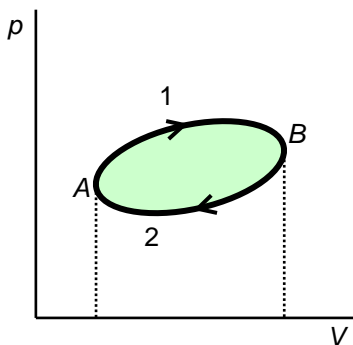
**Otázky:**

6. Jak velkou práci vykoná 1,3 g vzduchu, když za stálého tlaku změní teplotu z 20 °C na 100 °C? Předpokládejte molární hmotnost vzduchu 29 g·mol<sup>-1</sup>.

L3/97-104

### 13. Kruhový děj s ideálním plynem

Když vzorek plynu koná práci, stlačíme ho, zahřejeme, ochladíme,... a po sérii dějů jsou všechny stavové veličiny ( $p$ ,  $V$ ,  $T$ ) stejné, jako byly na začátku.



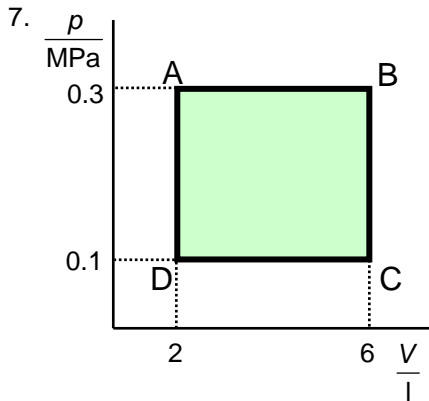
plocha pod 1 –  $W$  vykonaná PLYNEM (expanze)

plocha pod 2 –  $W$  vykonaná NA PLYNU (komprese)

⇒

*výsledná práce vykonaná plynem během jednoho cyklu =  
plocha uvnitř křivky/smyčky*

**Otázky:**



- i) Jaké děje jsou podle grafu AB, BC, CD, DA?
- ii) Napište stavovou rovnici a rovnici pro první zákon termodynamiky.
- iii) Jak velká práce se vykoná při AB, BC, CD, DA?
- iv) Dodáváme nebo odebíráme teplo?
- v) Zvyšuje se nebo snižuje teplota?
- vi) Jak bychom děj realizovali?
- vii) Jak velkou práci vykoná plyn během jednoho cyklu?

	i) děje	ii) rovnice	iii) W	iv) Q	v) T	vi) jak udělat
AB						
BC						
CD						
DA						

• **účinnost ( $\eta$ )**

$$\eta = \frac{\text{energie (výkon) vykonaná}}{\text{energie (výkon) dodaná}} < 1$$

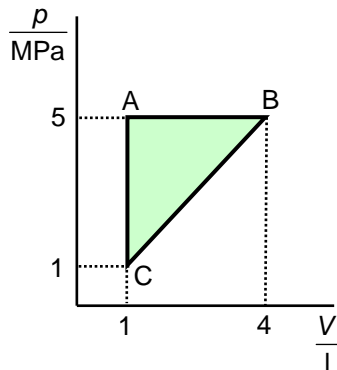
pro jeden cyklus: p, V, T stejné  $\Rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow W = Q = Q_1 - Q_2 = \text{vykonaná práce}$   
 $Q_1 = \text{dodaná energie/teplo}$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

**Otázky:**

8. Plyn přijal během jednoho cyklu teplo 7 MJ a odevzdal 3 MJ. Jak velkou práci během jednoho cyklu vykoná a jaká je účinnost cyklu?

9. Pojmenuj děje AB, BC, CA. Jak velká práce se během nich vykoná?

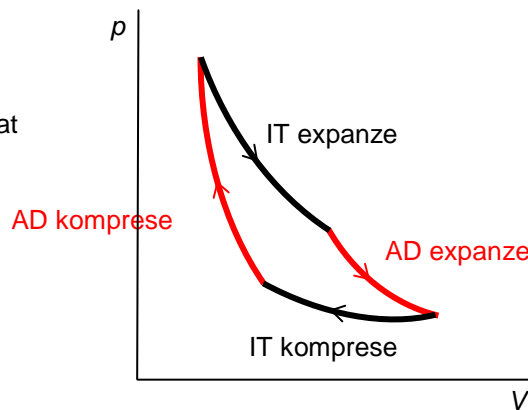


• **Carnotův cyklus**

pro ideální plyn... 2x AD + 2x IT děj  
teplota se jednoduše měří, teplo se musí počítat

$T_1$ ... teplota ohřivače  
 $T_2$ ... teplota chladiče

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$



L3/105-110

**14. Tepelné stroje**

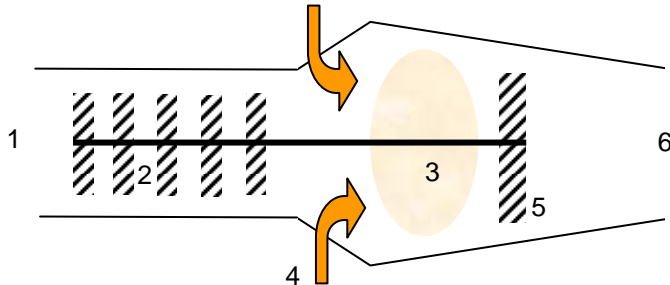
Část vnitřní energie spáleného paliva se přemění na teplo

• **parní stroje** – teplo uvolněné hořením paliva ohřeje vodu na páru o vysokém tlaku – rotace turbíny/posuvný pohyb pístu – pára se ochladí – kondenzace – voda – ohřeje se znovu = kruhový děj (James Watt, skotský inženýr, 1784 – vylepšení – použil stejnou vodu)

• **spalovací motory – zážehové (jiskra) a vznětové (bez jiskry)** – palivo se vzduchem se vznítí – expanze – pohyb pístu  
[www.engines.ic.cz](http://www.engines.ic.cz)

Použijte informace z internetu a popište funkci čtyřdobých a dvoudobých zážehových a vznětových motorů, najděte rozdíly.

- **tryskové motory** – podobné palivo, pracují na principu zákona zachování hybnosti



1 – nasávání vzduchu, 2 – stlačení vzduchu (více  $O_2$ ), 3 – prostor spalování paliva, 4 – tryska dodávající benzín, 5 – turbína pro kompresor, 6 – tryska

#### Otázky:

10. Najděte rozdíly a shody mezi výše uvedenými typy motorů.
11. Ve kterém taktu koná dvoudobý (čtyřdobý) motor práci?

#### Odpovědi:

1. a) je stejná      b) těžší molekuly jsou pomalejší      c) je stejná
2. a)  $367 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$       b)  $461 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$       c)  $539 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
3. 9 kJ
7. 29,8 J
9. 4 MJ; 57%
10. 15 kJ; (-)9 kJ; 0