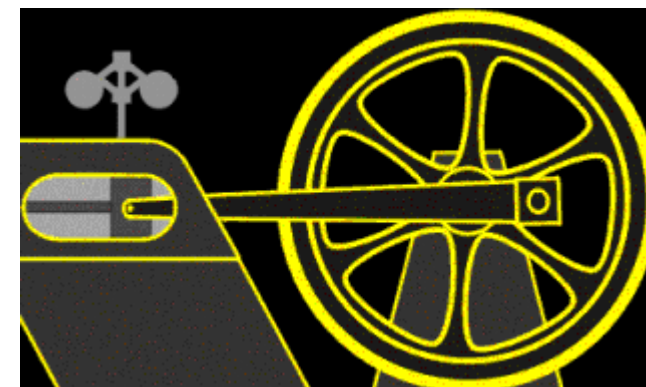


JAMES WATT  
19.1.1736 - 19.8.1819

# 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: 18. až 19. století - parní stroje, výbušné motory, turbíny.

Konec 19. a začátek 20. století - základ fyzikální chemie

Polovina 20. století - nerovnovážná termodynamika, mj. klíč k pochopení zvláštností života

# TERMODYNAMICKÝ SYSTÉM

TERMODYNAMICKÝ SYSTÉM je jakékoliv makroskopické těleso (statistický soubor částic, ještě v 19. stol. však uvažováno spojitě 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:

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

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

# 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”):

$$W = p \cdot \Delta V$$

Elektrická práce:

$$W = Q \cdot U$$

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

Chemická práce:

$$W = \mu \cdot \Delta n$$

- 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 jediné částice ideálního *jednoatomového* plynu, definovaná vztahem:

pak ale též 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 formulací zákona zachování energie užívanou 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

Jedna z mnoha definic tohoto zákona je současně definicí **entropie S**:

2. Termodynamický zákon:

Lze ukázat, že pro systémy, vyměňující 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 maxima, tj. platí:*

$$dS \geq 0.$$

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

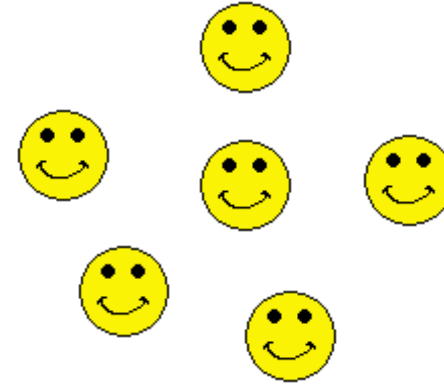
$k$  je Boltzmannova konstanta ( $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $N_A$  je Avogadrova konstanta)

$S$  je stavovou funkcí.

*Odvození výše uvedeného vzorce je relativně 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 zaznameneáme rozmístění kuliček.
- Zjednodušení je v tom, že se zabýváme pouze polohami kuliček, jejich hybnost nebo energii nebereme v úvahu.*

# Makrostavy a mikrostavý

**MAKROSTAV 1:** 

**Počer mikrostavů:** 1

ABCDEF	
--------	--

**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.

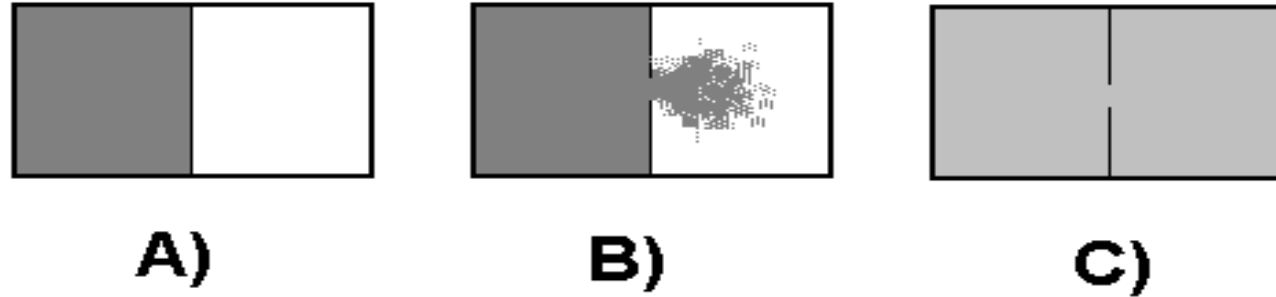
V izolovaných systémech se s největší pravděpodobností realizuje makrostav, který je tvořen největším počtem mikrostavů.

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

Makrostavy se od sebe liší svými obsazovacími čísly.

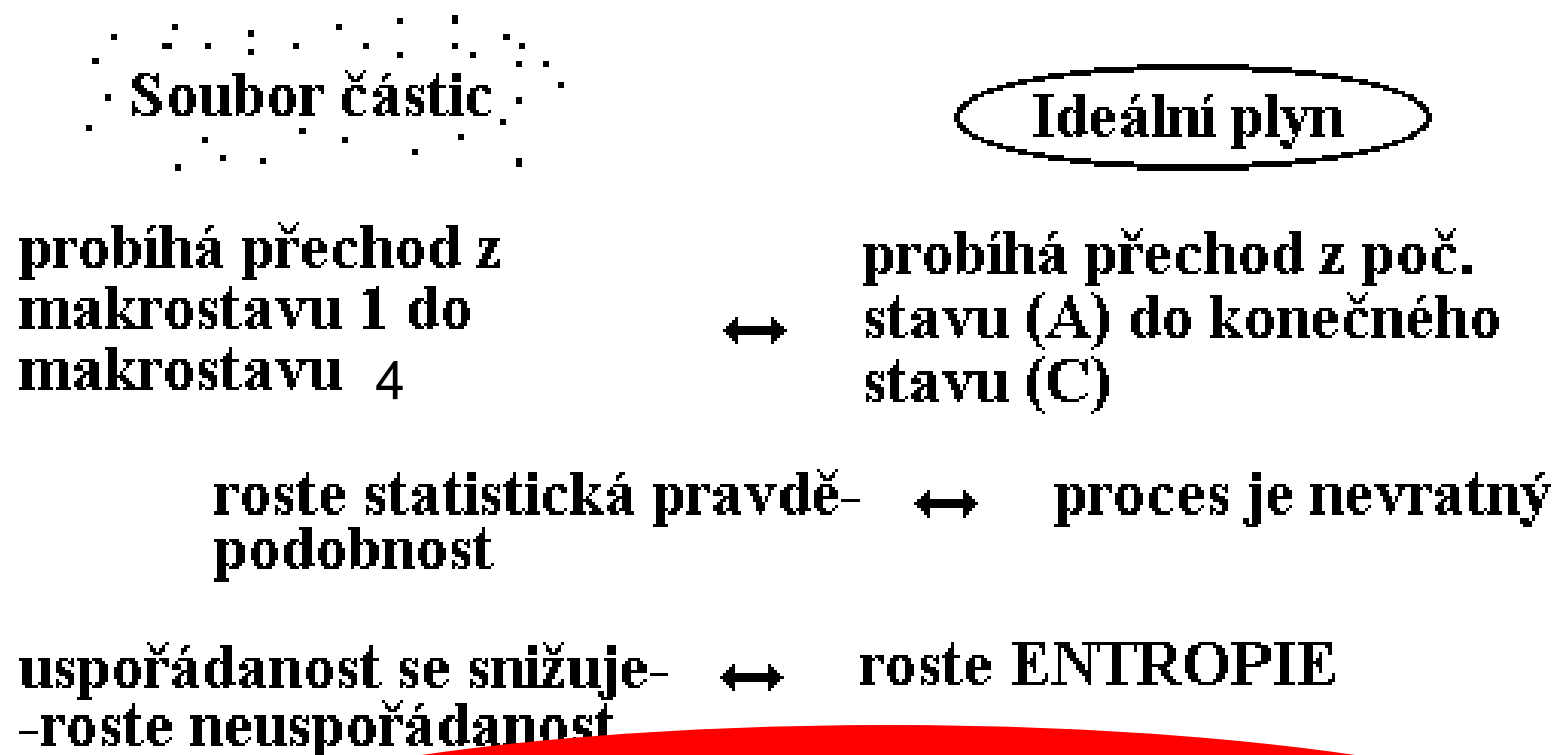
# Gay-Lussacův pokus:

(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: září 2024**