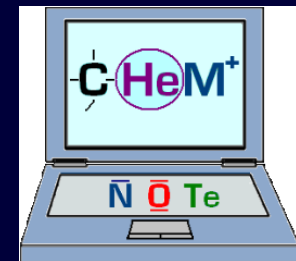


6. Stavy hmoty - Plyny

- **skupenství plynné**
 - plyn x pára (*pod kritickou teplotou*)
 - stavové chování
 - Ideální plyn
 - Reálné plyny



**Evropský sociální fond
Praha & EU: Investujeme do vaší budoucnosti**

6. Stavy hmoty - Plyny

- skupenství plynné

reálný plyn ve stavu blízkém zkapalnění

- plyn x pára (*pod kritickou teplotou*)
- nezachovává ani tvar ani objem, nemá hladinu
 - vyplňuje poskytnutý prostor
 - otázka vlivu gravitace
- relativně velká vzdálenost částic (molekul, atomů)
 - translace, rotace i vibrace (*rotační a vibrační spektra*)
 - vzájemné srážky a nárazy na stěny
 - malý vliv kohezních sil
 - relativně snadná stlačitelnost
 - malá hustota
 - velmi nízká viskozita
- vztah tlaku, objemu a teploty



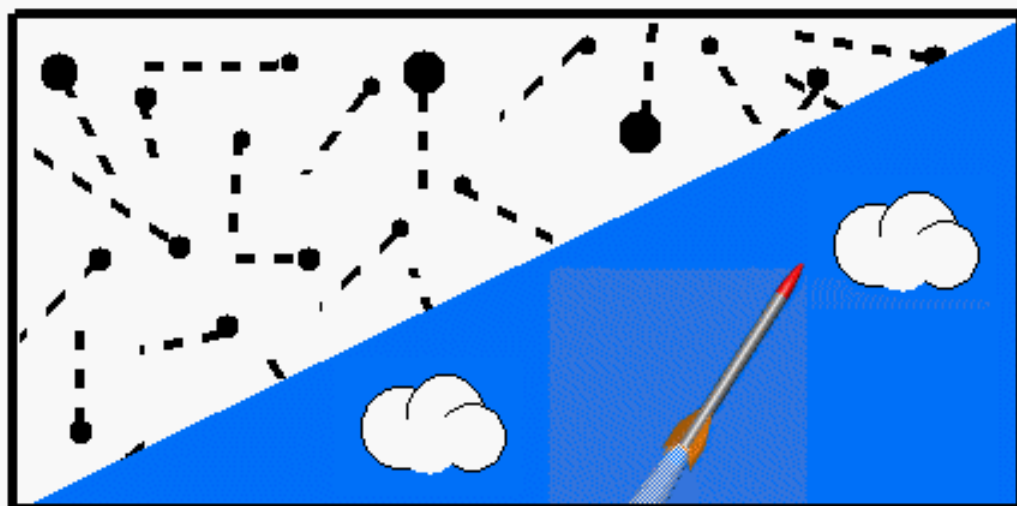
Gas Properties Definitions

Glenn
Research
Center

Small Scale

Molecular

Micro



Large Scale

Whole Gas

Macro

Mass

Momentum

Energy

Density

Pressure

Temperature

Viscous = "Sticky"

Diffusion = Random Motion

Compressible = "Springy"

Convection = Ordered Motion

Rotational = Angular Momentum

6. Stavy hmoty

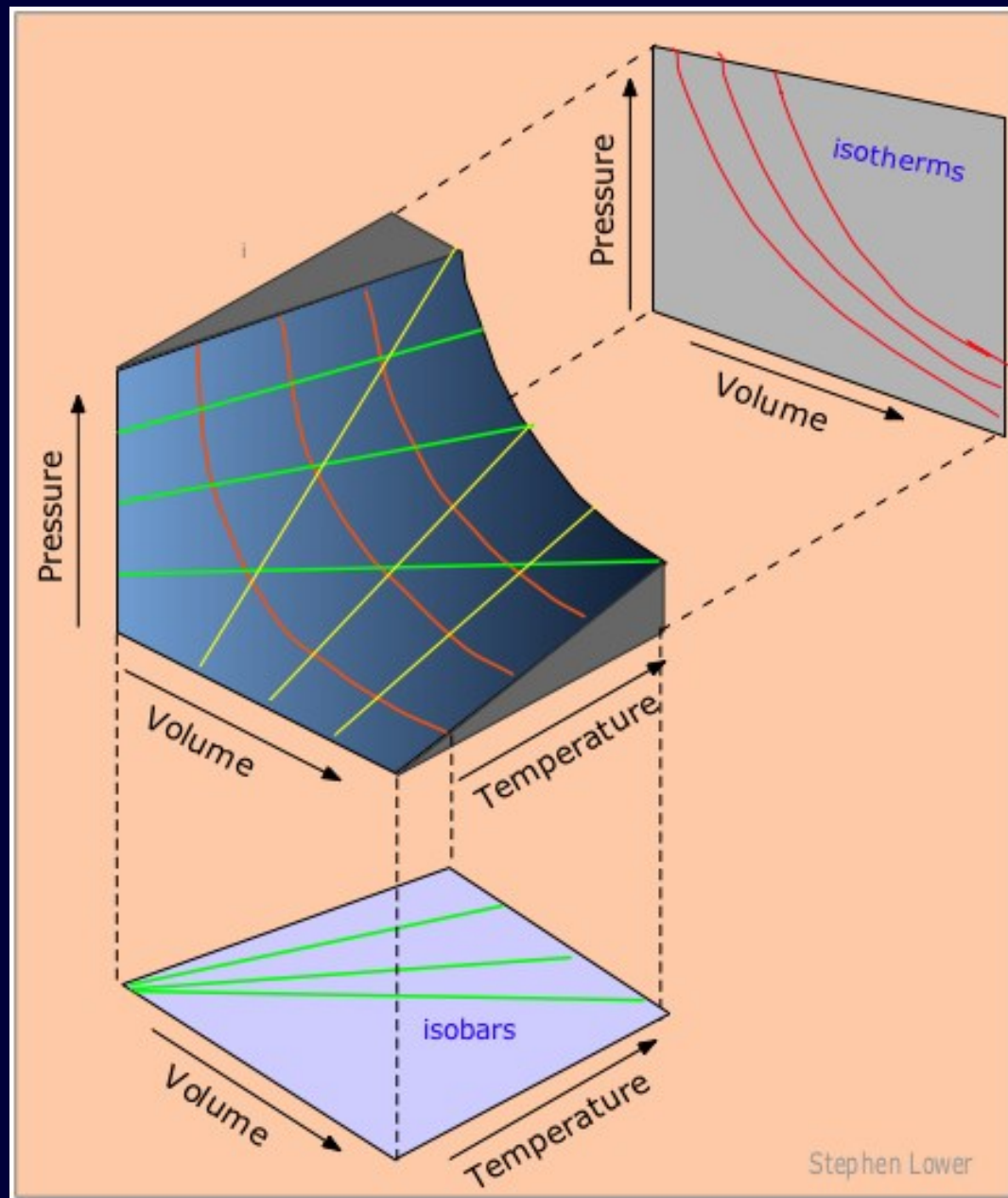
Plyny

Nezkapalňuje,
nulový objem plynu při nulové teplotě

- ideální plyn
 - ideální srážky bez vzájemných interakcí částic (zanedbání mezimolekulových sil)
 - dokonale pružné nárazy na stěnu nádoby
 - nulový objem částic (zanedbatelný proti celkovému objemu plynu)
 - zákon **Boyleův-Mariottův** (izotermický děj)
 - zákon **Gay-Lussacův** (izobarický děj)
 - zákon **Charlesův** (izochorický děj)
 - zákon **Avogadrův** (objemu plynu \sim látkové množství)
 - stavová rovnice ideálního plynu - $pV = nRT$
- reálný plyn

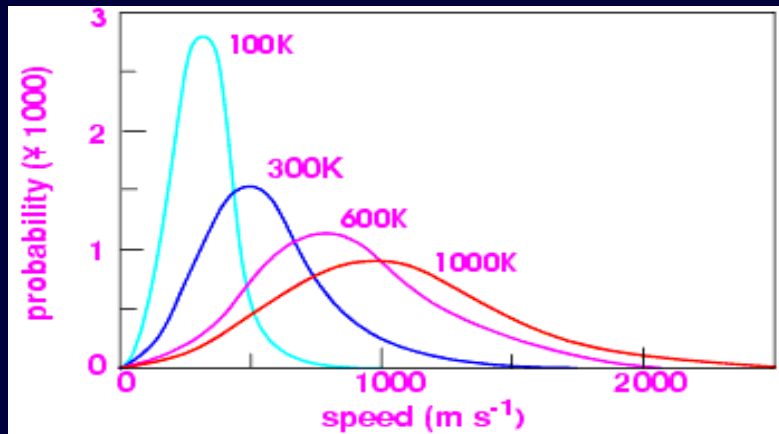
6. Stavý hmoty Plyny

- ideální plyn
 - izobary
 - izotermy
 - izochory
 - $pV = nRT$



6. Stavy hmoty - Plyny

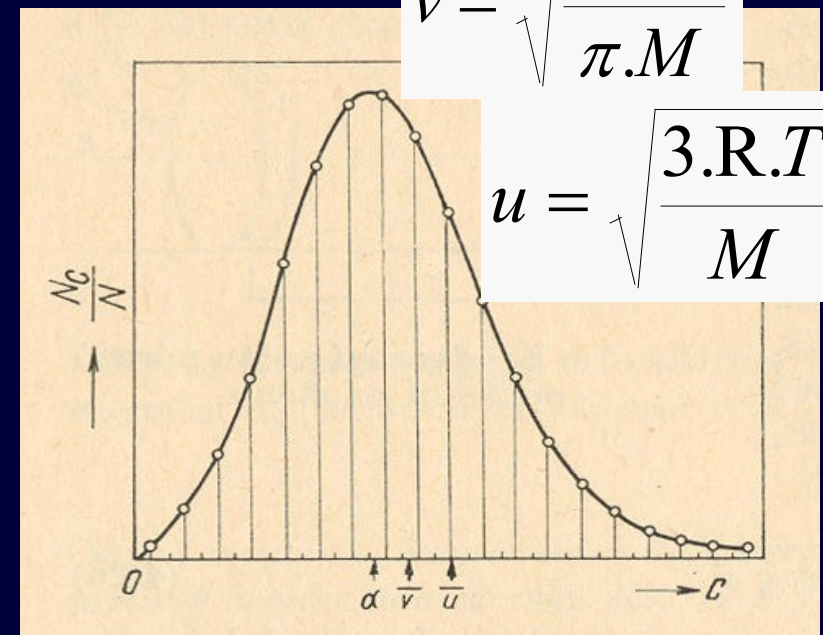
- teplota plynu
 - kinetická energie molekul plynu
 - distribuce rychlostí



$$\alpha = \sqrt{\frac{2.R.T}{M}}$$

$$v = \sqrt{\frac{8.R.T}{\pi.M}}$$

$$u = \sqrt{\frac{3.R.T}{M}}$$



- **střední aritmetická rychlost molekul** v = aritmetický průměr
- **nejpravděpodobnější rychlost** α = nejpočetněji zastoupená
- **střední kvadratická rychlost molekul**
 u = vypočtená ze střední hodnoty kinetické energie

6. Stavy hmoty - Plyny

- tlak plynu
 - kinetická energie molekul plynu
 - nárazy na stěny – tepelný pohyb částic
 - tlak úměrný hustotě molekul
 - fluktuace tlaku – fluktuace četnosti nárazů, distribuce rychlostí molekul

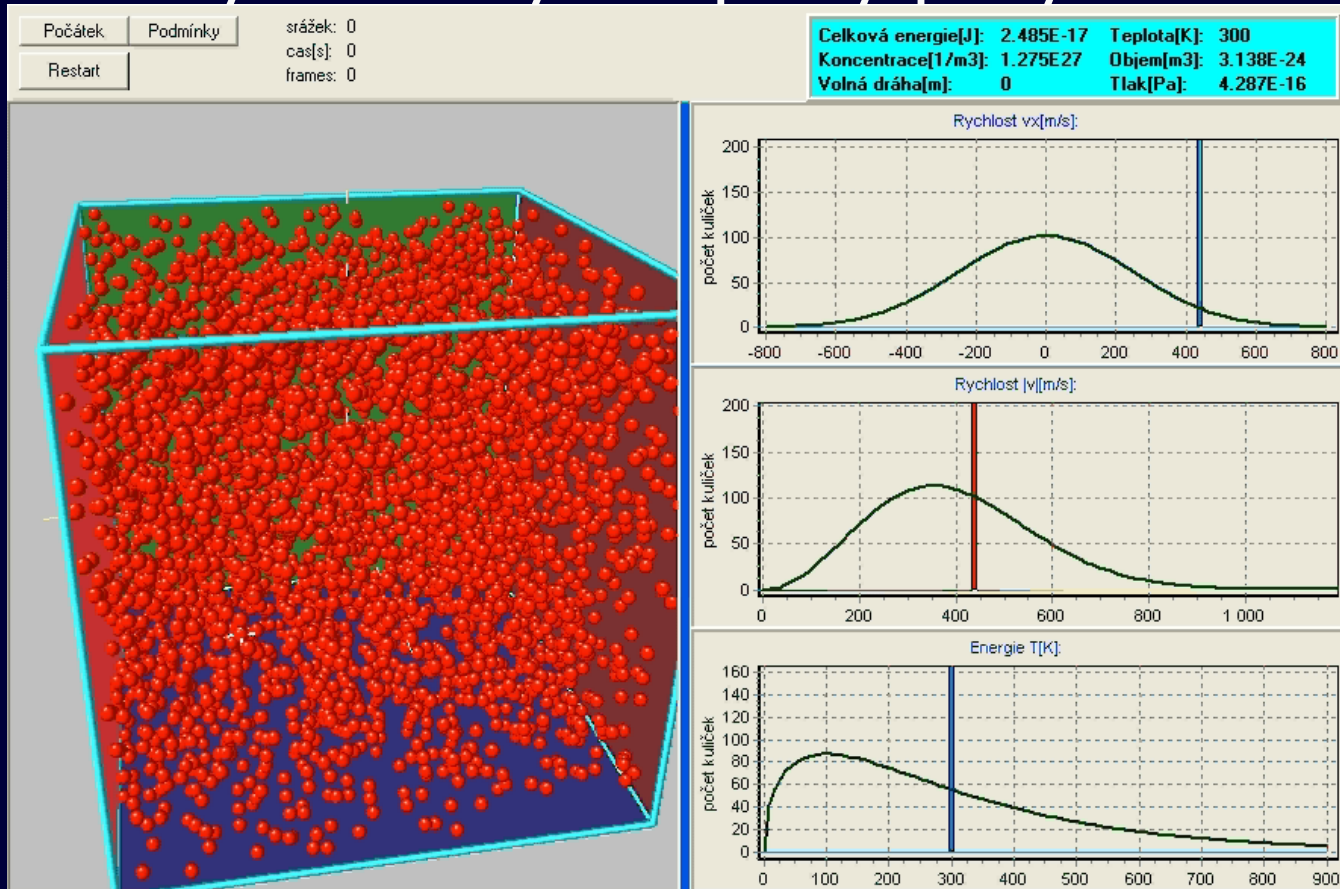
$$p = \frac{dF}{dS}$$

$$\bar{p} = \frac{1}{3} N_V m_0 v^2$$

$$N_V = \frac{N}{V}$$

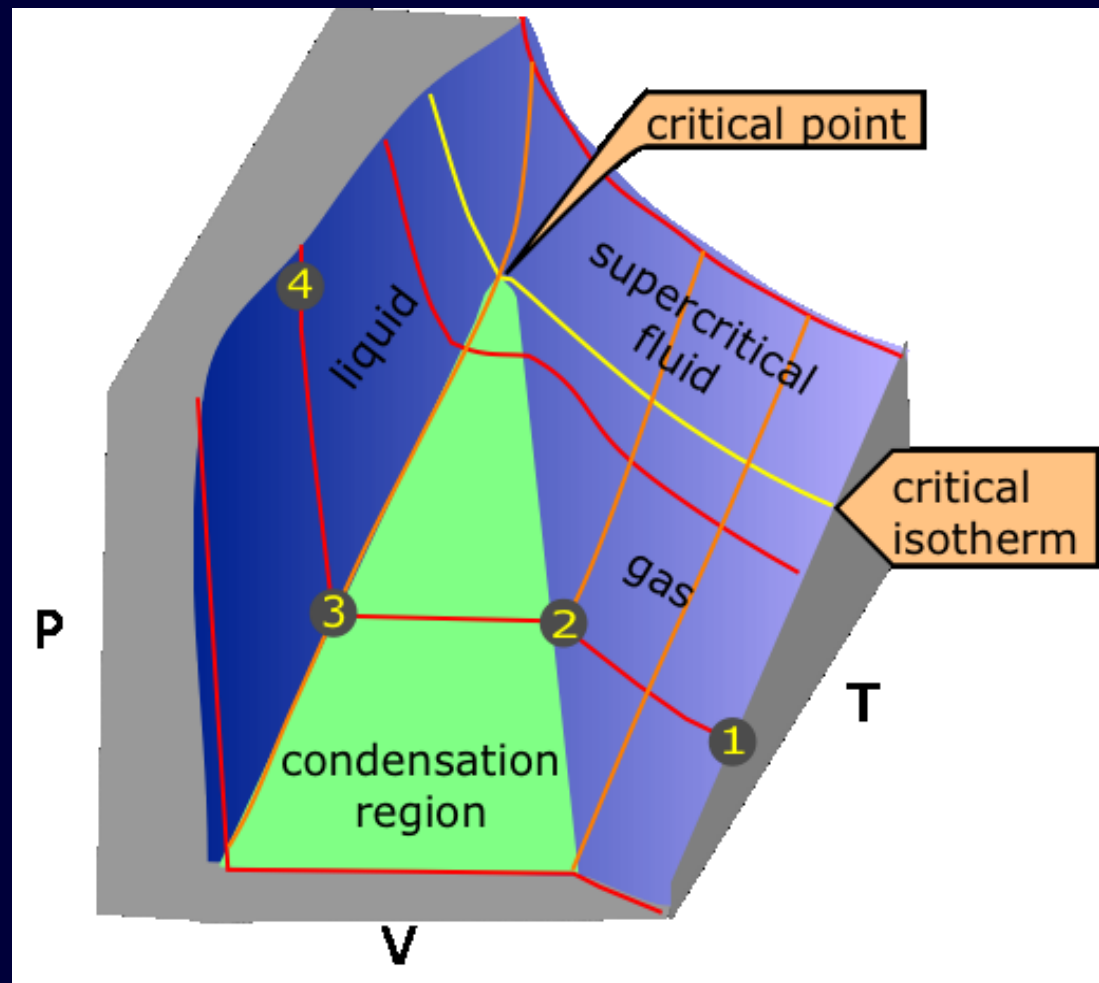
6. Stavby hmoty - Plyny

– nárazy na stěny – tepelný pohyb částic



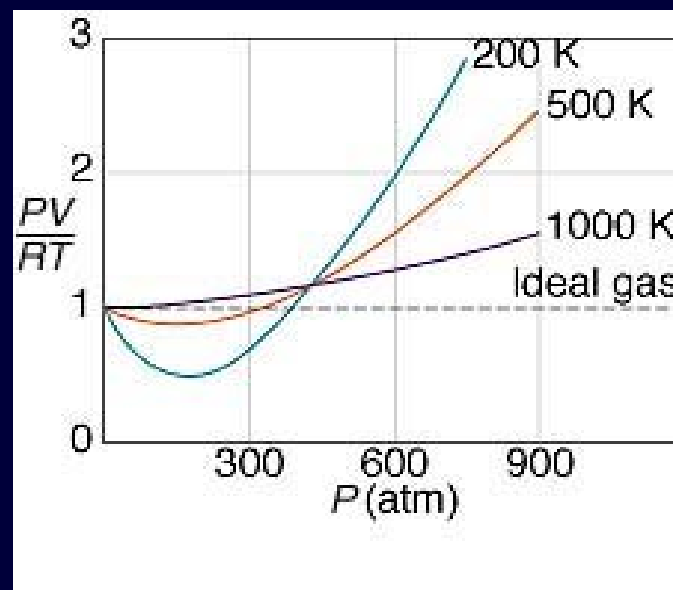
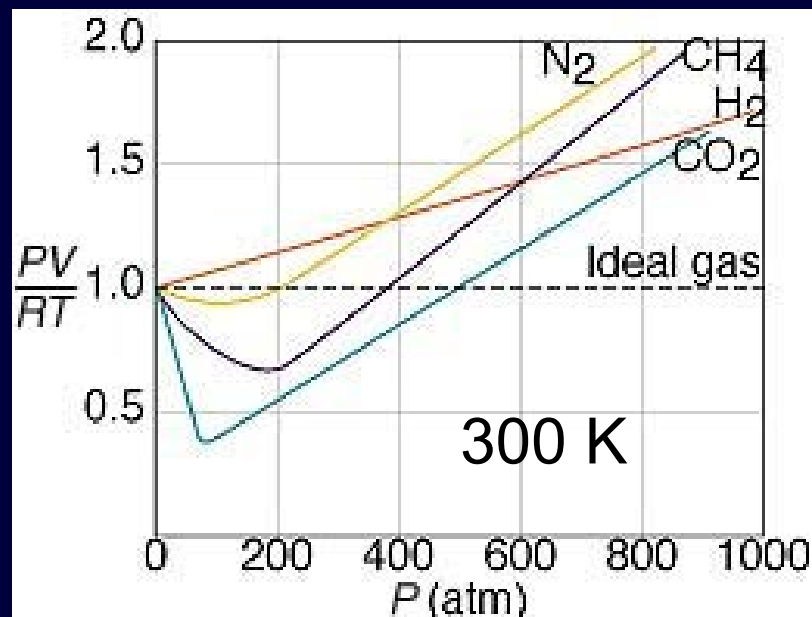
6. Stavy hmoty Plyny

- reálný plyn
 - odchylné stavové chování
 - chování při expanzi do vakua
 - otázka zkapalnění



6. Stavy hmoty Plyny

- reálný plyn
 - odchylné stavové chování
 - stlačitelnost v závislosti na typu plynu, tlaku a teplotě



6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn

- odchýlné stavové chování

- vliv mezimolekulových sil – atraktivní, repulzní

- otázka vlastního objemu molekul

- nejjednodušší model

- » van der Waalsova rovnice – korekce na mezimolekulové síly („vnitřní“ tlak), korekce na vlastní objem molekul

$$\left(p + \frac{a \cdot n^2}{V^2} \right) \cdot (V - n \cdot b) = n \cdot R \cdot T$$

$$\left(p + \frac{a}{V_m^2} \right) \cdot (V_m - b) = R \cdot T$$

6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - odchýlné stavové chování
 - vliv mezimolekulových sil – atraktivní, repulzní
 - otázka vlastního objemu molekul
 - Redlich-Kwong

$$\left(p + \frac{a}{V_m(V_m + b)T^{1/2}} \right) \cdot (V_m - b) = R \cdot T$$

6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - odchýlné stavové chování
 - vliv mezimolekulových sil – atraktivní, repulzní
 - jiný způsob popisu – VIRIÁLNÍ ROZVOJ
 - Z – kompresibilní faktor

$$\frac{pV}{nRT} = Z = 1 + B(T) \frac{n}{V} + C(T) \frac{n^2}{V^2} + \dots \infty$$

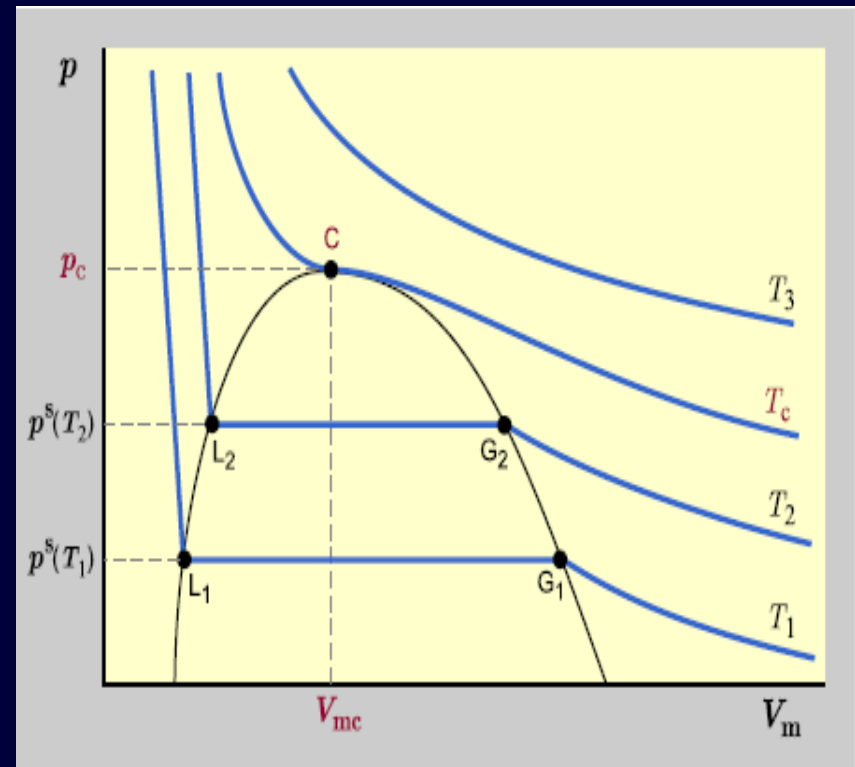
6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - chování při expanzi do vakua
 - překonání atraktivní mezimolekulových sil – ochlazení plynu – Jouleův-Thomsonův jev
 - závisí na konkrétním plynu, výchozí teplotě a tlaku – hodnota koeficientu může být nulová, kladná i záporná
 - řadu reálných plynů lze takto ochlazovat

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H$$

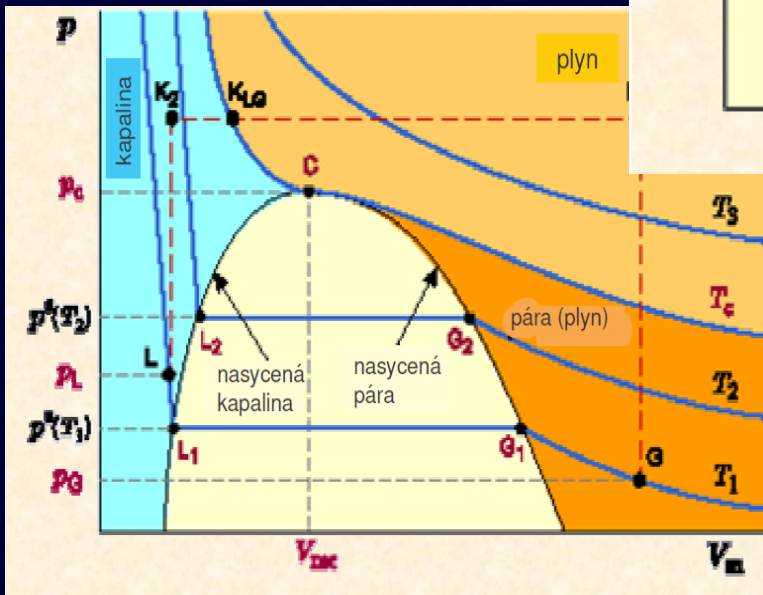
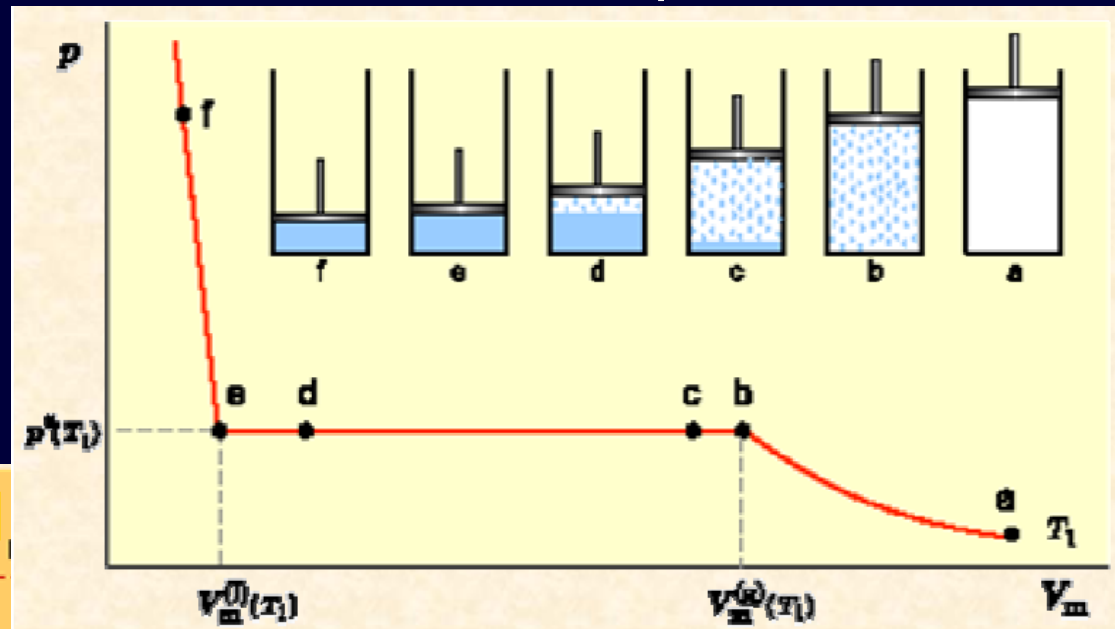
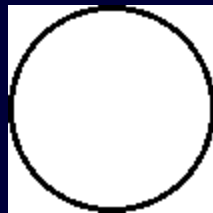
6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - zkapalňování
 - izotermická komprese při dostatečně nízké teplotě – při určitém tlaku se objeví kapalná fáze, objem se zmenšuje až plynná fáze zcela vymizí, další komprese již kapalná fáze – extrémní růst tlaku



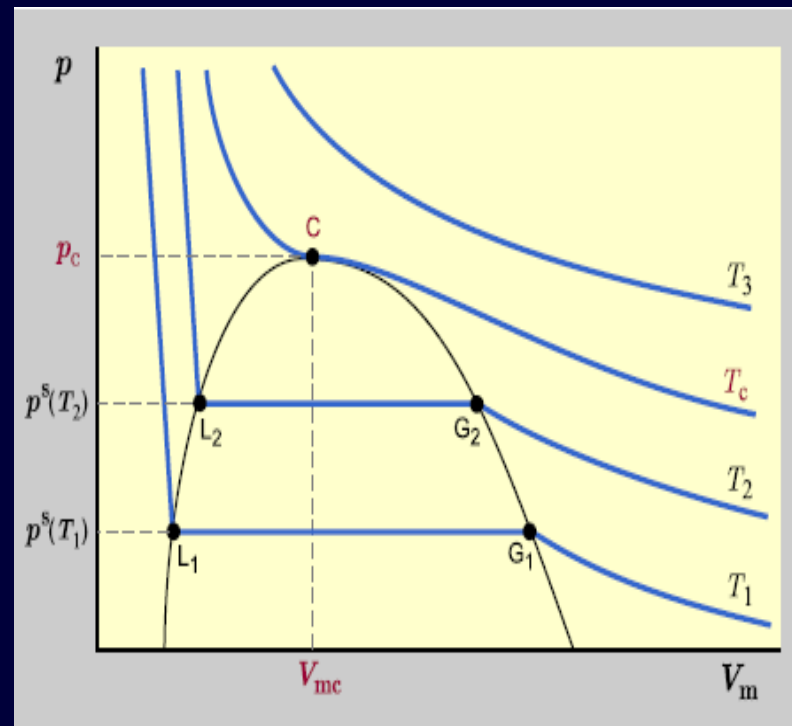
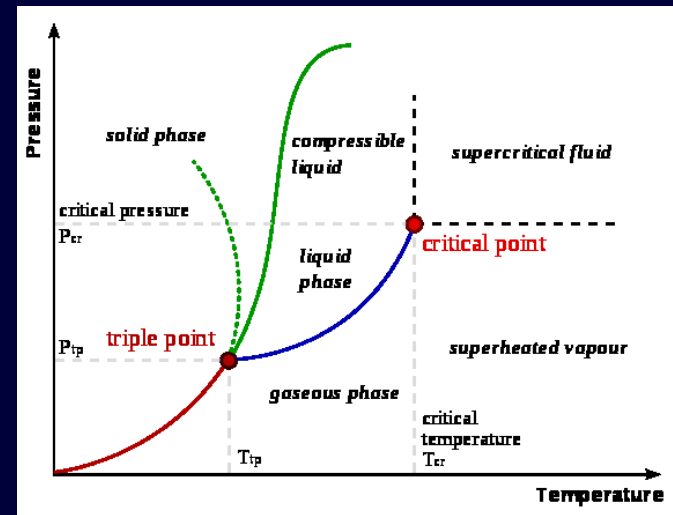
6. Stavy hmoty Plyny

- reálný plyn
 - Kondenzace - zkapalnění



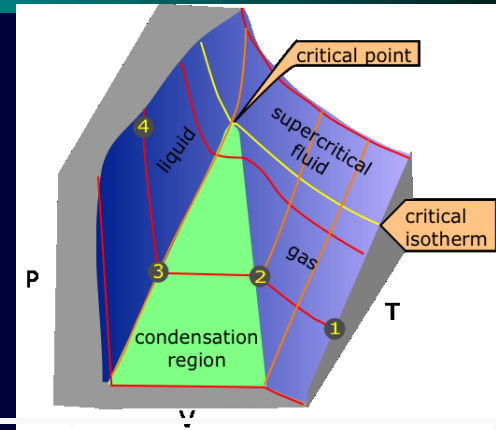
6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - zkapalňování
 - koexistenční oblast kapaliny a páry
 - **kritický bod**
 - kritická teplota
 - kritický tlak
 - kritický molární objem
 - kritické konstanty látek



6. Stavy hmoty - Plyny

- reálný plyn
 - kritické konstanty látek - příklady



látka	t_k [°C]	p_k [kPa]	ρ_k [g.cm ⁻³]
helium	-267,9	229	0,0693
dusík	-147,05	3394	0,311
xenon	16,59	5840	1,1
amoniak	132,55	11277	0,237
ethanol	243,1	6379	0,276
voda	374,2	22120	0,325

6. Stavy hmoty - Plyny

- plyny - směsi
 - transport látek – nosné médium
 - reakce v plynné fázi – změny celkového látkového množství
 - reakce na fázovém rozhraní s plynnou fází
- Daltonův zákon – parciální tlak

$$P = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_{i=1}^n p_i$$

- molární zlomky

$$p_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \cdot p = x_i \cdot p$$

- fugacita a fugacitní koeficient $f_i = x_i \cdot p \cdot \varphi_i$