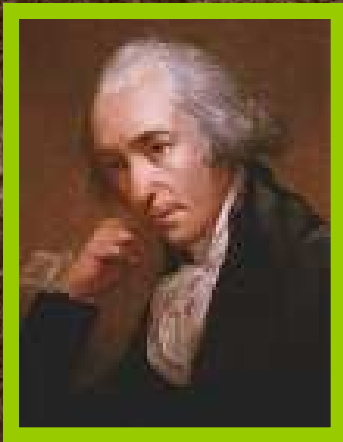
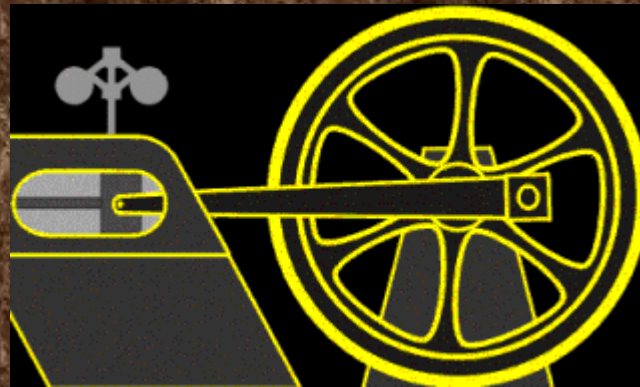


Přednášky z lékařské biofyziky

Masarykova univerzita v Brně – Biofyzikální centrum



JAMES WATT
19.1.1736 - 19.8.1819



Termodynamika I

!!Upozornění!!

- Přednáška je určena především k poslechu, nikoliv k opisování promítaného textu.
- Přednášející předpokládá jisté minimální znalosti středoškolské fyziky.
- Cíl přednášky:
 - pochopení základních pojmů
 - vysvětlení vztahu mezi entropií a neuspořádaností tmd. systému

Termodynamika - fyzikální obor, zabývající se přeměnami energie v makroskopických systémech.

- Rozvoj: 19. století - parní stroje, výbušné motory, turbíny.
- Začátkem 20. století - Základ fyzikální chemie
- Klíč k pochopení zvláštností života - nerovnovážná termodynamika

TERMODYNAMICKÝ SYSTÉM - jakékoliv makroskopické těleso (statistický soubor částic, v 19. stol. kontinuum)

- Izolovaný systém nemůže se svým okolím vyměňovat energii a částice.
- Uzavřený systém nemůže vyměňovat částice, energii ano.
- Otevřený systém vyměňuje částice i energii.

ŽIVÉ SYSTÉMY JSOU SYSTÉMY OTEVŘENÉ

- Izolovaný termodynamický systém musí dospět do rovnovážného stavu, v němž se makroskopicky nemění.
- Existence živých systémů je neslučitelná se stavem termodynamické rovnováhy.

Základní pojmy

- Veličiny, které termodynamický systém v rovnovážném stavu popisují, se nazývají stavové.
- K úplnému popisu termodynamického systému je nutný určitý soubor stavových veličin.
- Tyto veličiny jsou uváděny do vzájemného vztahu ve stavových rovnicích.
- Nejjednodušší tmd. systém: ideální plyn.

Stavová rovnice ideálního plynu:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$[\text{Pa}, \text{m}^3, \text{mol}, \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}, \text{K}]$$

Reálný plyn - rovnice van der Waalsova:

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

a, b - semiempirické konstanty

Reverzibilní (vratný) děj:

- Prochází-li systém posloupností rovnovážných stavů, které se od sebe liší pouze nekonečně malými rozdíly hodnot stavových veličin, hovoříme o reverzibilním (vratném) ději, protože při “změně znaménka” těchto rozdílů se může posloupnost těchto rovnovážných stavů realizovat v opačném sledu.
- Ireverzibilní (nevratný) děj
- Kruhový děj: počáteční a konečný stav systému jsou totožné
- Znaménková konvence: Teplo i práci přijímanou systémem považujeme za kladné, teplo systémem odevzdávané a práci systémem konanou považujeme za veličiny záporné.

Práce termodynamického systému

Objemová práce tmd. systému (“práce pístu”):

$$W = - p \cdot \Delta V \quad (p = \text{konst.})$$

Obecně: $dW = - p \cdot dV$ čili:

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

Tmd. systémy mohou konat i jiné druhy práce, např. elektrickou ($W = U \cdot Q$) nebo chemickou ($W = u \cdot \Delta n$)

Další důležité veličiny:

Termodynamická (Kelvinova, absolutní) teplota je veličina úměrná střední kinetické energii jedné částice ideálního (jednoatomového) plynu, definovaná vztahem:

$$T = \frac{2}{3k} \cdot W_{KS}$$

pak ale platí:

$$W_{KS} = \frac{3}{2} k \cdot T$$

Vnitřní energie systému je součet kinetických energií všech částic, které tvoří systém, a potenciálních energií vzájemných interakcí těchto částic.

Teplo (tepelná energie) je ta část vnitřní energie systému, kterou si mohou vyměnit tmd. systémy s různými teplotami a která se nemění v práci.

1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

(formulace zákona zachování energie
užívaná v termodynamice):

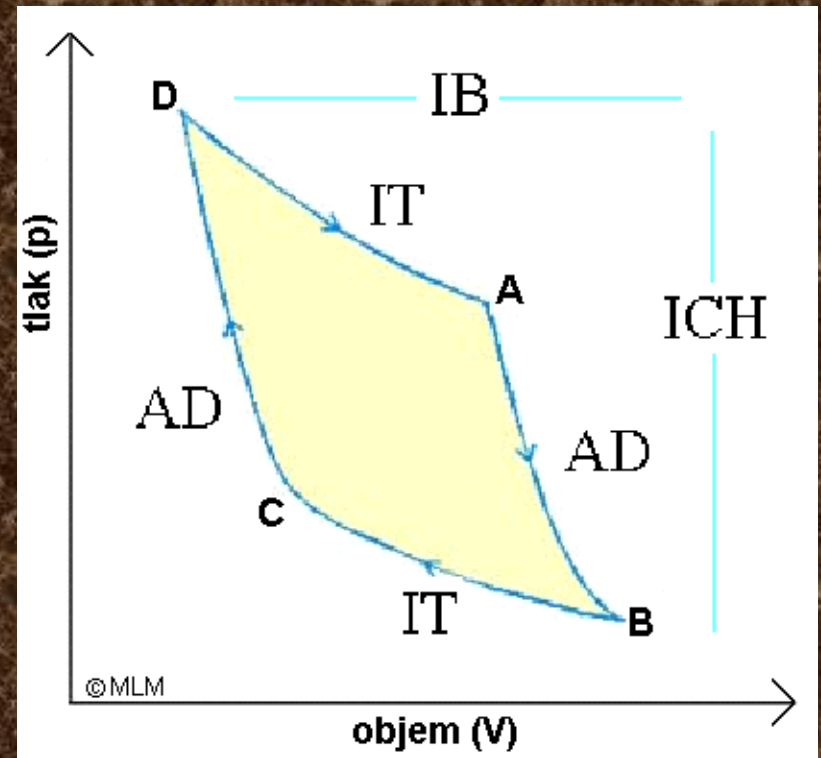
$$\Delta U = W + Q \quad dU = dW + dQ$$

Čteme např.: Vnitřní energie systému se zvýší o práci, kterou vykonalo okolí na systému, a o teplo, které systém z okolí přijal.

Vnitřní energie je stavovou veličinou, teplo a práce nejsou

Termodynamické děje

- izotermický
($p \cdot V = k.$, $W = RT \cdot \ln(V_2/V_1)$)
- izobarický
($p/T = k.$, $W = p(V_2 - V_1)$)
- izochorický
($V/T = k.$, $W = 0$)
- adiabatický
($p \cdot V^k = k.$)



2. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- = zákon určující “směr” nevratných dějů, jeden z nejdůležitějších zákonů, platných ve všech přírodních vědách

Dvě ekvivalentní formulace:

- a) Nelze sestavit periodicky pracující stroj (perpetuum mobile druhého druhu), který by pouze odebíral teplo zásobníku a přeměňoval je na ekvivalentní práci, aniž by určité množství tepla přešlo z teplejšího na chladnější těleso.

b) Existuje stavová funkce entropie S ,
definovaná vztahem:

$$\Delta S \geq \frac{Q}{T}$$

obecně

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

Nerovnost platí pro ireverzibilní děje (posloupnosti nerovnovážných stavů), rovnost platí pro reverzibilní děje (posloupnosti rovnovážných stavů).

V izolovaném systému (teplo se nevyměňuje s okolím,
 $Q = 0$)

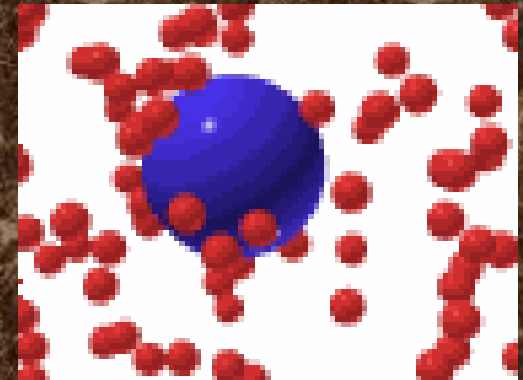
platí $\Delta S \geq 0$ obecně $dS \geq 0$

“Zákon růstu entropie”

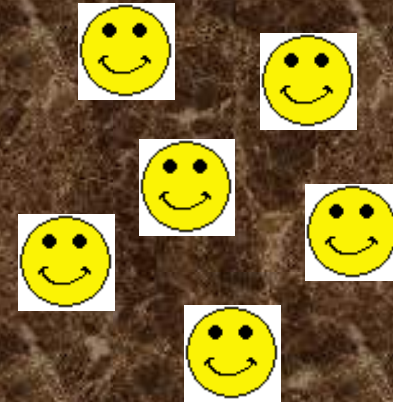
Pro izolované systémy lze z této formulace 2. termodynamického zákona odvodit: Pokud provedeme “izolaci” nějakého termodynamického systému, který nebude v termodynamické rovnováze, bude probíhat ireverzibilní děj, při kterém entropie vždy poroste, až nakonec dosáhne své maximální hodnoty - bude dosaženo stavu termodynamické rovnováhy.

Co dál?


- Zatím jsme definovali entropii jako fyzikální veličinu, jejíž změny zřejmě charakterizují přechod tmd. systému do rovnovážného stavu. Nyní se pokusíme pochopit souvislost mezi entropií a neuspořádaností systému.
- Předpoklad dalších úvah: celková energie částic a jejich počet v systému se nemění.



„Pokus s kuličkami“




- Kuličky mohou být rozlišeny pomocí písmen nebo zůstat nerozlišeny.
- V krabici od bot narýsuje čáru, rozdělující její dno na dvě stejné poloviny.
- Krabici zatřepeme, a pak zaznamenáme rozmístění kuliček.

MAKROSTAV 1: 

Počet mikrostavů: 1



MAKROSTAV 2: 

Počet mikrostavů: 6















MAKROSTAV 3: 

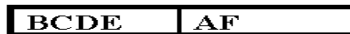
Počet mikrostavů: 15




























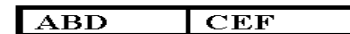




MAKROSTAV 4: 

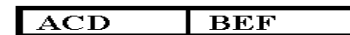
Počet mikrostavů: 20












































MAKROSTAV 5: 

Počet mikrostavů: 15

MAKROSTAV 6: 

Počet mikrostavů: 6

MAKROSTAV 7: 

Počet mikrostavů: 1

Několik termínů ze statistické fyziky:

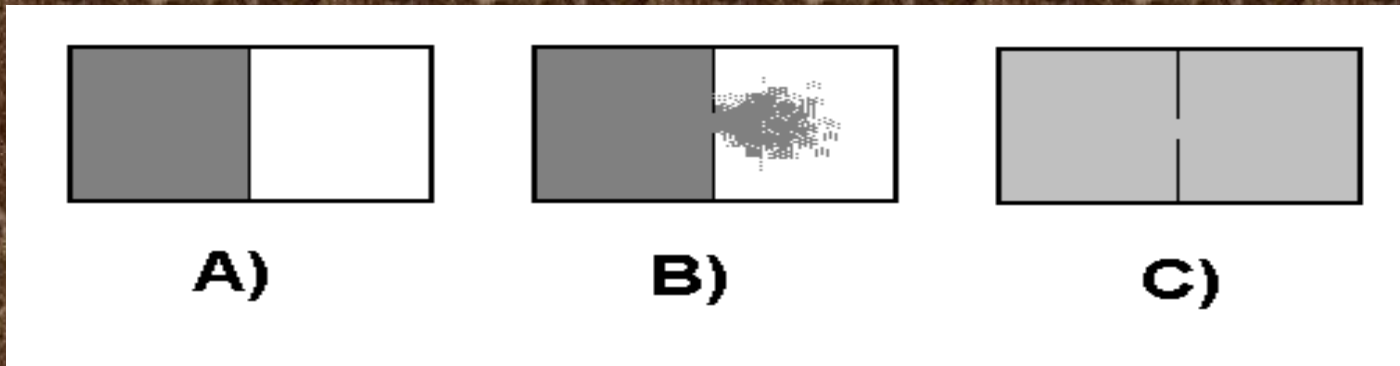
- fázový prostor
- buňka fázového prostoru
- obsazovací čísla
- rozdělovací funkce
- mikrostav a makrostav

Věty (axiómy - soudy, jejichž pravdivost je předpokládána a ověřena praxí):

- Pravděpodobnost vzniku kteréhokoliv ze všech možných mikrostavů je stejná.
- V izolovaných systémech se s největší pravděpodobností realizuje makrostav, který je tvořen největším počtem mikrostavů.
- Počet mikrostavů, které realizují tentýž makrostav, se nazývá statistická pravděpodobnost (P).
- Makrostavy se od sebe liší svými obsazovacími čísly.

Gay-Lussacův pokus:

(průběh nevratného děje v ideálním plynu)

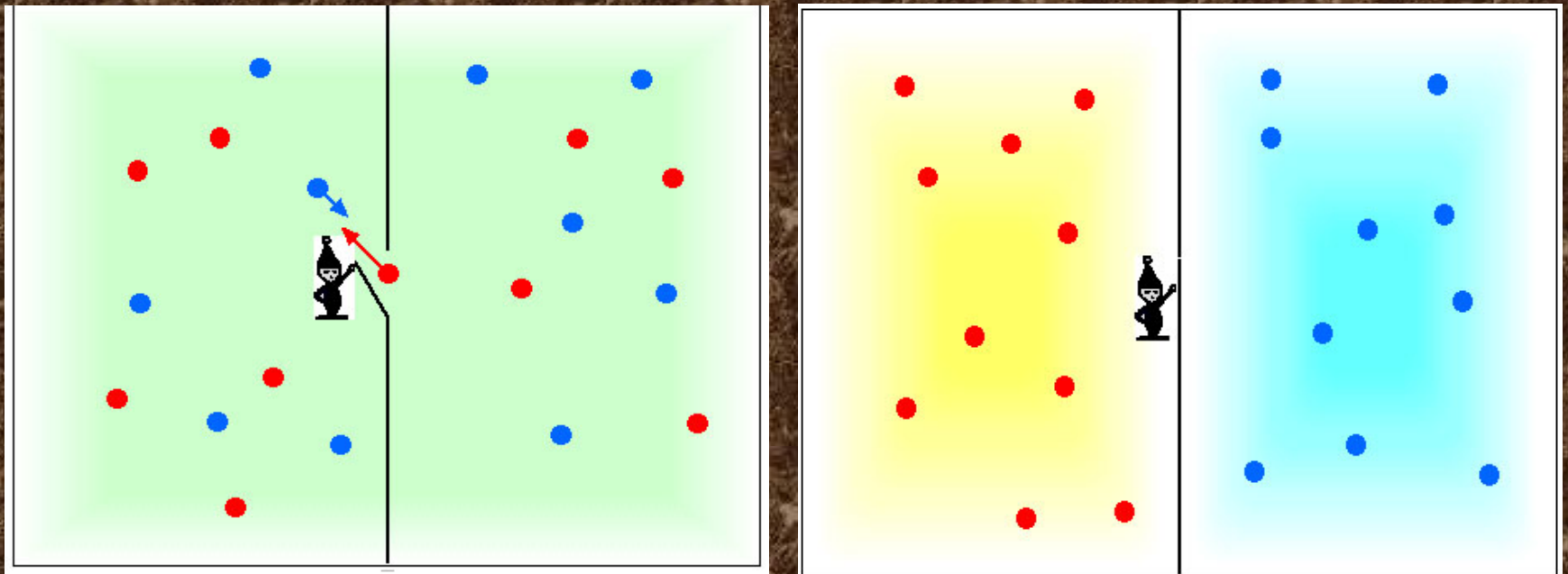


A) Nádoba je rozdělena na dvě části. V jedné z nich se nachází stlačený ideální plyn v rovnovážném stavu.

B) Do přepážky uděláme otvor, plyn expanduje do druhé části nádoby - probíhá nevratný děj.

C) Po uplynutí (relaxačního) času se v obou částech nádoby ustaluje tmd. rovnováha.

Maxwellův démon



• <http://www.bun.kyoto-u.ac.jp/~suchii/intro.PS/Mdemon.html>

Mezi oběma myšlenými pokusy existuje analogie:

Soubor částic

Ideální plyn

probíhá přechod z
makrostavu 1 do
makrostavu 2



probíhá přechod z poč.
stavu (A) do konečného
stavu (C)

roste statistická pravdě-
podobnost



proces je nevratný

uspořádanost se snižuje-
-roste neuspořádanost



roste ENTROPIE

system dosahuje maxima
neuspořádanosti



ENTROPIE dosahuje
maxima

ENTROPIE JE MÍROU NEUSPOŘÁDANOSTI SYSTÉMU.

- Lze usoudit, že entropie souvisí se statistickou pravděpodobností systému a tím i s jeho neuspořádaností. Můžeme odvodit vztah popisující tuto souvislost:

$$S = k \cdot \ln(P)$$

k je Boltzmannova konstanta ($k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$)

Bon appetit!

