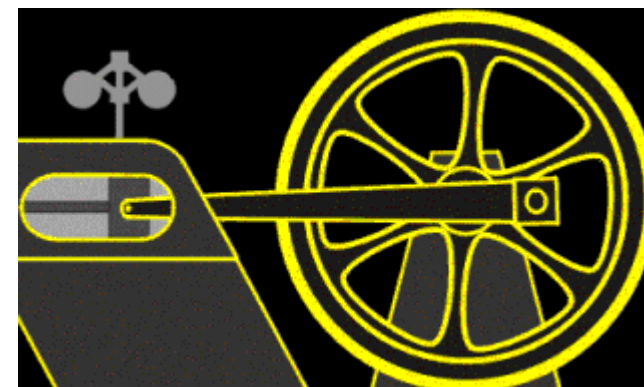


JAMES WATT  
19.1.1736 - 19.8.1819

# Přednášky z lékařské biofyziky

Termodynamika – principy, které vládou přírodě



# Obsah přednášky

Vysvětlení základních pojmů termodynamiky, práce a teplo

1. a 2. termodynamický zákon

Vysvětlení vztahu mezi entropií a neuspořádaností termodynamického systému, Boltzmannův princip

# 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

TERMODYNAMICKÝ SYSTÉM je jakékoliv makroskopické těleso (statistický soubor částic, ještě v 19. stol. však spojité prostředí - kontinuum)

Izolovaný systém nemůže se svým okolím vyměňovat energii a částice.

Uzavřený systém nemůže vyměňovat částice, energii ano.

Otevřený systém vyměňuje částice i energii.

Izolovaný termodynamický systém musí dospět do **rovnovážného stavu**, v němž se makroskopicky nemění.

Existence živých systémů je neslučitelná se stavem termodynamické rovnováhy.

**ŽIVÉ SYSTÉMY JSOU SYSTÉMY OTEVŘENÉ**

# Základní pojmy

Veličiny, které popisují termodynamický systém v rovnovážném stavu, se nazývají stavové.

K úplnému popisu stavu 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:

$$pV = nRT$$

[Pa, m<sup>3</sup>, mol, J·K<sup>-1</sup>·mol<sup>-1</sup>, K]

# 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 veličiny kladné, teplo systémem odevzdávané a práci systémem konanou považujeme za veličiny záporné.

# Práce termodynamického systému

Objemová, též mechanická práce tmd. systému (“práce pístu”):

$$W = p\Delta V$$

Elektrická práce:

$$W = QU$$

- Práce nutná pro přenos elektrického náboje  $Q$  mezi místy o potenciálovém rozdílu  $U$

Chemická práce:

$$W = \mu\Delta n$$

- Práce potřebná k tomu, aby se zvětšilo nebo zmenšilo množství chemické látky o  $\Delta n$  při chemické reakci.  $\mu$  je chemický potenciál.

# Další důležité veličiny:

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

pak ale platí:

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 přitom nemění v práci.



# 1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Je to 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

# 2. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

2. Termodynamický zákon (definice **entropie**  $S$ ):

Lze ukázat, že pro systémy, které mohou vyměňovat teplo se svým okolím, platí:

$$dS \geq dQ/T \quad (T \text{ je teplota})$$

*Celková entropie jakéhokoliv **izolovaného** termodynamického systému ( $dQ = 0$ ) má tendenci růst v čase, dokud nedosáhne maximální hodnoty, tj.*

$$dS \geq 0.$$

Tento zákon určuje “směr” procesů probíhajících v přírodě a je jedním z nejdůležitějších přírodních zákonů.

*Pouze pro vratné procesy (rovnovážné stavy) platí:*

$$dS = 0$$

# Entropie a neuspořádanost

Entropie  $S$  termodynamického systému závisí na počtu různých možných *mikroskopických* uspořádání částic (mikrostavů), které vedou k těmuž pozorovanému makroskopickému stavu termodynamického systému. Entropie systému je vyšší, je-li mikroskopické uspořádání systému více neuspořádané a nepravidelné.

Ludwig Boltzmann odvodil tuto skutečnost vyjadřující vzorec (Boltzmannův princip):

$$S = k \ln W$$

Kde  $W$  je počet mikrostavů, které mohou vytvořit daný makrostav

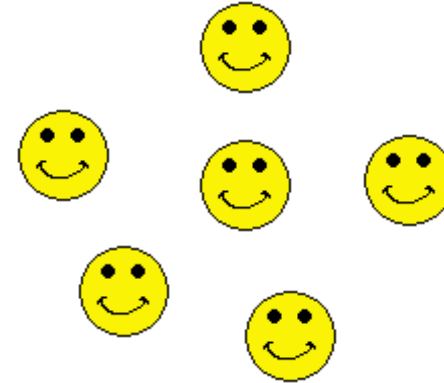
$k$  je Boltzmannova konstanta ( $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $N_A$  je Avogadrova konstanta)

$S$  je stavovou funkcí.

*Odvození výše uvedeného vzorce je relativně zdlouhavé a obtížné. Dále bude podáno poněkud zjednodušené kvalitativní vysvětlení.*

Předpoklad dalších úvah: **celková energie částic a jejich počet v systému se nemění.**

# „Pokus s kuličkami“

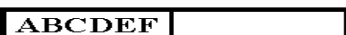


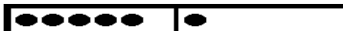
- Kuličky mohou být rozlišeny pomocí písmen nebo zůstat nerozlišeny.
- V krabici od bot narýsuje čáru, rozdělující její dno na dvě stejné poloviny.
- Krabici zatřepeme, a pak zaznamenáme rozmístění kuliček.
- Zjednodušení: zabýváme se pouze polohami kuliček, jejich hybnost nebo energii nebereme v úvahu.*

# Makrostavy a mikrostavý

**MAKROSTAV 1:** 


**Počer mikrostavů:** 1



**MAKROSTAV 2:** 


**Počer mikrostavů:** 6

ABCDE	F	ABCDF	E	ABCEF	D
ABDEF	C	ACDEF	B	BCDEF	A

**MAKROSTAV 3:** 

**Počer mikrostavů:** 15

ABCD	EF	ABCE	DF	ABDE	CF
ACDE	BF	BCDE	AF	ABCF	DE
ABDF	CE	ACDF	BE	BCDF	AE
ABEF	CD	ACEF	BD	BCEF	AD
ADEF	BC	BDEF	AC	CDEF	AB

**MAKROSTAV 4:** 

**Počer mikrostavů:** 20


ABC	DEF	ABD	CEF	ABE	CDF
ABF	CDE	ACD	BEF	ACE	BDF
ACF	BDE	ADE	BCF	ADF	BCE
AEF	BCD	BCD	AEF	BCE	ADF
BCF	ADE	BDE	ACF	BDF	ACE
BEF	ACD	CDE	ABF	CDF	ABE
CEF	ABD	DEF	ABC		

**MAKROSTAV 5:** 

**Počer mikrostavů:** 15

**MAKROSTAV 6:** 

**Počer mikrostavů:** 6

**MAKROSTAV 7:** 

**Počer mikrostavů:** 1

# Několik termínů ze statistické fyziky:

fázový prostor („dno krabice“ 😊)

buňka fázového prostoru („polovina dna krabice“ 😊)

obsazovací čísla („počty kuliček v jedné nebo druhé polovině“ 😊)

rozdělovací funkce

mikrostav a makrostav

Věty, jejichž pravdivost je předpokládána a ověřená praxí:

Pravděpodobnost vzniku kteréhokoliv ze všech možných mikrostavů je stejná.

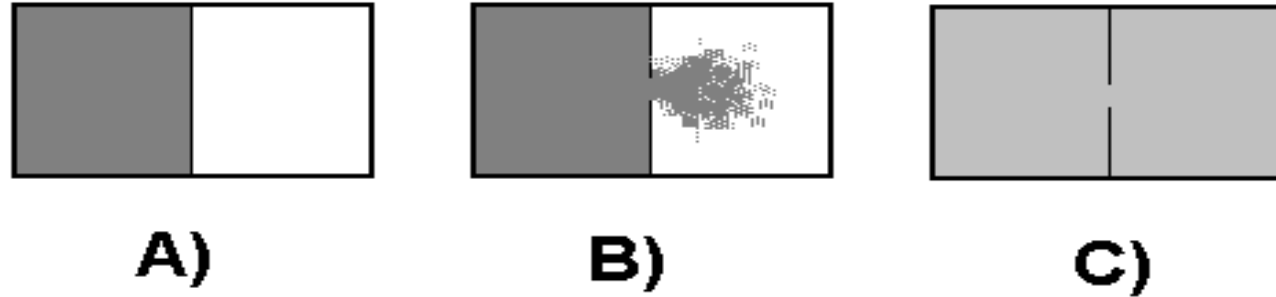
V izolovaných systémech se s největší pravděpodobností realizuje makrostav, který je tvořen největším počtem mikrostavů.

Počet mikrostavů, které realizují tentýž makrostav, se nazývá **statistická pravděpodobnost ( $P$  či  $W$ )**.

Makrostavy se od sebe liší svými obsazovacími čísly.

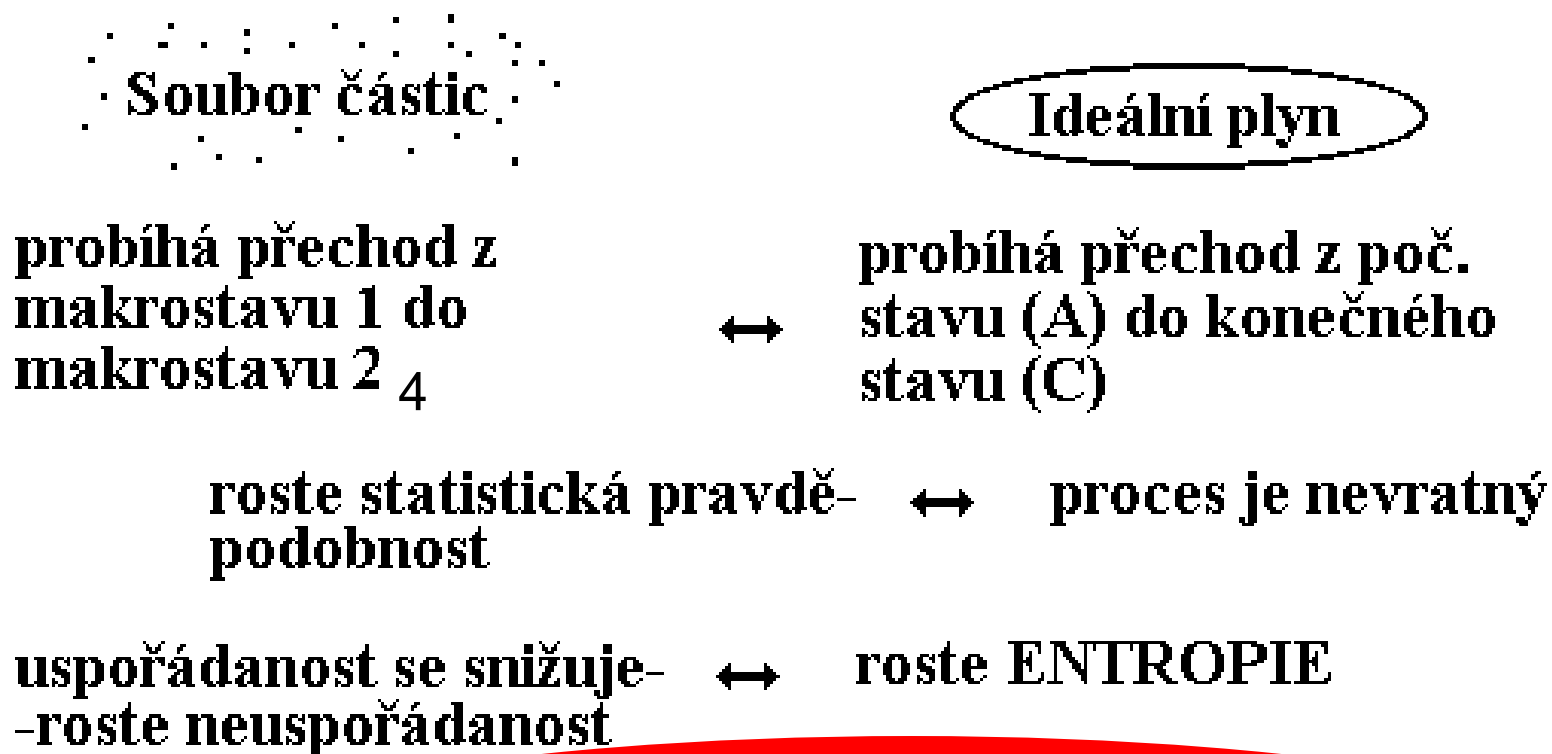
# Gay-Lussacův pokus:

(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.

# Mezi oběma myšlenými pokusy existuje analogie:





**M U N I**  
**M E D**

**Autor:**

**Vojtěch Mornstein**

**Poslední revize a ozvučení: duben 2021**