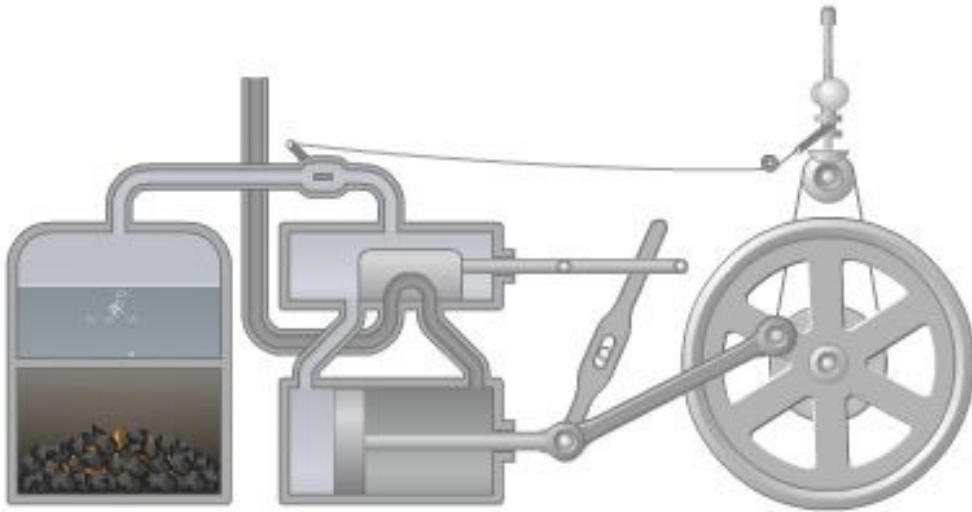


Parní stroj, úžasné síly zdroj

aneb (nejen)
Termodynamika

II



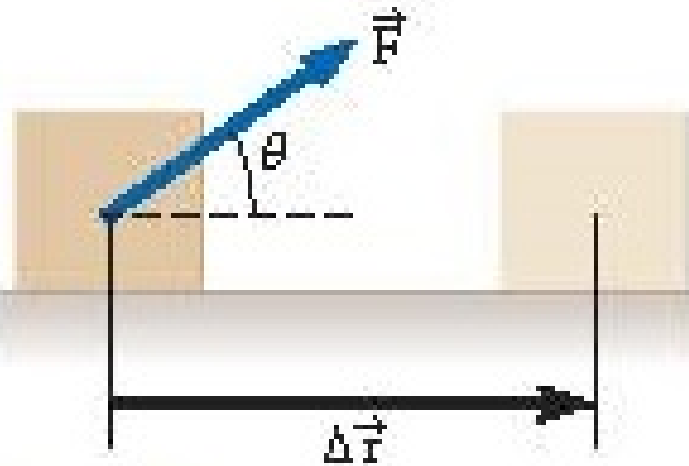
Energie podle Wikipedie

- **Energie** je skalární fyzikální veličina, která popisuje schopnost hmoty (látky nebo pole) konat práci. Může se měnit z jednoho druhu na jiný, nelze ji vytvořit ani zničit.

Definice práce

$$W = F \cos \theta \Delta r$$

K **mechanické** práci přispívá jen síla ve směru pohybu



Když stojím s batohem na zádech, nekonám mechanickou práci

Ve svazech probíhají procesy, které udržují svaly napnuté a které spotřebovávají energii

Potenciální energie

- změna **potenciální energie** = práce vykonaná proti působení konzervativní síly (např. gravitační)
- lze měřit změnu, závisí na počáteční a konečné poloze tělesa, nikoli na cestě
- **referenčnímu bodu** se připíše hodnota U_0 definicí, pro ostatním se určí definicí
- **konzervativní síly**: lze zavést potenciální energii, např. gravitace, elektrická síla
- **nekonzervativní síly**: ostatní, např. tření

Příklady potenciální energie

- energie v polích konzervativních sil (gravitační pole, pole elektrických nábojů, stlačená pružina, ...)
- energie chemických vazeb
 - (energie molekuly - energie izolovaných atomů)
- vazebná energie atomových jader
 - $-[M_J c^2 - (n_p m_p + n_n m_n) c^2] =$
 $-[(M_J - n_p m_p - n_n m_n) c^2]$

Zákon zachování mechanické energie (ZZME)

- **kinetická energie** $mv^2/2$
- ZZME plyne z Newtonových zákonů
- **kinetická energie + potenciální energie = konstanta** (ta závisí na počáteční podmínce)
- místo konstanty může být energie dodaná/odebraná tělesu (systému)

Vnitřní energie látky kinetického původu

- vzájemný pohyb atomů a molekul v plynech a kapalinách
- rotace atomů a molekul v plynech a kapalinách
- kmity atomů v molekulách a pevných látkách
- její změna souvisí s měrným teplem (teplo potřebné na ohřátí látky o 1 K)

Formy energie

- mechanická energie
- potenciální energie
- elektrická práce (přenos nábojů)
- vazebná energie molekul, atomových jader
- energie světla (energie fotonu = hf)
- teplo
- a mnoho dalších ...

Vnitřní energie systému

- součet množství energie v jejích jednotlivých formách

Table 1.1 Energy per Gram

Object	Calories (or watt-hours)	Joules	Compared to TNT
Bullet (at sound speed, 1000 ft/s)	0.01	40	0.015
Battery (auto)	0.03	125	0.05
Battery (rechargeable computer)	0.1	400	0.15
Flywheel (at 1 km/s)	0.125	500	0.2
Battery (alkaline flashlight)	0.15	600	0.23
TNT (the explosive trinitrotoluene)	0.65	2700	1
Modern high explosive (PETN)	1	4200	1.6
Chocolate chip cookies	5	21,000	8
Coal	6	27,000	10
Butter	7	29,000	11
Alcohol (ethanol)	6	27,000	10
Gasoline	10	42,000	15
Natural gas (methane, CH ₄)	13	54,000	20
Hydrogen gas or liquid (H ₂)	26	110,000	40
Asteroid or meteor (30 km/s)	100	450,000	165
Uranium-235	20 million	82 billion	30 million

Note: Many numbers in this table have been rounded off.

System a okolí



System může být:

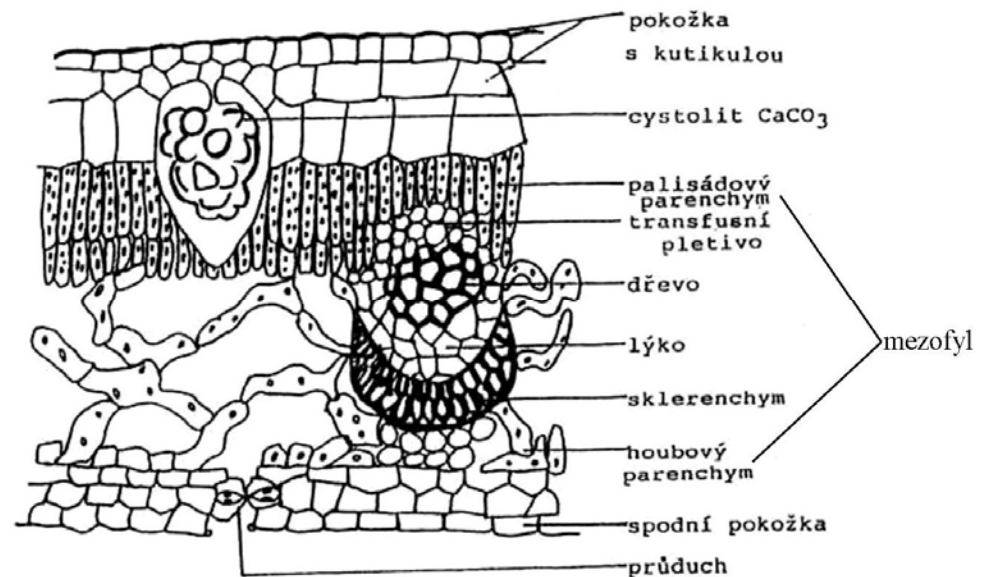
- otevřený (hrnek)
- uzavřený (konvice)
- izolovaný (termoska)

Hranice systému jsou někdy:

- jasné – stěny termosky
- méně jasné – hladina kapaliny
- nejasné – list stromu (dýchací otvory, prostory mezi buňkami)

Je nádoba součástí systému ?

Příčný řez listem fíkovníku pryžodárného (*Ficus elastica*)

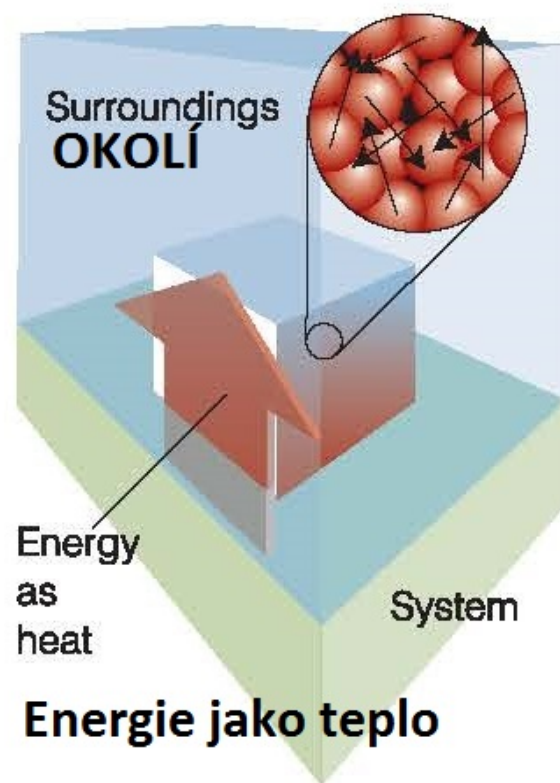
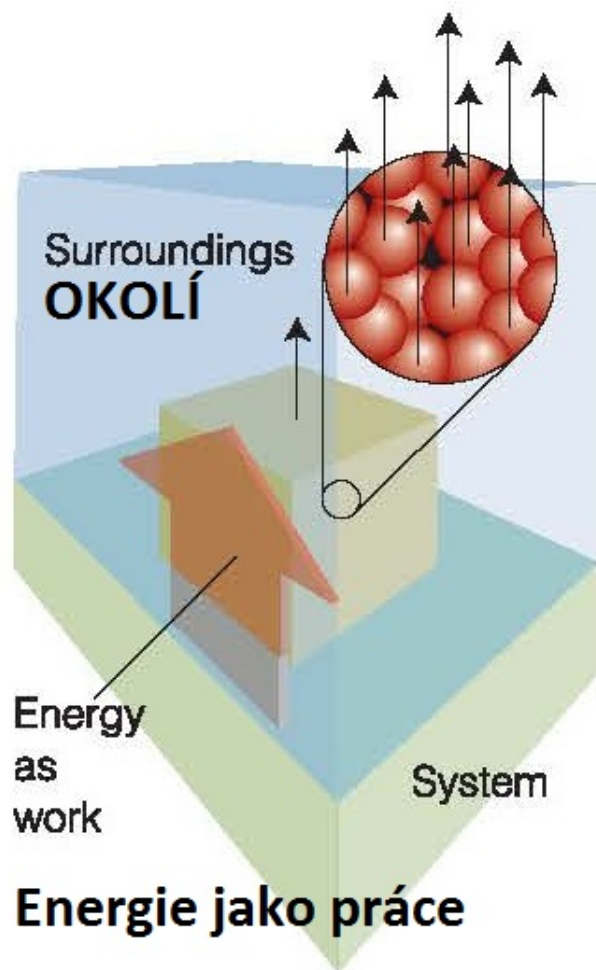


kolaterální uzavřené svazky cévní

Stav systému

- je určen řadou parametrů = **stavových veličin**:
složení, množství, objem, teplota, tlak, náboj, ...
- tyto parametry nejsou nezávislé, ale jsou
svázány stavovými rovnicemi
příklad pro ideální plyn: $pV = nRT$,
 $R=8,31 \text{ J/(mol K)}$ univerzální plynová konstanta
- vnitřní energie je stavová veličina

Výměna energie ve formě práce a tepla



1. hlavní věta termodynamiky

- $dU = \delta Q + \delta W$
 dU změna vnitřní energie
 δQ kousek tepla
 δW kousek práce
- je to zákon zachování energie

Mikrostav a makrostav

MIKROSTAV	MAKROSTAV
R R R R	0 L
L R R R	1 L
R L R R	
R R L R	
R R R L	
R R L L	2 L
R L R L	
R L L R	
L R R L	
L R L R	
L L R R	
R L L L	3 L
L R L L	
L L R L	
L L L R	
L L L L	4 L

Kombinatorika

- kolika způsoby mohu setřídít **n** karet

$$n.(n-1).(n-2) \dots 2.1 = n!$$

$$32! = 263 \ 10^{33} =$$

$$= 263 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000 \ 000$$

- Kolika způsoby vylosuji **r** karet z balíčku s **n** kartami

$$nC_r = n! / ((n-r)! r!)$$

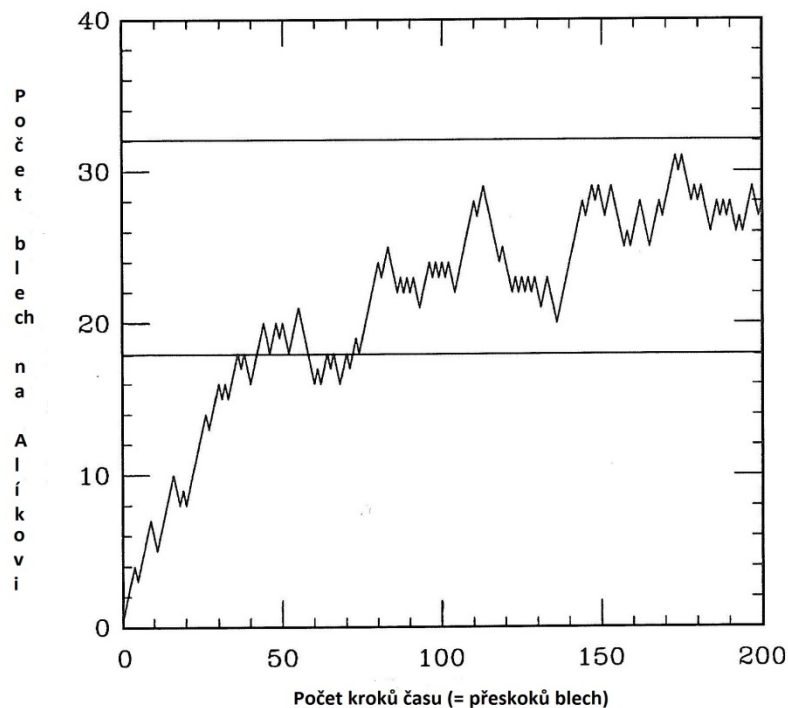
$$49 \ C \ 7 = 85 \ 900 \ 584$$

$$49 \ C \ 9 = 2 \ 054 \ 455 \ 634$$

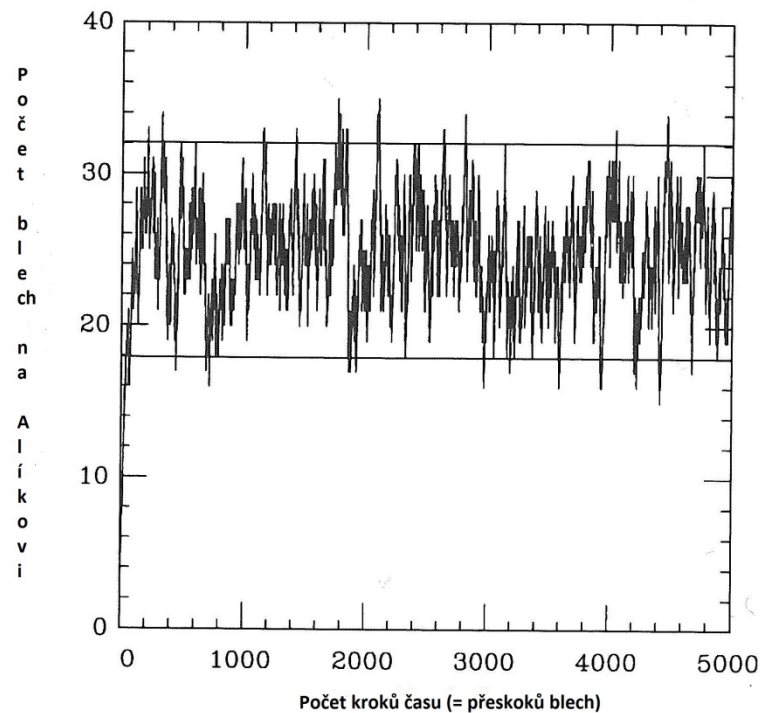
$$50 \ C \ 25 = 126 \ 410 \ 606 \ 437 \ 752$$

Blechy podle manželů Ehrenfestových

Začátek (Alík je odblesný)



Po nějaké době



N blech

- při větším počtu blech, lze považovat N za sudé číslo
- průměrně je na Alíkovi $N/2$ blech
- ve více než 95% případů je na Alíkovi $N/2 \pm \sqrt{N}$ blech
- pro $N=50$ je to 18 až 32,
pro $N=100$ je to 40 až 60

Molekuly v 1 litru vzduchu

- počet molekul vzduchu v 1 litru je $2,7 \cdot 10^{22}$
- nádobu o objemu 1 litr rozdělím myšlenkově na dvě stejné části, v každé je v průměru $1,35 \cdot 10^{22} \pm 1,16 \cdot 10^{11}$ molekul
- S rostoucím počtem molekul jsou fluktuace stále méně významné $\frac{N}{\sqrt{N}} \rightarrow 0$

0. hlavní věta termodynamiky

- Libovolný izolovaný systém se po určité době dostane do rovnováhy a už z ní nevyjde
- Jsou-li systémy A a B vzájemně v rovnováze a současně systémy B a C jsou vzájemně v rovnováze, pak jsou i systémy A a C vzájemně v rovnováze

Entropie

- statistická definice: $S = k \ln(W)$
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ Boltzmannova konstanta
- W počet mikrostavů
- funkce přirozený logaritmus:
 $\ln(10^n) = n \ln(10) = n \cdot 2,30259$
 $\ln(ab) = \ln(a) + \ln(b)$
- termodynamická definice: $dS = \frac{\delta Q}{T}$
Sem zadejte rovnici.

2. hlavní věta termodynamická

- Clausius: Je nemožné cyklickým procesem přenášet teplo z chladnějšího tělesa na teplejší, aniž se přitom změní jisté množství práce na teplo
- nelze mít stroj se účinností 100%
- při cyklických termodynamických dějích entropie neklesá

Gibbsův potenciál

- $G = U + pV - TS$
- při konstantní teplotě a tlaku: $dG = -T dS$

Ekvipartiční teorém

- v rovnováze připadá na kvadratický stupeň volnosti energie $kT/2$
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
- kinetická energie jedné molekuly
 $mv^2/2 = m (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) / 2 = 3 kT/2$

Ergodická hypotéza

- středování přes stavy dá stejný výsledek jako středování přes čas

Manželé Ehrenfestovi



Paul
1880 - 1933



Tatjana Alexejevna
1876 - 1964

Funkční model parního stroje

- <http://www.parnistroj.czweb.org/schema.html>

Literatura

- Štoll: Dějiny fyziky, Prometheus, Praha 2009
- Atkins: Galileo's Finger, Oxford University Press, Oxford 2003
- Atkins: Čtyři zákony, které řídí vesmír, Academia, Praha 2012
- Atkins, de Paula: Physical Chemistry for the Life Sciences, 2.ed., W. H. Freeman and Company, New York, 2011

Počty a hmotnosti částic

- 1 mol má tolik částic jako je atomů ve 12 g uhlíku izotopu C^{12} (izotop má v jádře 6 protonů a 6 neutronů)
- Avogadrovo číslo $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$
- hmotnost atomu vodíku $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
- hmotnost atomu uhlíku $1,99 \cdot 10^{-26}$ kg
- objem 1 molu vzduchu je 22,4 litru
- počet molekul vzduchu v 1 litru je $2,69 \cdot 10^{22}$