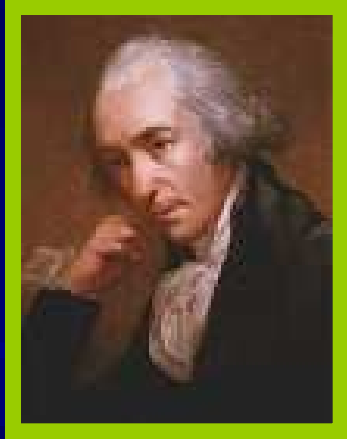


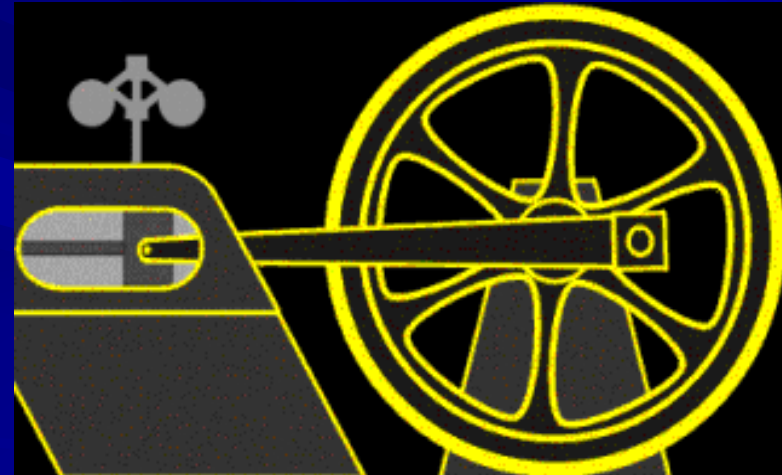
Přednášky z lékařské biofyziky

Bioenergetika pro obor: Nutriční terapeut

2011/2012



JAMES WATT
19.1.1736 - 19.8.1819



Termodynamika I

Termodynamika - fyzikální obor, zabývající se **přeměnami** (a vše co s tím souvisí) **energie v makroskopických systémech**.

(Věda – o **tepelném pohybu hmoty + jevy s tím související, abstraktní věda**)

- Rozvoj: 19. století - parní stroje, výbušné motory, turbíny.
- Začátkem 20. století - základ fyzikální chemie
- Klíč k pochopení zvláštností života – bioenergetika (nerovnovážná termodynamika).

FYZIKÁLNÍ CHEMIE

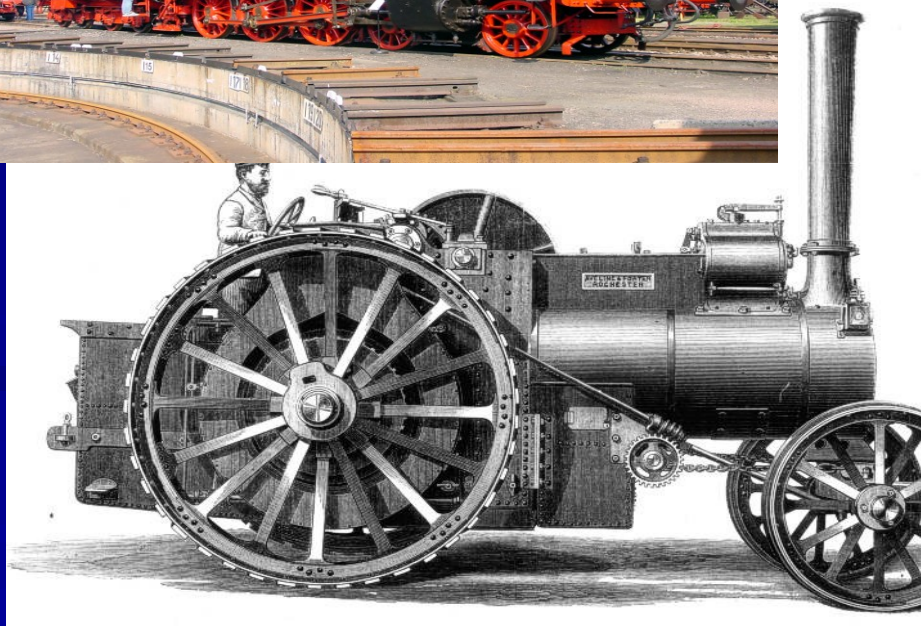
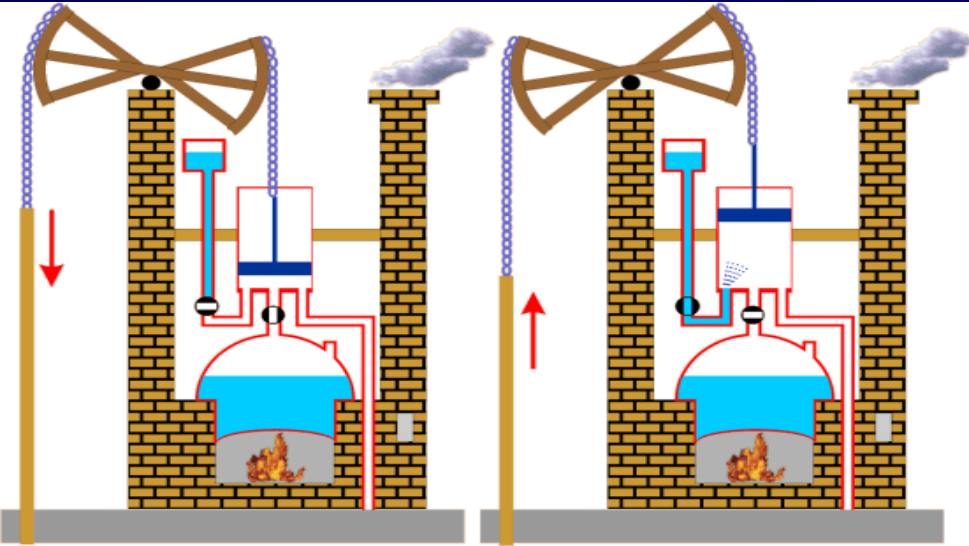
Fyzikální chemie

je obor, který studuje chování látek během chemických reakcí probíhajících za různých podmínek, a které souvisí s jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi. Využívá různých měření.

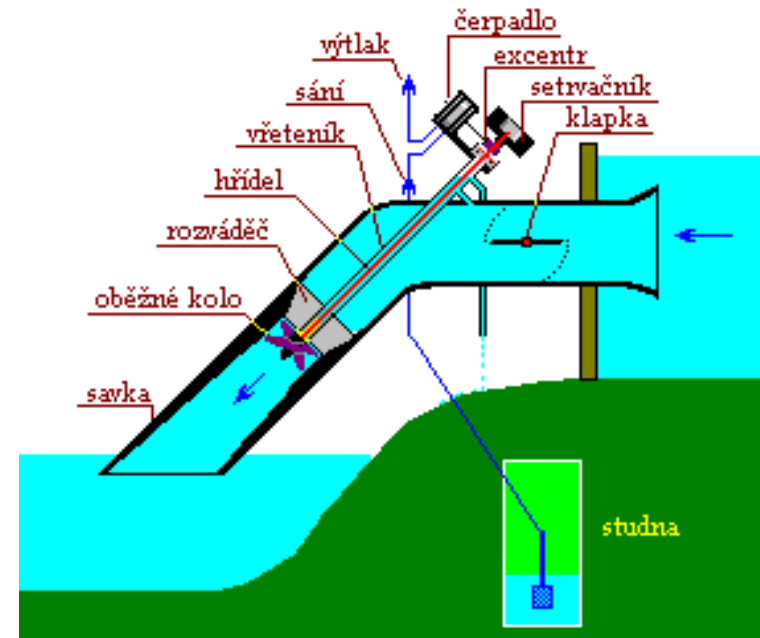
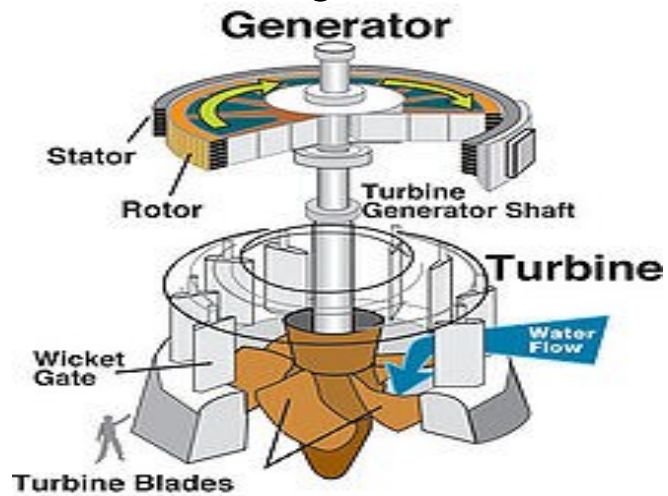
FYZIKÁLNÍ CHEMIE SE ZABÝVÁ:

1. Tuhými látkami, kapalinami a plyny, změnami skupenství, jejich příčinami ve vztahu k struktuře látek.
2. Fyzikální a chemickou strukturou látek, jejich částicemi a vazbami
3. Strukturou atomu a jejím významem ve struktuře látek
4. Měření množství a vztahy pro množství kapalných látek, plynů a tuhých látek
5. Typy chemického chování
6. Popisem látek a chemických reakcí
7. Jak se látky směsují
8. Změnami při chemických reakcích
9. Působením elektrického proudu na látky a získáváním elektrického proudu prostřednictvím reakcí
10. Rozdílnou reaktivitou látek a jejím vysvětlováním

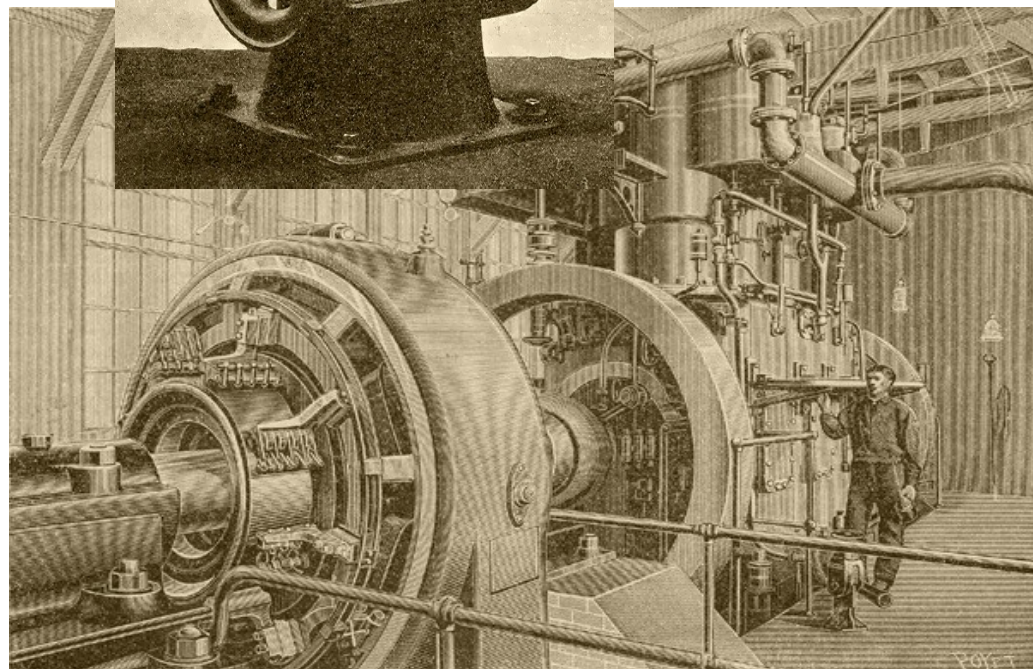
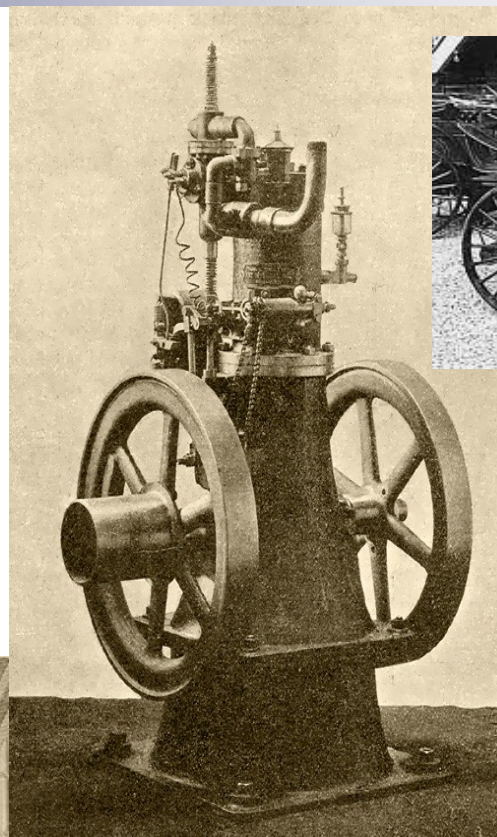
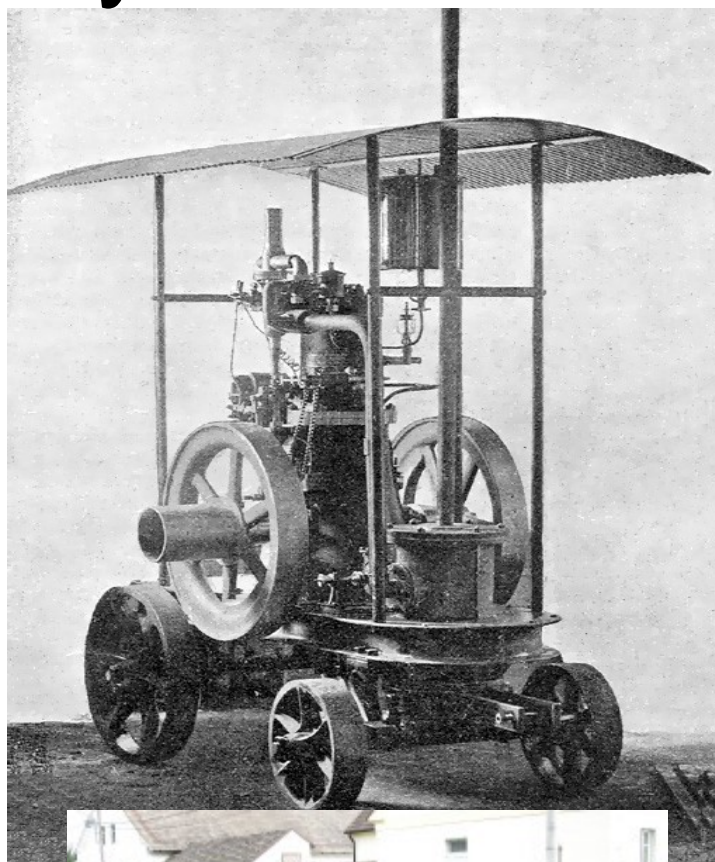
Parní stroje



Turbíny



Výbušné motory



Definice termodynamiky

- Vědní obor – studium energetických poměrů (přeměn) v systémech tvořených mnoha částicemi.
- Věda – studuje tepelný pohyb hmoty (a jevy s tím související).
- Abstraktní fyzikální věda.

Bioenergetika

- Přeměny energie v živých systémech
- Aplikace termodynamiky (získávání, přeměna a využití energie v živých systémech).

Fototrofní organismy

Chemotrofní organismy

Autotrofní organismy (

Heterotrofní organismy

Heterotrofní organismy

Heterotrofie (z řec. heterone - jiný a trophe - výživa) je způsob získávání uhlíku tzv. heterotrofních organismů pro tvorbu vlastních uhlíkatých skeletů organických látek.

Heterotrofní organismy (konzumenti, kteří se živí organickou potravou) nedokážou na rozdíl od autotrofních tyto skelety syntetizovat z anorganických látek, a proto je získávají z jiné organické hmoty. Mezi heterotrofní organismy náleží živočichové, houby, nezelené rostliny a řada mikroorganismů. Často se pojí s chemotrofií (získáváním energie rozkladem organické hmoty vytvořené jinými organismy). Některé organismy kombinují autotrofii i heterotrofii (např. masožravé rostliny), takové nazýváme mixotrofní.

Konzumenti (spotřebitelé) se dělí na primární (býložravci), sekundární (všežravci a masožravci), následují konzumenti vyšších řádů.

Fototrofní organismy

- Fototrofie je způsob získávání energie pro budování organických sloučenin u fototrofních organismů. Tyto organismy **získávají energii ze světla**. Jde zejména o **zelené rostliny, řasy, sinice a fotosyntetizující bakterie**. U všech těchto organismů se fototrofie pojí s autotrofií, existují však i fotoheterotrofní bakterie. Protipólem fototrofie je **chemotrofie**, kdy je **energie získávána rozkladem organických látek vytvořených jinými organismy (organotrofie) či látek anorganického původu (litotrofie)**.

Autotrofní organismy

mají schopnost z anorganických sloučenin
($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) syntetizovat *glukózu* =
fotosyntéza - zelené rostliny, některé řasy
a bakterie ...

Klasická a statická termodynamika

- Starší: Klasická t. (fenomenologická), pouze makrostruktura systémů (19.stol.atomy, molekuly.....neurčité znalosti). Termodynamický systém – spojitě prostředí (kontinuum).
- Modernější: Statistická t. (statická fyzika), matematicky náročnější, vychází z mikrostruktury systému, odvození termodynamických zákonů.
(*v našem výkladu – pouze klasická t., nebude-li uvedeno jinak ,)*

Rovnovážná a nerovnovážná termodynamika

- **Rovnovážná termodynamika** - zabývá se studiem termodynamických systémů blízko rovnovážného stavu

Klasická termodynamika

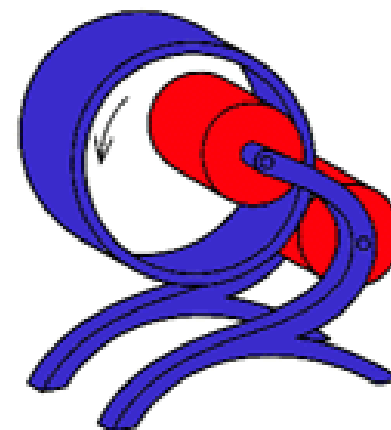
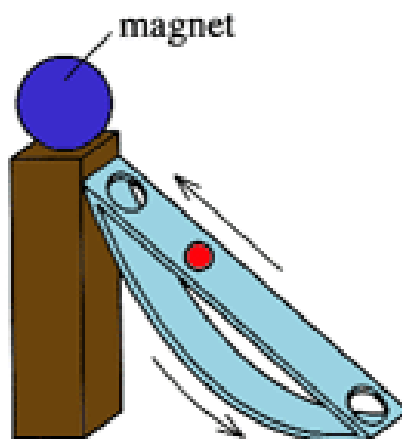
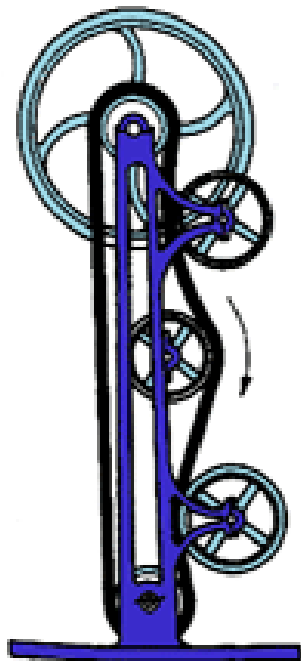
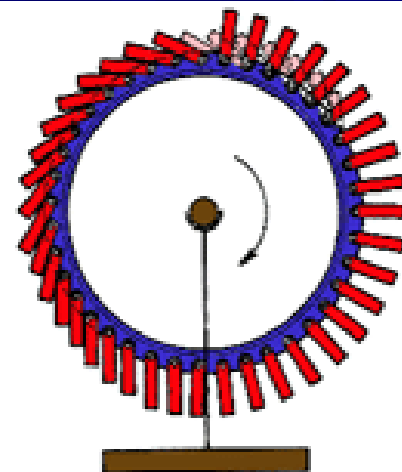
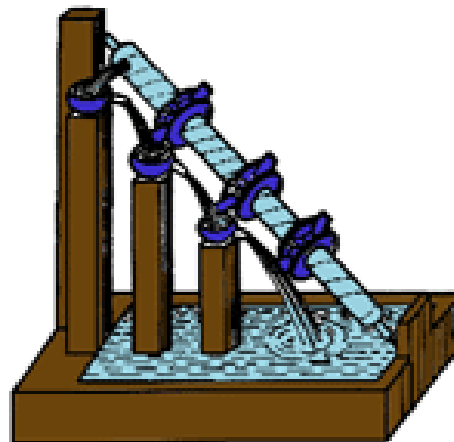
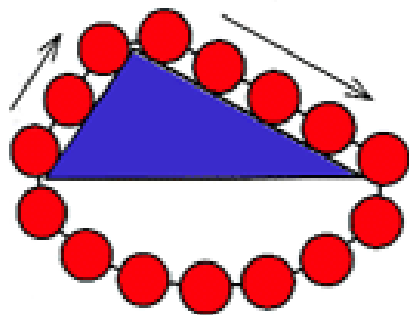
Statistická termodynamika

- **Nerovnovážná termodynamika** - zabývá se studiem termodynamických systémů v nerovnovážném stavu

Termodynamický systém

- = základní pojem termodynamiky
- = každé makroskopické těleso nebo velký soubor integrujících a vzájemně se ovlivňujících částic → člověk (také je termodynamický systém)





Různé historické návrhy perpetua mobile 1. druhu

TERMODYNAMICKÝ SYSTÉM – „SYSTÉM“

- Jakékoliv makroskopické těleso,
- statistický soubor částic,
- soubor interagujících částic,
- v 19. stol. kontinuum,
- počet částic N až ∞ ,
- člověk.

System – dělení dle interakce s okolím

- **Izolovaný systém** nemůže se svým okolím vyměňovat energii ani částice (látku).
- **Uzavřený systém** nemůže vyměňovat částice (látku), energii ano.
- **Otevřený systém** vyměňuje částice (látku) i energii.

Živý sy = otevřený sy (výměna látky i energie v různých formách)

Popis systému

■ Pomocí určitého souboru fyzikálních veličin.

Čím je systém složitější → tím více fyzikálních veličin je potřeba k jeho detailnímu popisu.

Nejméně fyzikálních veličin → **system v rovnovážném stavu** (žádné makroskopické změny, žádné toky látky ani energie – **system izolovaný**)

Rovnovážný stav

- Žádné makroskopické změny
- Žádné toky látky ani energie

Pouze izolovaný systém může být v rovnovážném stavu (nevyměňuje s okolím látku ani energii)

K popisu stačí pouze omezený počet fyzikálních veličin (**veličiny stavové, stavové funkce**)

Nerovnovážný stav

- Některé fyzikální veličiny nejsou v systému definovatelné (tlak- nestálý, teplota – různá na různých místech sy nebo se mění v čase, koncentrace – místní rozdíly).
- Živé systémy = otevřené systémy = pouze ve stavu nerovnovážném.

Existence živých systémů je neslučitelná se stavem termodynamické rovnováhy!

Vratný – reversibilní děj

- Sy prochází posloupností rovnovážných stavů, které se liší pouze nekonečně malými (infinitesimálními) změnami stavových veličin.

V přírodě neprobíhají (ani nemohou).

Změna stavových veličin \leftarrow zásah zvenčí =
zásah do izolovanosti sy = zásah do
rovnovážného stavu.

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. **V přírodě neprobíhají.**
- **Ireverzibilní (nevratný) děj** – posloupnost nerovnovážných stavů, některé stavové veličiny nejsou definovány.
- 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.

Reverzibilní (vratný) děj:

■ Stav A

■ Stav B – stejné stavové veličiny ($A=B$)

Jejich změna po proběhnutí vratného
kruhového děje = 0!!!

Ireversibilní = nevratný děj

= posloupnost nerovnovážných stavů

Čas potřebný k návratu do rovnovážného stavu – relaxační čas

(nová rovnováha nebude totožná s původní rovnováhou, např. po zahřátí termodynam. sy)

Relaxační čas

Izolovaný sy v rovnovážném stavu → makroskopický zásah (např. část zahřejeme) → otevřený sy → obnovení stavu „izolace“ – probíhají nevratné děje, které vedou k obnovení termodynamické rovnováhy. Doba, potřebná k vytvoření nového rovnovážného stavu (není totožný s původním rovnovážným stavem) se nazývá: **relaxační čas**

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 termodynamický systém:
ideální plyn (je dokonale slábnutelný a nemá vnitřního tření).

Stavové veličiny

- Jejich změna po proběhnutí **vratného** kruhového děje je nulová.
- Výchozí stav (kruhového děje) $A =$ konečný stav B (stejně hodnoty stavových veličin)

Teplo (sy vyměňuje s okolím)

Práce (sy koná)

– **nejsou stavové veličiny!!!**

Stavové veličiny

Rovnovážné sy

■ Intenzivní (lokální) stavové veličiny

Rovnovážný systém rozdělený na několik částí, stavové veličiny mají stejné hodnoty ve všech částech sy např. **tlak, teplota**

■ Extenzivní (aditivní, globální) stavové veličiny

(součet jejich hodnot v jednotlivých částech sy = hodnota platná pro celý systém) např. **vnitřní energie, objem.**

Ideální plyn

- Nejjednodušší termodynamický systém, uzavřený v prostoru o objemu V , neomezeně stlačitelný.
- Systém hmotných bodů (předávání energie pružnými nárazy, chaotický, tepelný pohyb).
- Popis v rovnovážném stavu: postačují 3 ze 4 stavových veličin – objem, teplota, tlak a látkové množství (počet molů).

Stavová rovnice ideálního plynu:

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

[Pa, m³, mol, (8,314 J.K⁻¹.mol⁻¹), K]

Platné jen pro rovnovážný stav ideálního plynu

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

Práce termodynamického systému

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

z mechaniky: $\mathbf{W} = \mathbf{F} \cdot \Delta \mathbf{s}$

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

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

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

Práce termodynamického systému

■ Složitější situace: F (podél dráhy s mezi body S_1 S_2 se mění = není konstantní.

Dráhu nutno rozdělit na malé úseky ds v nichž F je konstantní.

Na úseku ds bude vykonána velmi malá práce: $dW = F(s) \cdot ds$

V celém úseku S_1 až S_2

bude celková práce W : integrál pravé strany rovnice ($W = \int F(s) \cdot ds$)

Termodynamické děje

■ izotermický (teplota)

$$(p \cdot V = k., W = RT \cdot \ln(V_2/V_1))$$

■ izobarický (tlak)

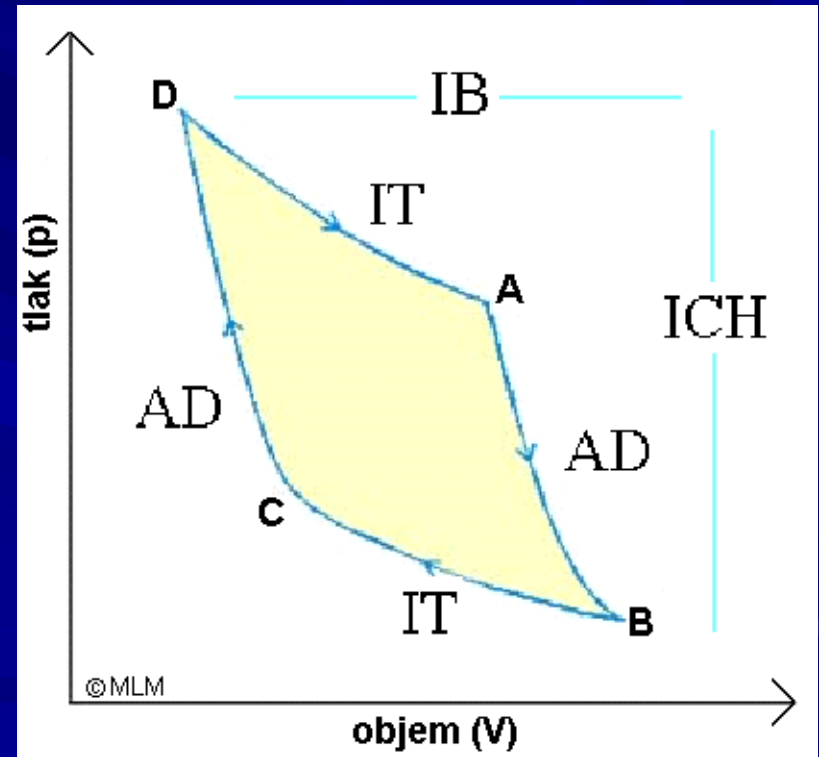
$$(p/T = k., W = p(V_2 - V_1))$$

■ izochorický (objem)

$$(V/T = k., W = 0)$$

■ adiabatický (entropie)

$$(p \cdot V^\kappa = k.)$$



Další důležité veličiny: Teplota

(stavová veličina)

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 (U) systému je součet kinetických energií všech částic, které tvoří systém, a potenciálních energií vzájemných interakcí těchto částic.

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

Celsiova teplota t [$^{\circ}\text{C}$]

(Veličina, která každému tělesu přiřazuje číselnou hodnotu).

Za normálního atmosférického tlaku:

Bod tuhnutí čisté vody = 0 [$^{\circ}\text{C}$]

Bod varu čisté vody = 100 [$^{\circ}\text{C}$]

Změna tlaku \rightarrow změna hodnoty

Termodynamické zákony

= termodynamické věty (důležité při:
objasňování procesů i v živých sy).

Celkem: 3

1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

(formulace zákona zachování energie
užívaná v termodynamice):

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

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

Vnitřní energie je stavovou veličinou, teplo a práce nejsou

1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Při kruhovém ději (vratném) je změna vnitřní energie systému rovna nule.

1. Termodynamický zákon = definice vnitřní energie U (stavová fce)

Podle tohoto zákona je celková energie izolované soustavy stálá (časově neměnná). Energie tedy v izolované soustavě nemůže samovolně vznikat ani zanikat. Druh energie se však může měnit, např. mechanická energie může přecházet na teplo apod.

1. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Jiné vyjádření:

- Nelze sestrojít stroj, který by trvale dodával mechanickou energii, aniž by spotřeboval odpovídající množství energie jiného druhu.
- Tato formulace říká, že neexistuje tepelný stroj, který by porušoval zákon zachování energie tím, že by cyklicky vykonával mechanickou práci bez přísunu energie. Takový stroj se označuje jako perpetuum mobile prvního druhu.

Zákon, určující směr procesů v izolovaných sy:

- Plyn rozptýlený do prostoru z nádoby se samovolně do ní nevrátí...
- Kolo se neroztočí teplem zahřáté brzdy...
...při obrácení toku času – ireversibilní procesy, sledy nerovnovážných stavů, jejich průběh není možné obrátit.

2. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

zákon určující “směr” nevratných dějů, jeden z nejdůležitějších zákonů, platných ve všech přírodních vědách (určující přirozený směr, kterým přírodní procesy probíhají).

Dvě ekvivalentní formulace:

- 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.

- Existuje aditivní stavová funkce **entropie S**, definovaná vztahem:

Změna entropie je dána množstvím tepla, které systém přijal při teplotě T.

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

obecně

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

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

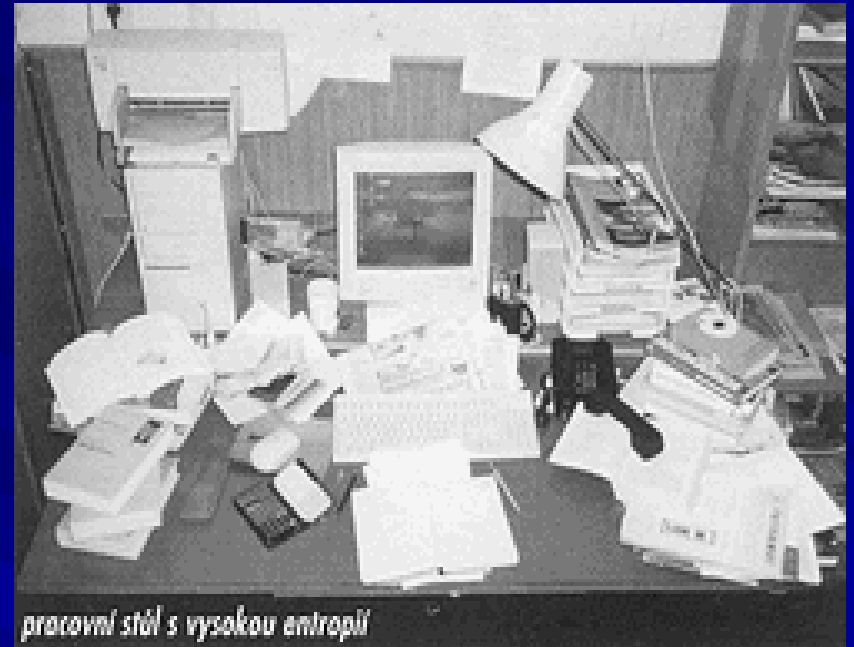
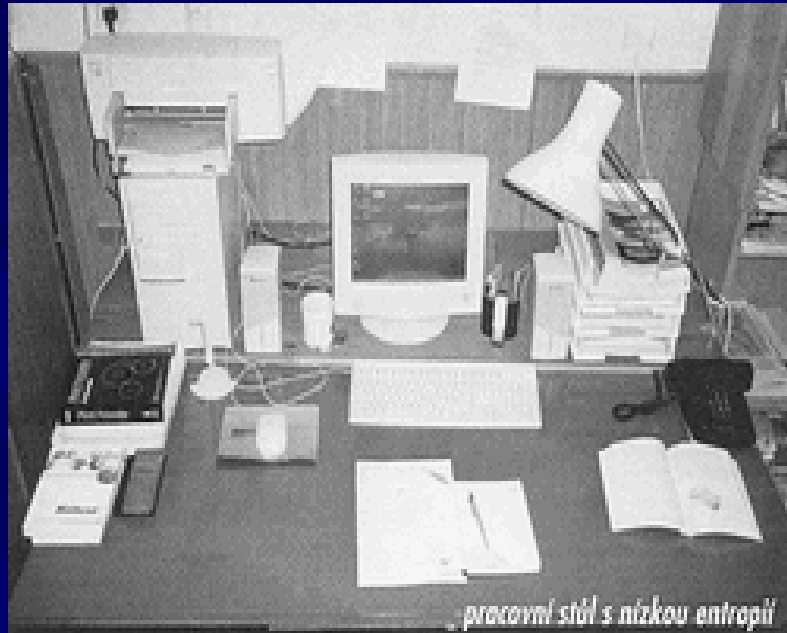
V izolovaném systému (teplo se nevyměňuje s okolím, $Q = 0$)

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

II. Zákon termodynamiky = zákon růstu entropie

Zákon růstu entropie

- V izolovaném sy může být změna entropie ΔS pouze kladná \rightarrow entropie může pouze růst. Procesy v izolovaném sy \rightarrow směřují k ustavení termodynamické rovnováhy \rightarrow entropie dosahuje svého maxima!



3. TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

Z biofyzikálního pohledu není významný!

Popisuje chování látek v blízkosti absolutní nulové teploty

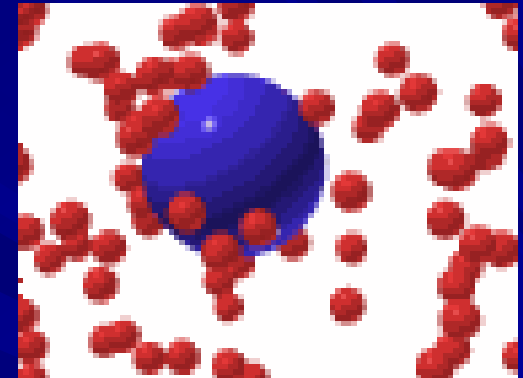
Při absolutní nulové teplotě je entropie čisté látky pevného nebo kapalného skupenství rovna nule.

Čistou pevnou látku nelze konečným pochodem ochladit na absolutní nulovou teplotu.

Žádným konečným procesem nelze systém přivést k teplotě absolutní nuly.

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.



Statická fyzika

Základní charakteristika systému – **energie**

Celková energie částic i jejich počet je konstantní!

ale

všechny částice nemají stejnou energii!!!

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.

Fázový prostor

■ Šestirozměrný

3 složky = **vektor polohy** (trojrozměrný prostor)

3 složky = **vektor hybnosti** → ve směru souřadnicových os: x , y , z .

Vhodně zvolené části fázového prostoru („šestirozměrné“ krychle)

= **buňky fázového prostoru**

Obsazovací čísla

- Soubor N – částic s celkovou energií E
- → možno rozdělit do buněk obsazených vždy N_i částicemi s E_i energií
- V jednotlivých buňkách budou vždy částice s blízkými hodnotami hybnosti a polohy.
- $N_i =$ obsazovací čísla

Rozdělovací funkce

■ Funkce určující poměr obsazovacích čísel k počtu všech částic

= **rozdělovací funkce**

(např. Maxwell – Boltzmannova)

$N = \sum N_i = \text{konst.}$ a $E = \sum N_i \cdot E_i = \text{konst.}$

Střední (průměrná) energie částic je dána:

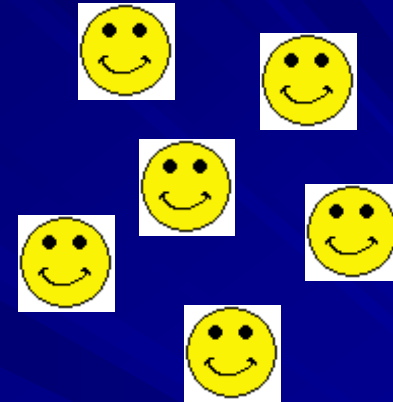
$$\underline{E_s} = \frac{1}{N} \cdot \sum N_i \cdot E_i$$

Makrostav a mikrostav

Věty (axiómy - soudy, 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).
- Makrostavy se od sebe liší svými obsazovacími čísly.

„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 a mikrostav

■ V praxi nerozlišujeme statistickou pravděpodobnost (počet mikrostavů) graficky, ale výpočtem!!!

■ $W = N! / \dots\dots\dots$

$$\begin{aligned} P(B_1|A) &= \frac{P(A|B_1)P(B_1)}{P(A|B_1)P(B_1) + P(A|B_2)P(B_2)} = \\ &= \frac{0,75 \cdot 0,40}{0,75 \cdot 0,40 + 0,50 \cdot 0,60} = 0,50. \diamond \end{aligned}$$



Počet částic	Způsob rozdělení	W
5	2 : 3	10
5	1 : 4	5
10	4 : 6	210
10	1 : 9	10
10	5 : 5	210
20	8 : 12	125 970
20	1 : 19	20
20	10.10	184 756

MAKROSTAV 1:

●●●●●●	
--------	--

Počet mikrostavů: 1

ABCDEF	
--------	--

MAKROSTAV 2:

●●●●●●	●
--------	---

Počet mikrostavů: 6

ABCDE	F
-------	---

ABCDF	E
-------	---

ABCEF	D
-------	---

ABDEF	C
-------	---

ACDEF	B
-------	---

BCDEF	A
-------	---

MAKROSTAV 3:

●●●●	●●
------	----

Počet 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:

●●●	●●●
-----	-----

Počet 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:

●●	●●●●
----	------

Počet mikrostavů: 15

MAKROSTAV 6:

●	●●●●●
---	-------

Počet mikrostavů: 6

MAKROSTAV 7:

	●●●●●●
--	--------

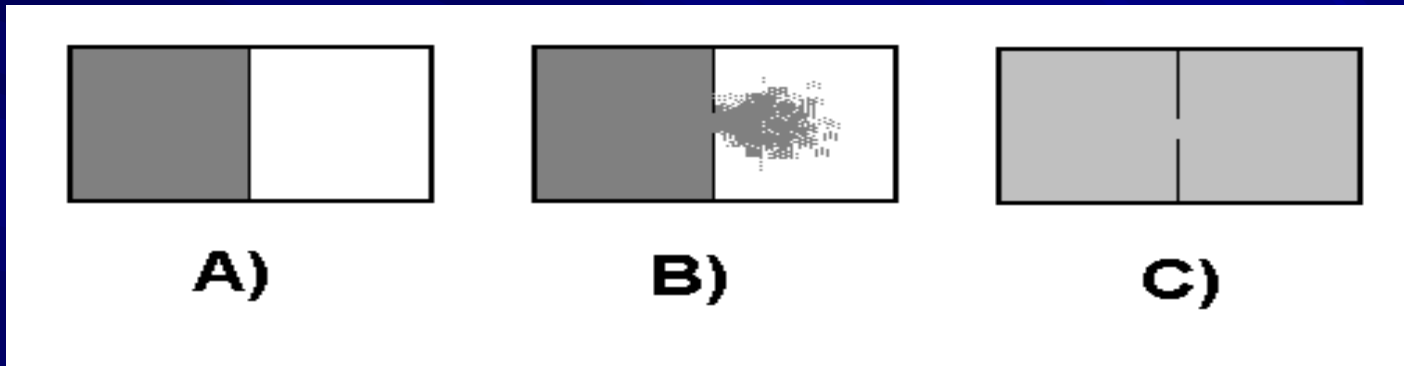
Počet mikrostavů: 1

STATISTICKÁ PRAVDĚPODOBNOST

- Největší statistickou pravděpodobnost – makrostav 4 (tvořen největším počtem mikrostavů) = představa o „rovnoměrném“ rozdělení částic do buněk fázového prostoru.
- Čím méně je rozložení rovnoměrné = menší statistická pravděpodobnost
- Stavy uspořádané: nerovnoměrné rozdělení částic.
- Stavy neuspořádané: rovnoměrné rozdělení částic.

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:

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

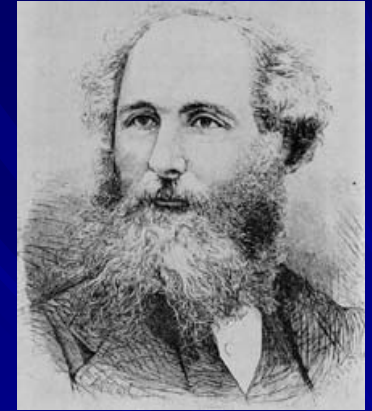
ENTROPIE JE MÍROU NEUSPOŘÁDANOSTI SYSTÉMU.

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

Maxwellův démon



- **Maxwellův démon** je myšlenkový experiment, který formuloval anglický fyzik James Clerk Maxwell, jeden ze zakladatelů statistické fyziky. Jeho základem je problematická (přinejmenším v Maxwellově době) fyzikální definice pojmu informace.

Historie

- Myšlenku předložil Maxwell v roce 1867, kdy pracoval na teoretických základech nauky o teple a kinetické teorie látek. Představme si dvě nádoby se stejným plynem o stejné teplotě. Jsou rozděleny přepážkou, ve které sídlí malý diblík. Rychlosti molekul jsou podle Maxwell-Boltzmannova rozdělení náhodné, ale diblík každou z nich zná a propouští rychlé molekuly jedním směrem a pomalé druhým. Po čase tak rychlé molekuly zůstanou v jedné nádobě a pomalé v druhé, čímž vznikne rozdíl teplot v nádobách, ze kterého lze získat mechanickou či jinou práci. Při prvním pohledu se všechny tyto úvahy zdají být v pořádku a je tedy podle nich možné aspoň teoreticky sestavit perpetuum mobile prvního druhu – „démon“ je pouze metafora, která měla poukázat na obecnost Maxwellových úvah, ve skutečnosti může jít o jakýkoliv mechanickou či elektrickou závoru.

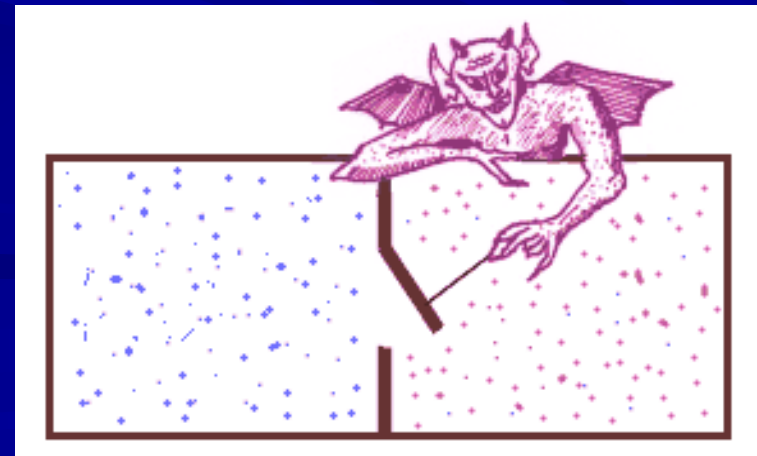
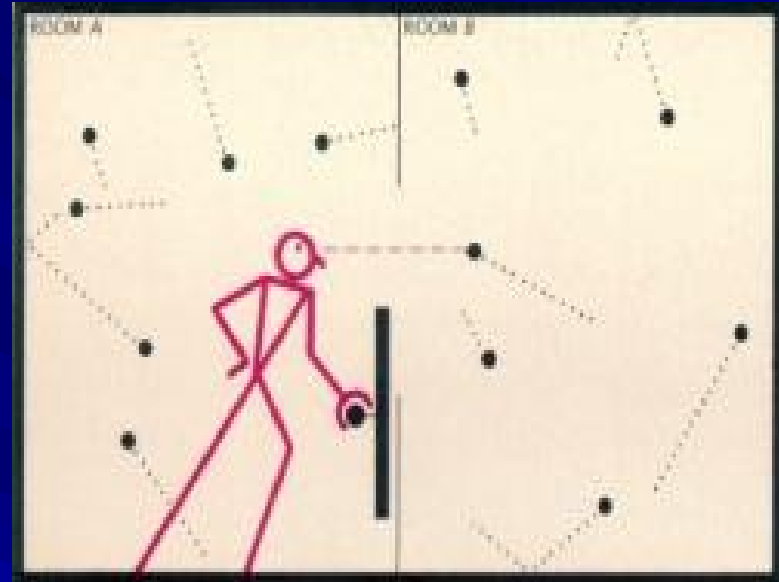
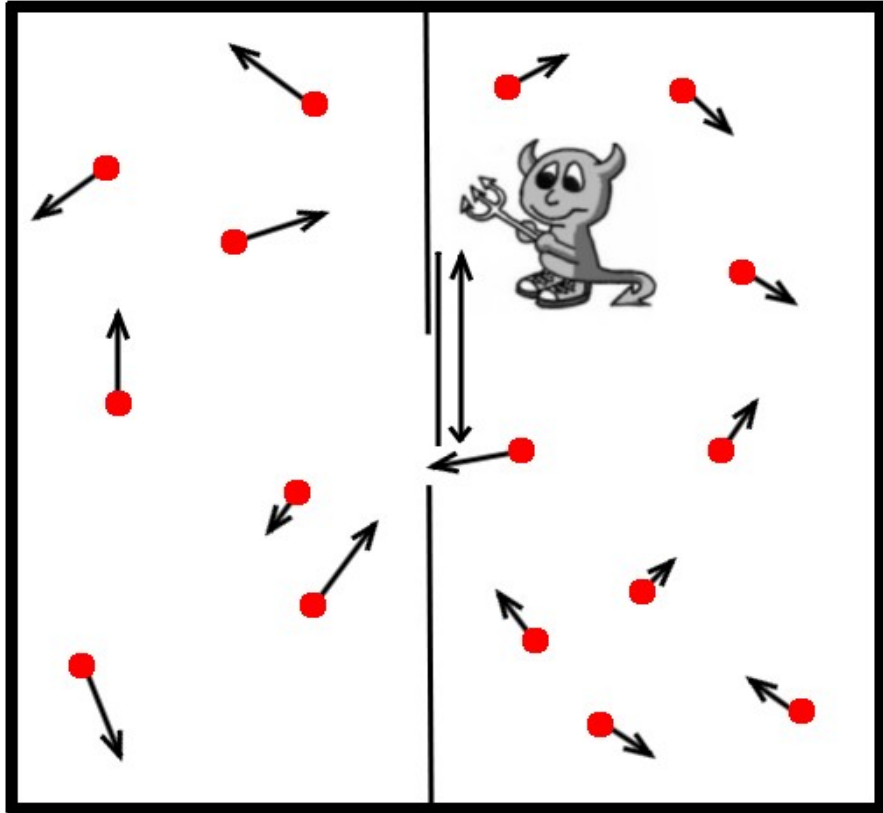
Řešení

- Tuto fyzikální hádanku nakonec rozřešili fyzikové [Leo Szilard](#) a [Marian Smoluchowski](#) ve 20. století. Porušení zákona zachování energie je „možné“ pouze v případě, že do soustavy nezahrnujeme démona samotného. Problém spočívá v tom, že k tomu, aby znal rychlost molekul, musí ji nejprve změřit, což je fyzikální proces, při kterém je spotřebovávána energie. Nejjednodušším „démonem“ je obyčejná jednosměrná záklopka, kterou dokážou otevřít pouze molekuly s dostatečně velkou kinetickou energií. Přitom však z ní část ztratí na samotné otevření – přemění se na teplo. Tepelný gradient se sice vytvoří, ale součet celkových ztrát ze všech otevření záklopky bude větší, než energie, kterou z něj lze získat pro práci.

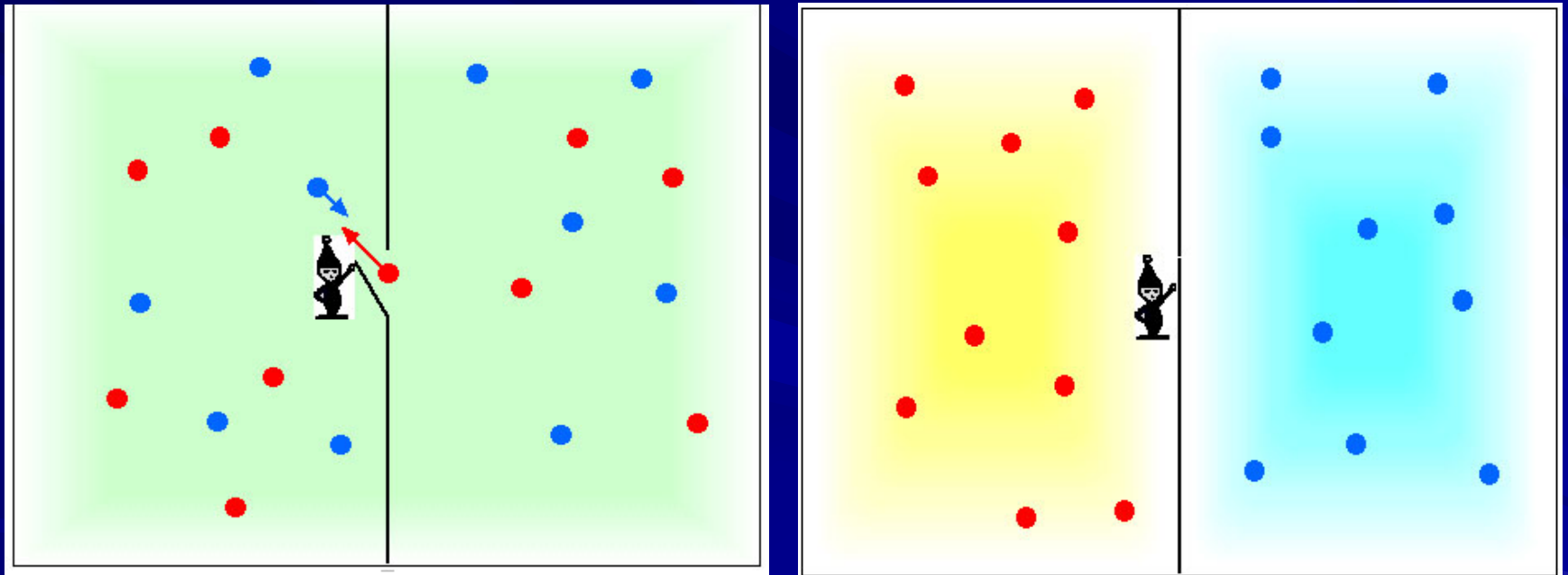
Využití

- Z výše uvedeného vyplývá, že sestavit pohon, využívající informace o rychlosti molekul a vytvářející gradient teplot, principiálně lze, bude však málo účinný. Zcela určitě to platí v makrosvětě, kde jej předčí například spalovací motory. Vědci však uvažují o využití tohoto principu k pohonu nanostrojů v měřítkách, kde lze jen obtížně sestavit například obdobu elektrického nebo spalovacího motoru.
- Prvním příslibem se stal nedávný pokus japonských vědců na Tokijské univerzitě, kteří využili Brownova pohybu pro zjišťování rychlosti částic v koloidním roztoku a úlohy démona se zhostil syntetický polymerní útvar stočený do řetízku tak, že roztáčet se na jednu stranu pro něj bylo výhodnější, než na druhou. Účinnost takového systému je okolo 28 %, což souhlasí s teoretickou předpovědí.

Maxwellův démon



Maxwellův démon



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

Děkuji za pozornost!