

Fyzika Zeme

- Úvodný kurz pre poslucháčov prvého ročníka bakalárskych programov v rámci odboru geológia
- 5. prednáška – základy termodynamiky, stavové veličiny, prenos tepla, plyny

Obsah prednášky:

- úvodné poznámky k termodynamike
- stavové veličiny (teplota, tlak, objem, hustota)
- prenos tepla
- geotermika
- plyny (ideálny plyn)
- stavová rovnica pre ideálny plyn
- reálny plyn)

THERMODYNAMICS AND STATISTICAL MECHANICS

(States of Matter – David L. Goodstein)

1.1 INTRODUCTION: THERMODYNAMICS AND STATISTICAL MECHANICS OF THE PERFECT GAS

Ludwig Boltzmann, who spent much of his life studying statistical mechanics, died in 1906, by his own hand. Paul Ehrenfest, carrying on the work, died similarly in 1933. Now it is our turn to study statistical mechanics.

Perhaps it will be wise to approach the subject cautiously. We will begin by considering the simplest meaningful example, the perfect gas, in order to get the central concepts sorted out. In Chap. 2 we will return to complete the solution of that problem, and the results will provide the foundation of much of the rest of the book.

The quantum mechanical solution for the energy levels of a particle in a box (with periodic boundary conditions) is

$$\varepsilon_{\mathbf{q}} = \frac{\hbar^2 \mathbf{q}^2}{2m} \quad (1.1.1)$$

where m is the mass of the particle, $h = 2\pi\hbar$ is Planck's constant, and $\mathbf{q}$ (which we shall call the wave vector) has three components: x , y , and z .

termika

Náuka o teple - časť mechaniky zaoberajúcej sa atómovým a molekulovým pohybom hmoty, súbormi častíc, tepelnými zákonmi majúcimi štatistický charakter.

Rozdelenie termiky

- Termometria – definícia stupníc teploty a rôznych metód jej merania.
- Kalorimetria – meranie tepla chemických reakcií alebo fyzikálnych zmien.
- Termodynamika – zákony vzájomnej premeny tepla a iných foriem energie.

Základné pojmy: teplota – miera tepelného stavu telies,

teplo – objektívna príčina tohto stavu, forma energie, pohybová a vzájomná polohová energia elementárnych častíc látok, atómov a molekúl.

termodynamika

Termodynamika sa zaoberá **vnútornou energiou** systémov (najmä tepelnou) a riadi sa určitými zákonmi. Je disciplínou popisujúcou zákonitosti tepla a tepelných dejov, vzťahy medzi veličinami - popisuje **makroskopický** stav tepelnej sústavy a zmeny týchto veličín pri fyzikálnych dejoch spojených s výmenou tepla medzi sústavou a jej okolím.

Dôležité sú tzv. **termodynamické zákony**.

Skupenstvo - makroskopický systém:

je charakteristika fyzikálneho stavu hmoty (najmä usporiadanosti častíc v nej) podľa teploty a tlaku. Závisí od vzťahu medzi kinetickou energiou častíc a energiou ich vzájomného pôsobenia.

termodynamika

Termodynamické zákony:

1. **termodynamický zákon**: Nemôže existovať zariadenie (stroj), ktorý by trvale konal prácu bez zmeny vnútornej energie (napr. celkovej energie pohybu molekúl) alebo energie okolia (tzv. **perpetuum mobile 1. druhu**).

- je to v podstate zákon zachovanie energie aplikovaný v termodynamike

2. **termodynamický zákon**: Nemôže existovať zariadenie (stroj), trvale konajúci prácu iba „na účet“ trvalého ochladzovania telesa (tzv. **perpetuum mobile 2. druhu**).

ekvivalentná formulácia: **Samovoľne** môže teplo (tepelná energia) prechádzať iba z telesa teplejšieho na chladnejšie, nikdy opačne (dôležité je slovo „samovoľne“).

3. **termodynamický zákon**: Absolútnu nulu teploty nie je možné dosiahnuť nijakým termodynamickým procesom v konečnom čas (tzv. Nernstov teorém).

Pozn.:

Najnižšia, teoretická možná hodnota: absolútna nula: $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$

stavové veličiny

Stav látok popisujú tzv. stavové veličiny (SV):

- teplota (T)
- tlak (p)
- objem (V)
- hustota (ρ)
- hmotnosť (m), resp. molárna hmotnosť ($M_m = m/n$)

kde n je látkové množstvo

- vnútorná energia (U)
- entropia (S)

Molárna (staršie mólová) hmotnosť udáva hmotnosť jednotkového látkového množstva látky (1 mólu) – jednotka [g/mol], niekedy [kg/kmol]. Entropia je miera vnútorného usporiadania látky.

teplota

Teplota (termodynamická teplota) je jednou zo siedmich základných veličín sústavy SI. Je to stavová veličina opisujúca strednú kinetickú energiu častíc. Zmenou teploty sa menia vlastnosti rôznych látok (napr. tlak, objem, elektrický odpor, ...).

Teplota vo fyzike sa meria v jednotkách Kelvin [K], v bežnom živote sa z praktických dôvodov častejšie používa **stupeň Celzia** alebo **stupeň Fahrenheita**.

Spodné ohraničenie teplotnej stupnice je tzv. **absolútna nula**. Označuje termodynamickú teplotu, pri ktorej dosiahne entropia systému minimálne hodnoty. Podľa medzinárodnej dohody je definovaná ako 0 K na Kelvinovej stupnici, resp. $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ alebo $-459.67\text{ }^{\circ}\text{F}$.

Pozn.: Tzv. normálna (izbová) teplota: 20°C .

teplota

Zhrnutie najpoužívanějších stupníc teploty:

Kelvinova stupnica T_K (K)

! Používa sa len Kelvin a nie stupeň Kelvina.

Celsiova stupnica T_C (°C)

(absolútna veľkosť 1 stupňa v Celsiovej a Kelvinovej stupnici je rovnaká t.j. $1K = 1^\circ C$) prevod: $T_C = T - 273.15$

Fahrenheitova stupnica T_F (°F)

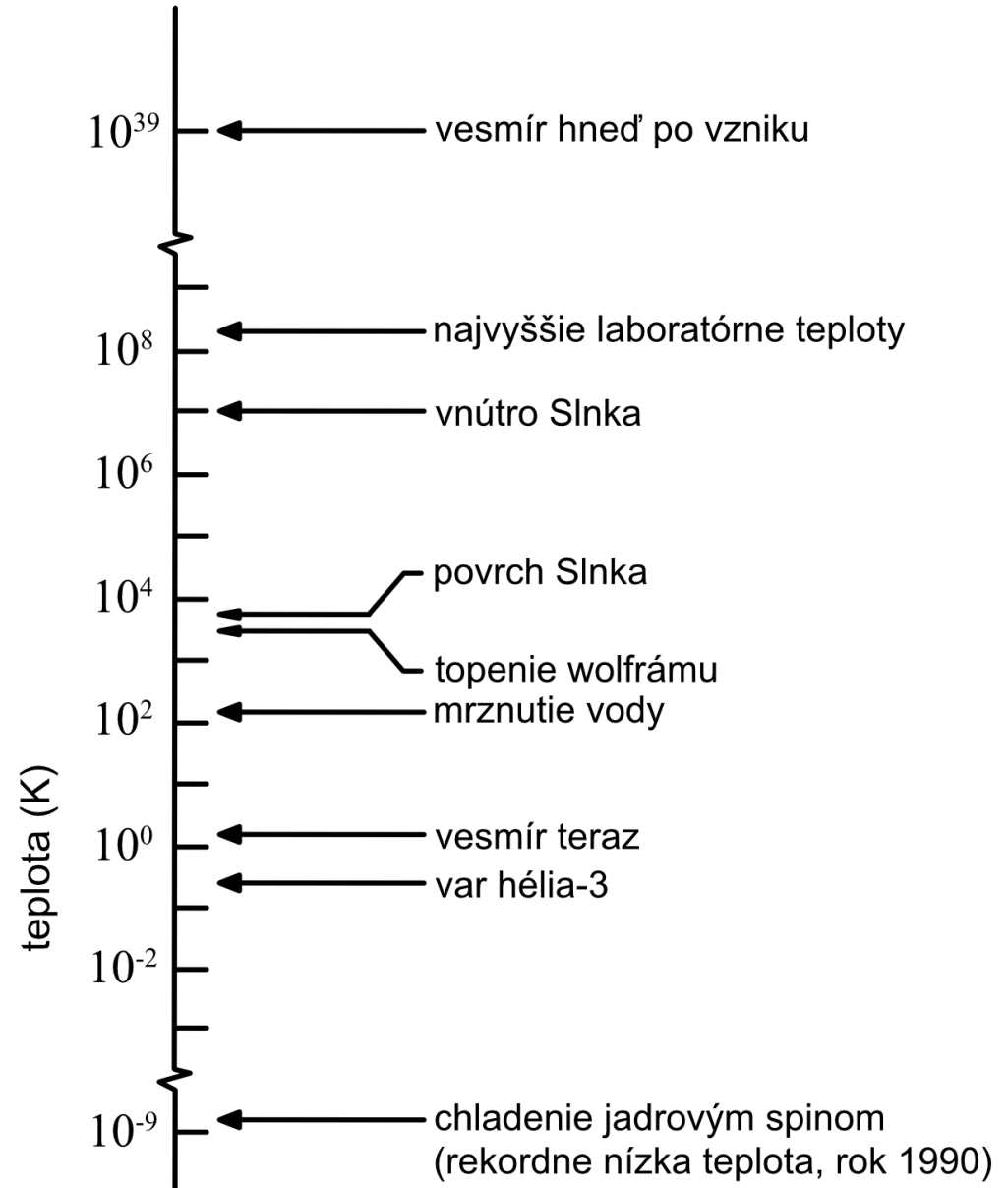
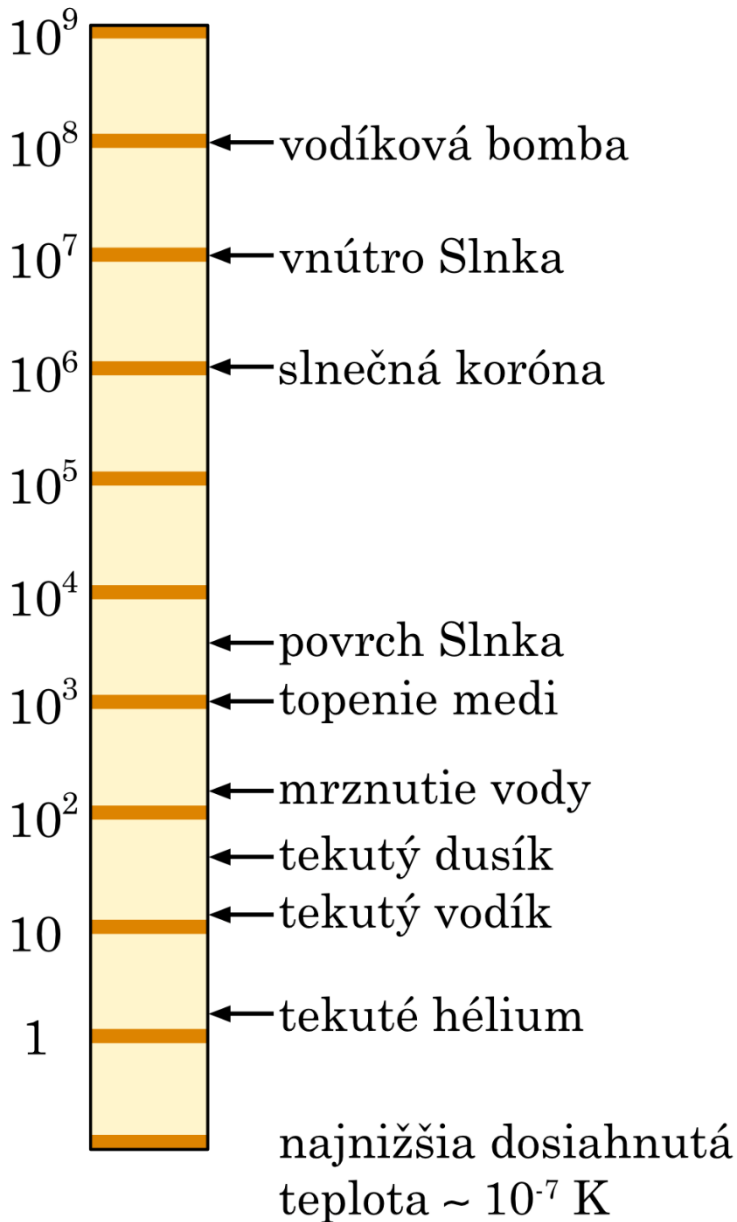
prevod: $T_F = 9/5 T_C + 32$ (prírastok na $9^\circ F$ je $5^\circ C$)

Niektoré dôležité
teploty
(v K, °C a °F)

Teplota:	K	°C	°F
varu vody	373,15	100	212
telesná	310,15	37	98,6
v miestnosti	330,15	20	68
mrznutia (vody)	273,15	0	32
absolútna nula	0	-273,15	-459,67

teplota

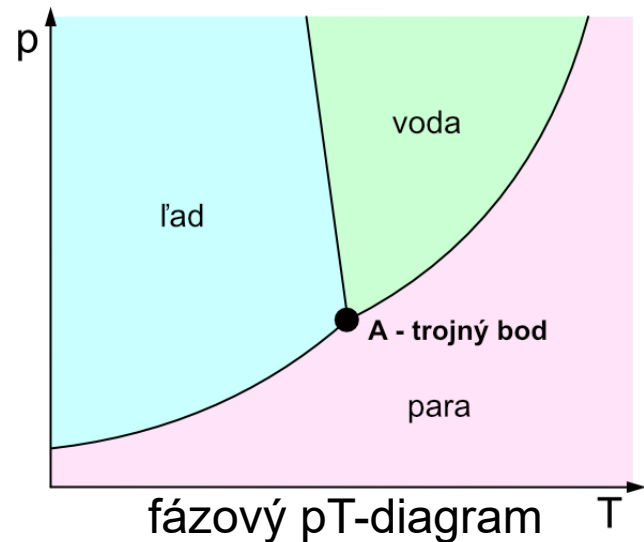
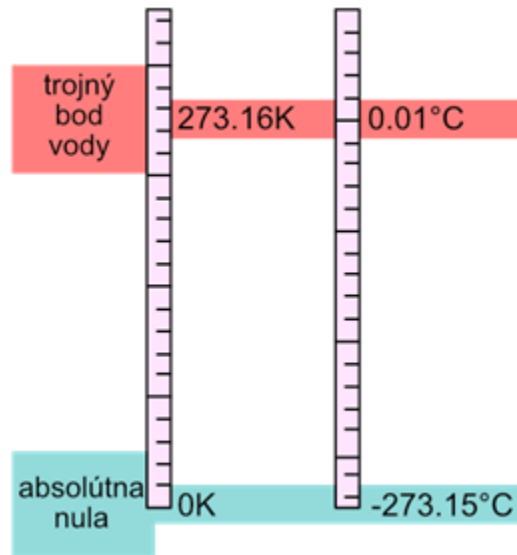
Teplota (K)



teplota

Trojný bod látky je hodnota teploty a tlaku vo fázovom diagrame, pri ktorom súčasne existujú všetky tri skupenstvá tejto látky (plynné, kvapalné a pevné) za termodynamickkej rovnováhy. Voda tento stav dosiahne pri teplote **0,01 °C** a tlaku **611.73 Pa**.

Trojný bod vody sa používa na definíciu Kelvina, jednotky SI termodynamickkej teploty. Kelvin je $1/273.16$ termodynamickkej teploty trojného bodu vody.



teplota

trojný bod rôznych látok

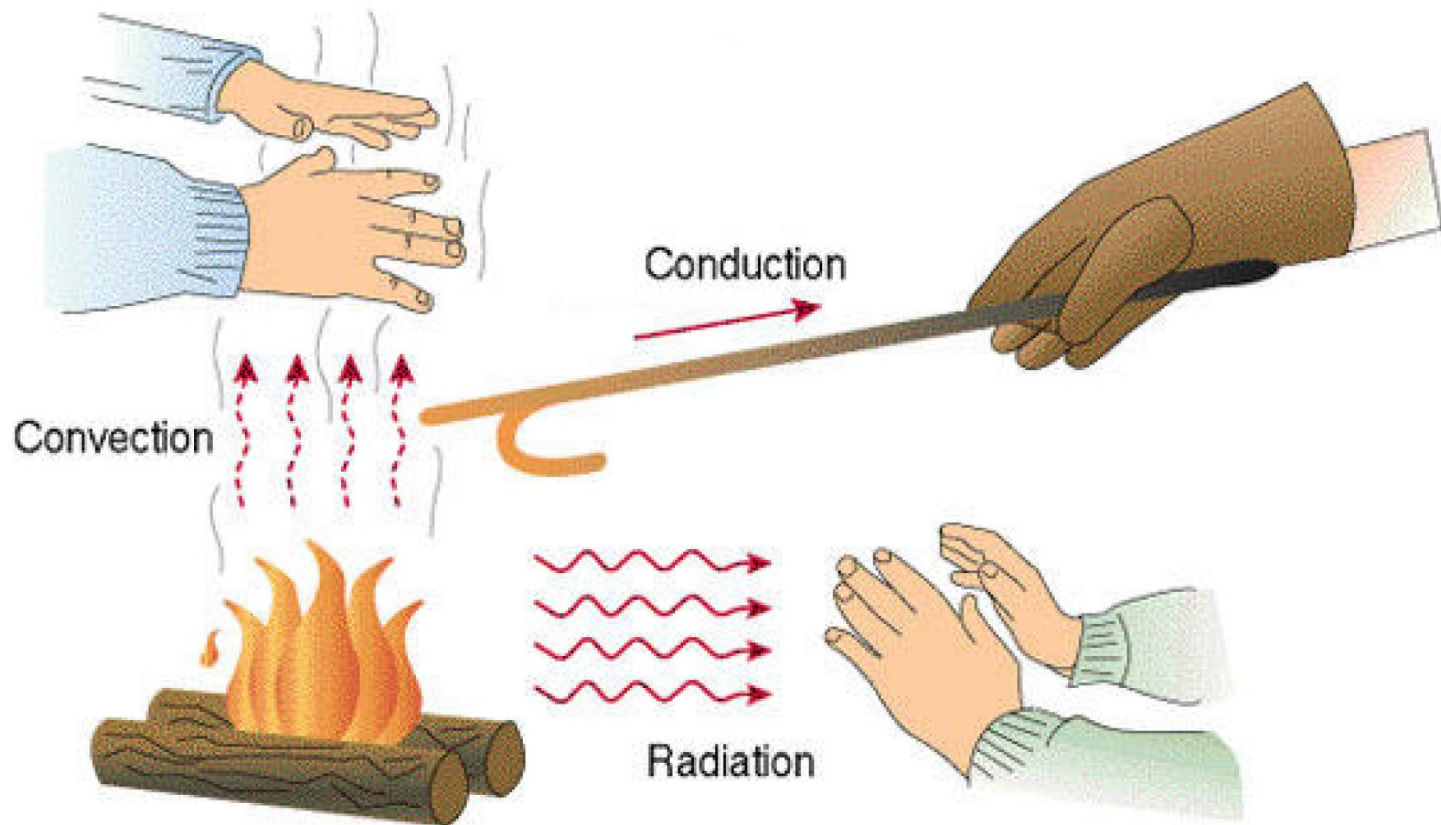
Látka	Teplota [°C]	Tlak [kPa]
etanol	−123	4.3×10^{-7}
kyslík	−218.7916	0.14625
ortuť	−38.8344	1.65×10^{-7}
oxid uhličitý	−56.60	517
platina	1 772	2×10^{-4}
radón	−71	70 kPa
uhlík (grafit)	4 492	10 132
vodík	−259.3467	7.04 kPa

Pozn.: normálny (atmosférický) tlak je 101.325 kPa.

prenos tepla

Mechanizmy prenosu tepla:

1. vedenie (cez pevné látky) - *conduction*
2. prúdenie (prenos tepla hore – kvapalina, plyn) – *convection*
3. žiarenie (EM prenos) - *radiation*



prenos tepla

vedenie tepla

TABLE 17.5 Thermal conductivities

Material	k (W/m K)
Diamond	2000
Silver	430
Copper	400
Aluminum	240
Iron	80
Stainless steel	14
Ice	1.7
Concrete	0.8
Glass	0.8
Styrofoam	0.035
Air (20°C, 1 atm)	0.023

Tepelná vodivosť k – vlastnosť látky viesť teplo. Predstavuje rýchlosť, s ktorou sa teplo šíri zo zahriatej časti látky do chladnejšej.

Jednotka: $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

Najviac dobrých vodičov tepla je medzi kovmi (aj vysoká el. vodivosť).

Výnimkou je diamant.

Využitie je napr. na chladenie elektronických obvodov (chipov).

Dobrá tepelná vodivosť zapríčiňuje aj pocit chladu na kovovej stoličke oproti drevenej.

Vzduch a plyny sú slabé vodiče tepla.

prenos tepla

konvekcia - prúdenie



V plynoch a kvapalinách dochádza ku vzájomnému pohybu jednotlivých častí, ktoré majú rozdielnu teplotu a tým, aj rôznu hustotu (prejav vnútornej energie) - tým sa prenáša teplo.

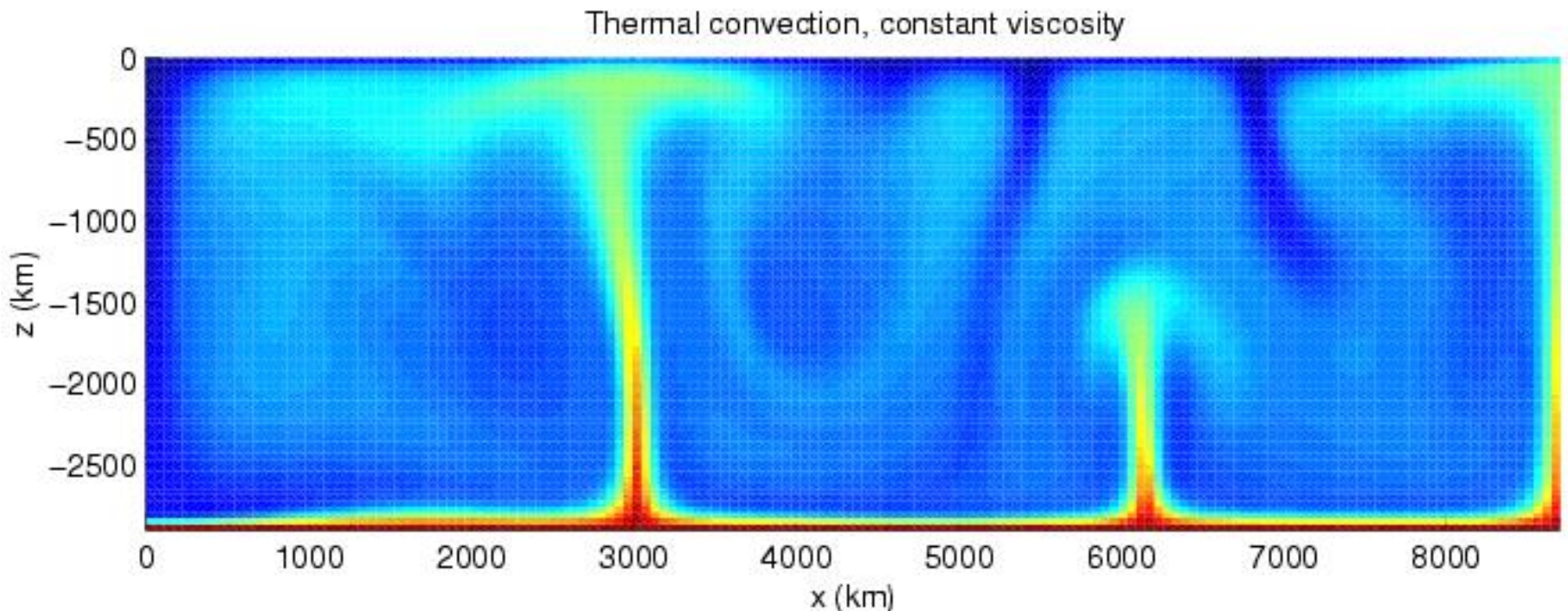
Je to celé dôsledkom skutočnosti, že kvapaliny a plyny (najmä vzduch) sú slabé vodiče tepla.

Konvekcia je značne rýchlejšia vo vode ako vo vzduchu (príkladom je napr. možnosť dlhodobého prežitia v 20 stupňovom vzduchu a úmrtia na hypotermiu v 20 stupňovej vode).

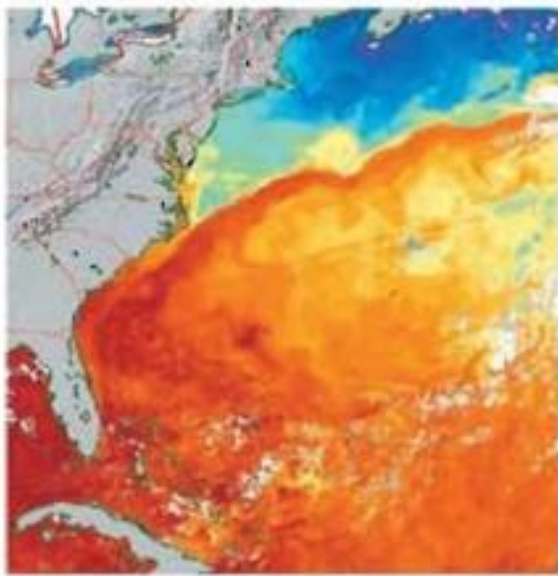
prenos tepla

konvekcia - prúdenie

Význam konvekcie v platňovej tektonike – výnos teplého plášťového materiálu smerom nahor (najmä v oblasti oceánskych chrbtov, ale aj na viacerých bodových miestach – tzv. *plumes*).



numerický model konvekcie plášťových hmôt (teplé – červené farby zodpovedajú vyšším teplotám, studené – modré nižším)



**satelitná
termo-snímka
západnej časti
Atlantického
oceánu**



rozdiel cca 6 °C

prenos tepla

radiácia - vyžarovanie

Radiácia je proces, pri ktorom látka emituje do priestoru energiu vo forme elektromagnetického žiarenia. Na rozdiel od vedenia tepla a konvekcie sa môže prostredníctvom radiácie prenášať teplo aj vo vákuu.

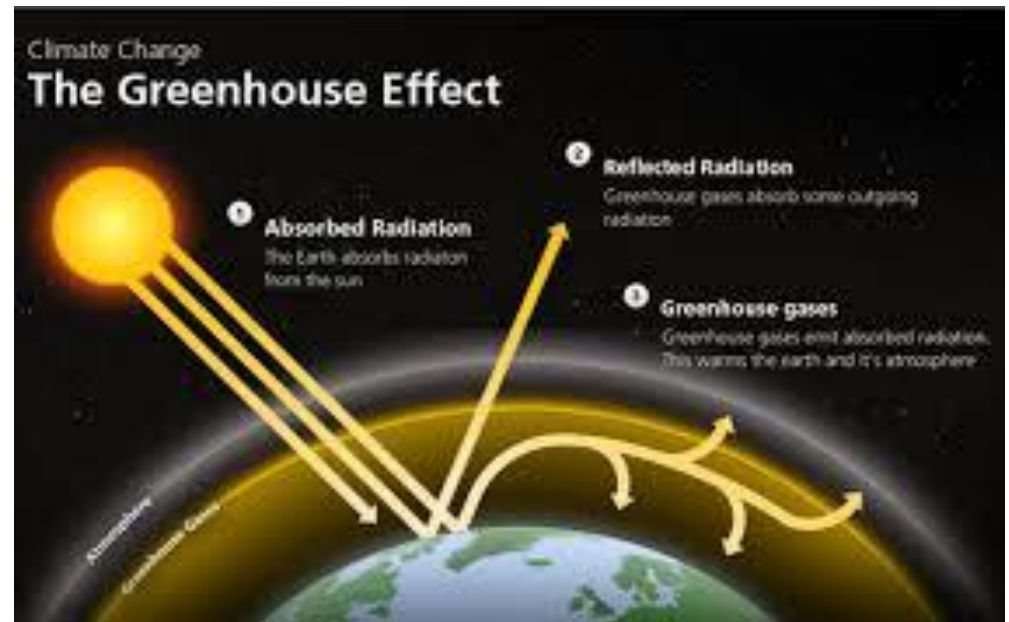
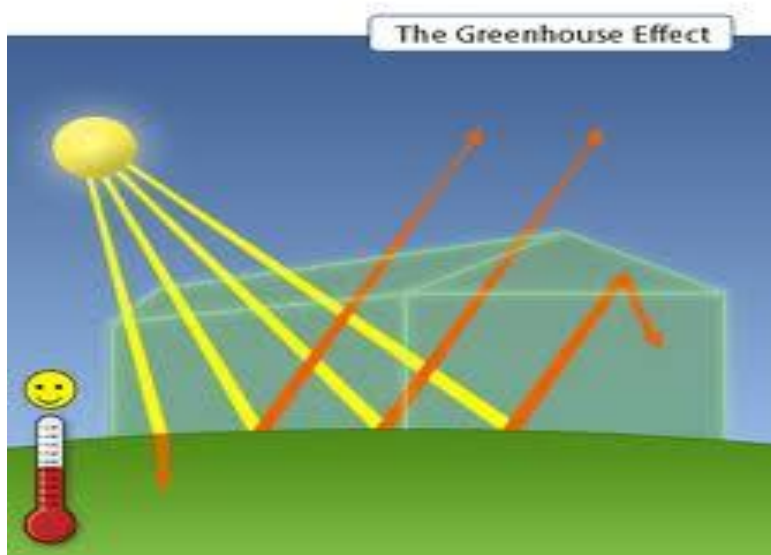
Prenesená energia závisí od niekoľkých faktorov:

teplota telesa (platí tu tzv. Planckov zákon),
farba povrchu – najmenšie množstvo tepla je vyžarované strieborne lesklými povrchmi, najväčšie čiernymi (napr. termosky a termo-hrnčeky majú často povrch striebornej farby)
obsah plochy – vyžiarená energia je priamo úmerná veľkosti povrchu vyžarujúceho telesa.

prenos tepla

radiácia - vyžarovanie

skleníkový efekt



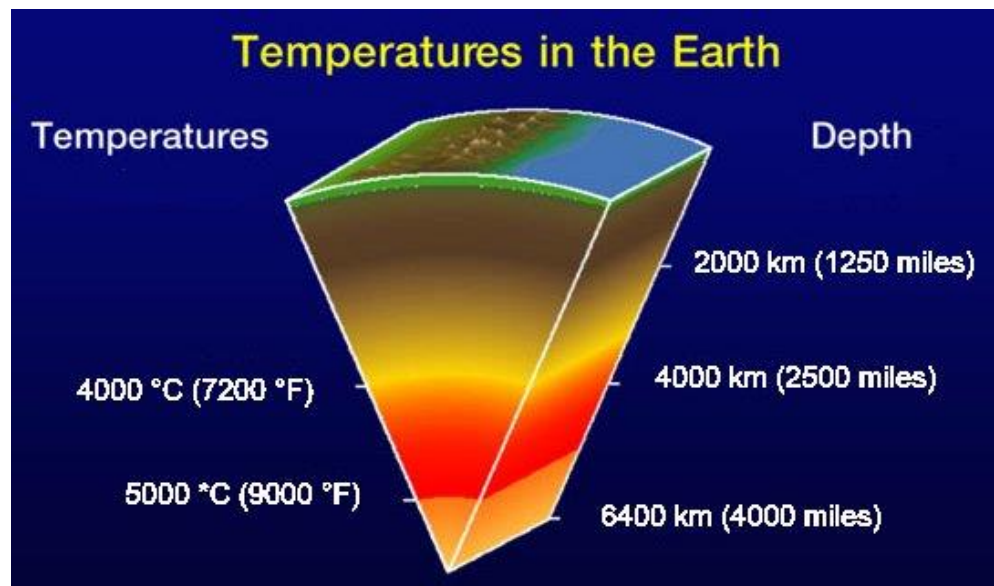
Termálna radiácia hrá významnú úlohu pri globálnom otepľovaní, nakoľko je ovplyvnená prítomnosťou najmä vodnej pary a kysličníka uhličitého v zemskej atmosfére.

geotermika

Geotermika je geofyzikálna metóda, ktorá vyšetruje teplotné pole Zeme (medzi iným meranie teploty na povrchu zemského telesa a určovanie hustôt tepelného toku).

Hlavné zdroje tepla v Zemi:

- rádiogénne teplo
- geochemické teplo
- spôsobené rastúcim litostatickým tlakom
- „počiatočné“ teplo Zeme
- teplo zo slnečného žiarenia



Prenos tepla:

- uplatňuje sa prenos tepla vedením a konvekciou

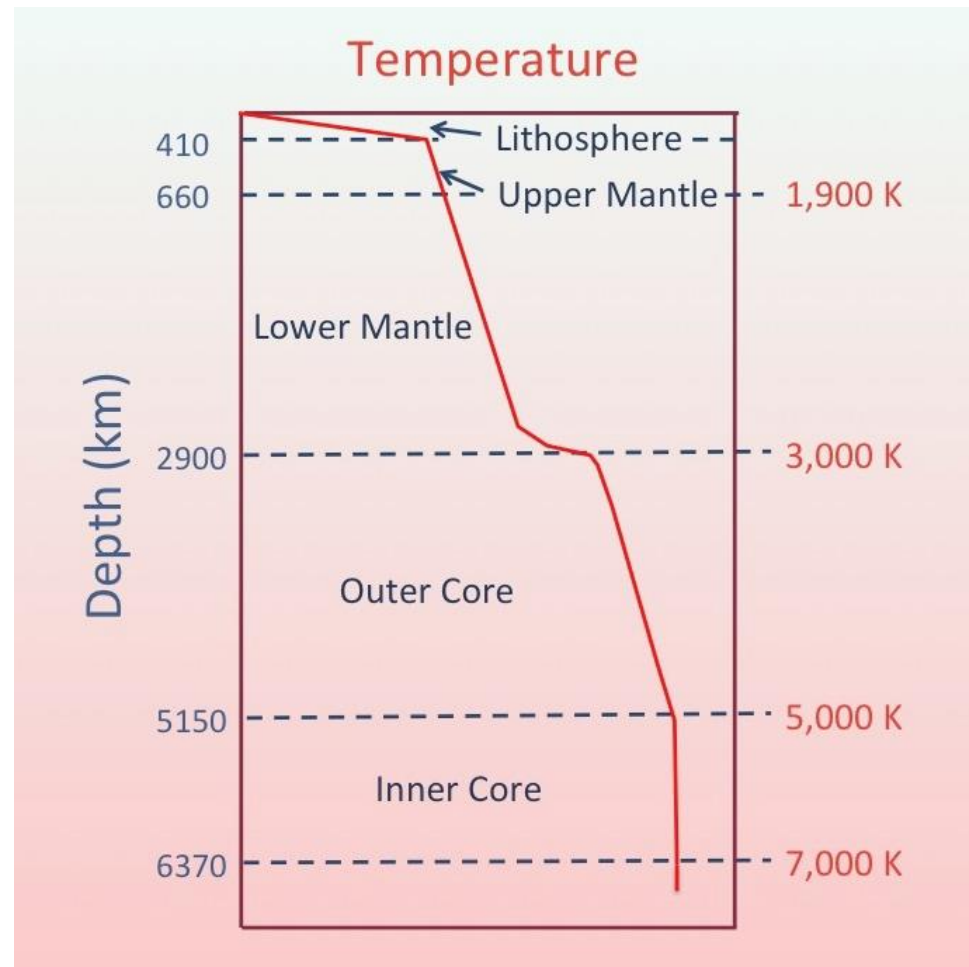
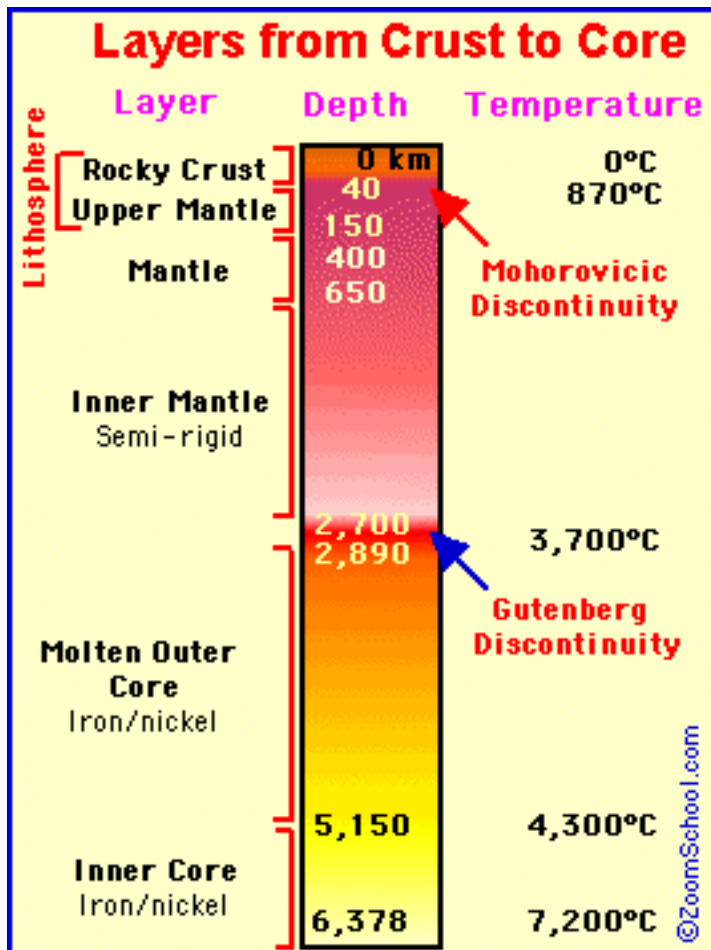
teplotné pole Zeme

geotermika

geotermický gradient – $30\text{ }^{\circ}\text{C/km}$

geotermický stupeň – $33\text{ m}/^{\circ}\text{C}$

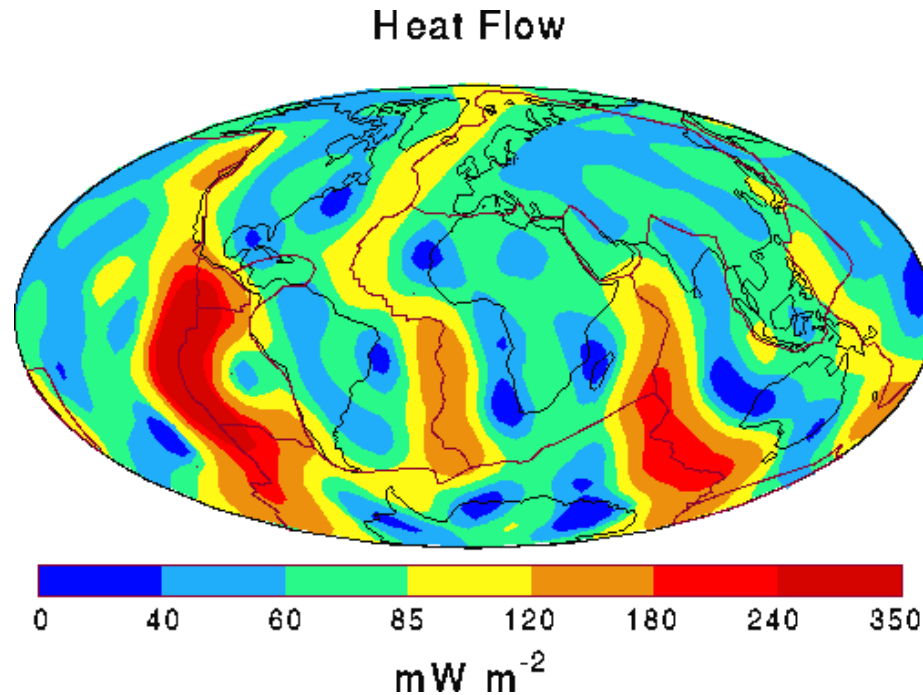
(platí spoľahlivo pre prvé kilometre)



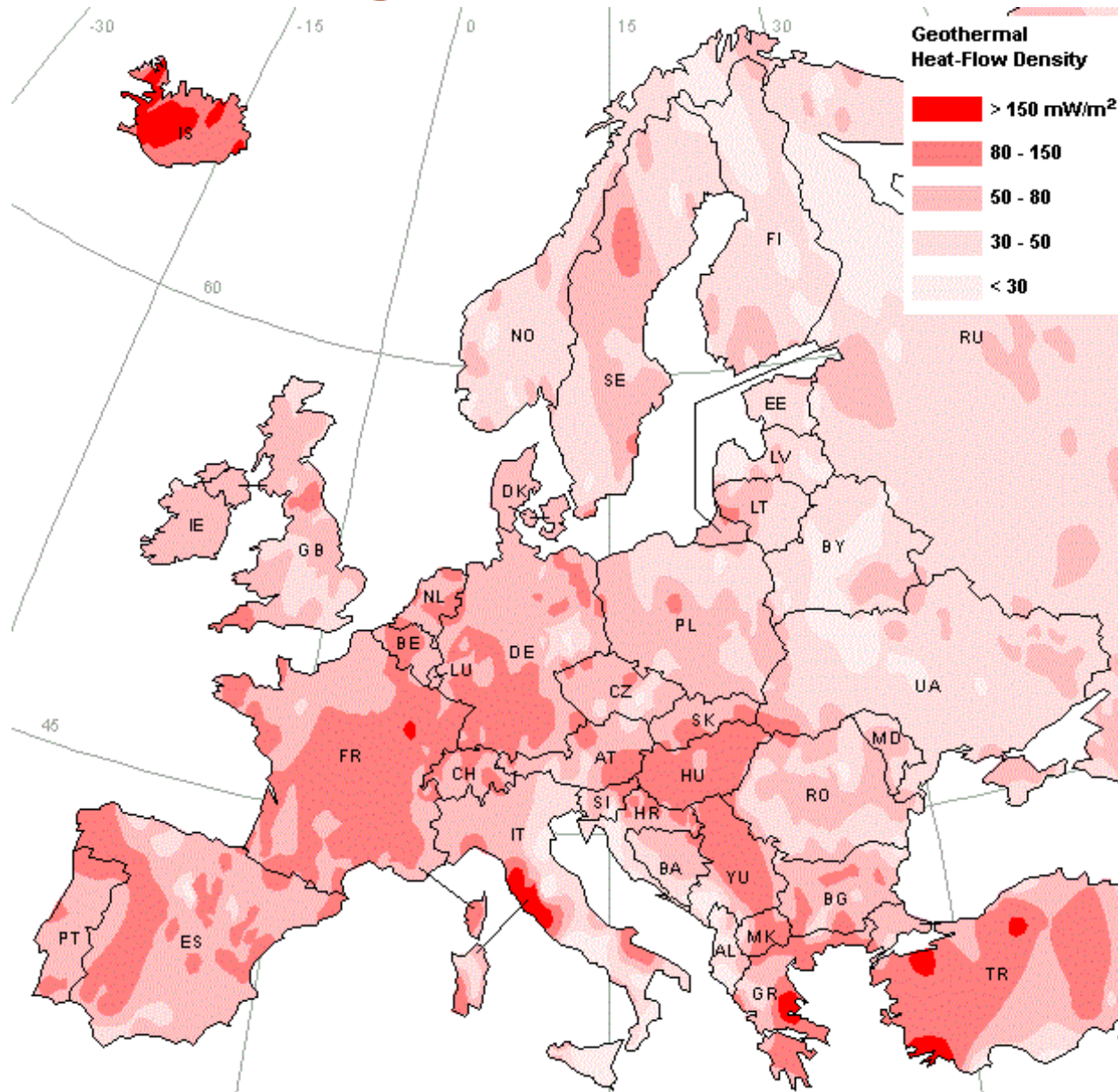
geotermika

Hustota tepelného toku - množstvo tepla, ktoré prejde jednotkovou plochou, jednotka $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$, používané: $[\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}]$.

Mapy hustôt tepelného toku (najvyššie hodnoty - vulkanické oblasti a oceánsky/kontinentálny rifting).



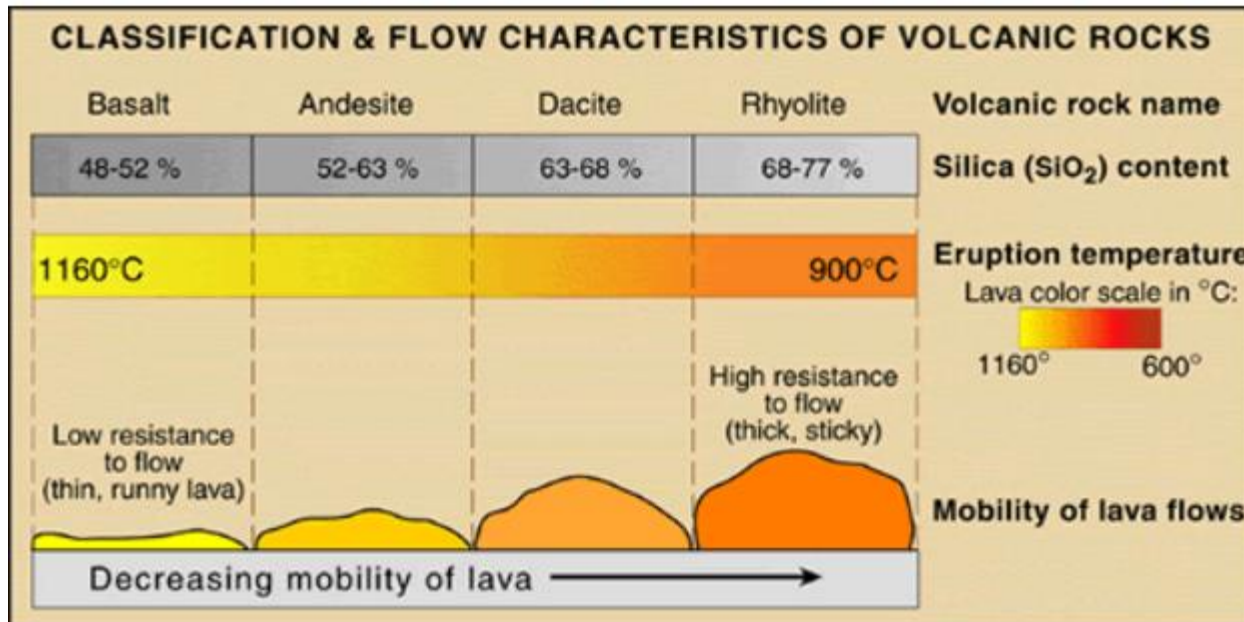
geotermika



Európa - mapa hustoty tepelného toku

geotermika

teplota lávy sa pohybuje zväčša
v intervale od cca 600 do 1160 °C
a závisí hlavne od bázicity (bázické
lávy sú najhorúcejšie)

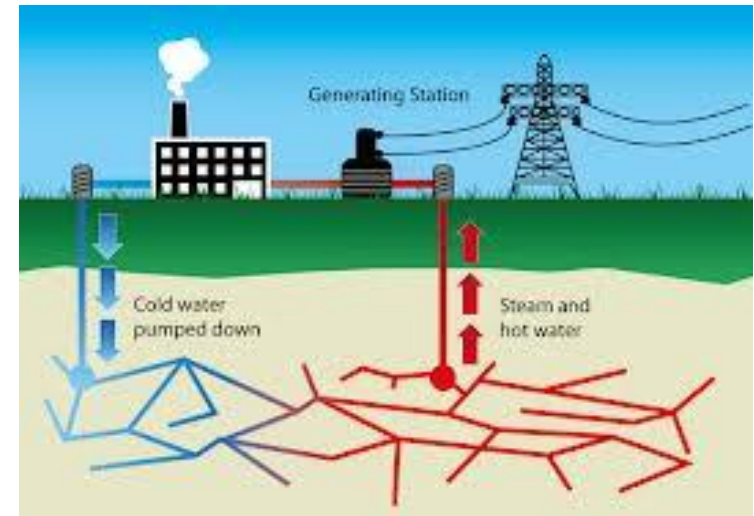
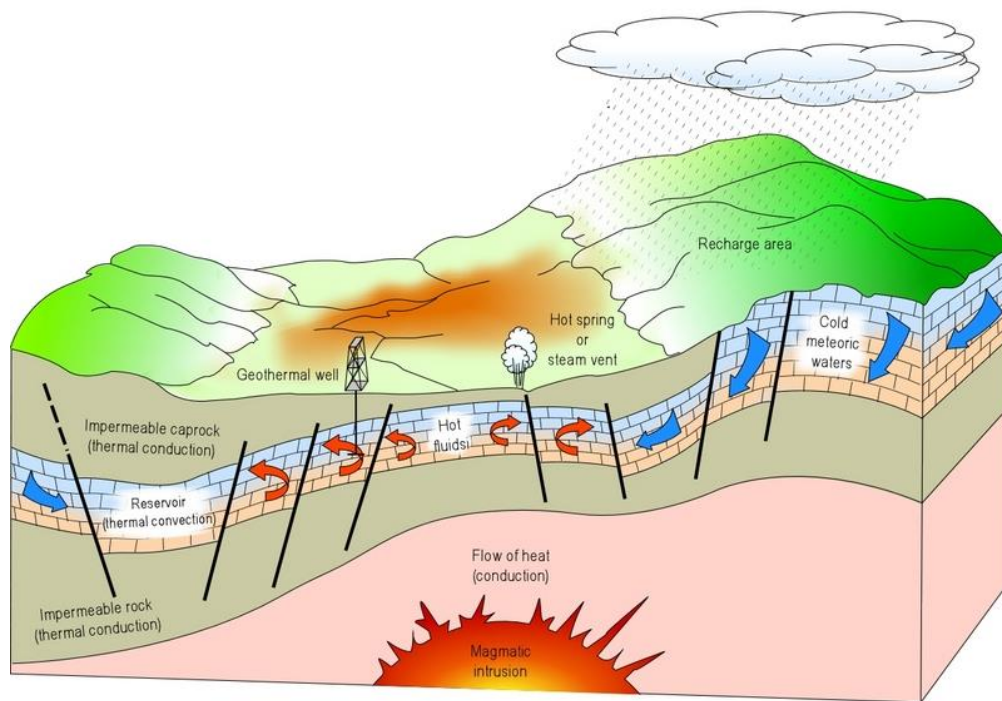


geotermálna energia

Využíva geotermický gradient:

a) hydrotermálne zdroje (prirodzená teplá podzemná voda)

b) tzv. suché teplo (umelo natlačená voda v uzavretom cykle)





Ktorý z týchto dvoch senhuliakov sa roztopí rýchlejšie?



Ktorý z týchto dvoch senhuliakov sa roztopí rýchlejšie?



Ktorý z týchto dvoch senhuliakov sa roztopí rýchlejšie?



A woman poses by a thermometer, Sunday, July 16, 2023, in Death Valley National Park, Calif.

Bude sa uvedená žena “cítiť teplejšie” v tomto kožuchu?

plyny

Ich stav popisujeme tzv. stavovými veličinami
(teplota, tlak, objem, látkové množství)
(s nimi súvisí aj hmotnosť, hustota, počet častíc,...)

tlak

Tlak je fyzikálna veličina, vyjadrujúca pomer sily F (tzv. tlaková sila) kolmo, rovnomerne a spojitô pôsobiacej na plochu a :

$$p = F/a$$

jednotkou tlaku je Pascal [Pa], čiže Newton na meter štvorcový [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$].

Staršia jednotka je [bar], platí $1 \text{ bar} = 100\,000 \text{ Pa} = 100 \text{ kPa}$.
(normálny atmosferický tlak = 101.325 kPa)

Tlak neúčinkuje iba v bode pôsobenia sily, ale prenáša sa objemom telesa. Patrí k základným termodynamickým veličinám.

Tlak v plynôch je vyvolaný tepelným pohybom častíc plynu (atómov alebo molekúl); nárazy týchto častíc na steny nádoby sa prejavujú pôsobiacim tlakom. Preto niekedy hovoríme o tzv. kinetickom tlaku - toto zdôrazňuje fakt, že hlavným dôvodom pre prítomnosť tlaku je skutočne pohyb molekúl.

tlakový výškomer

Tlakové (barometrické) výškomery umožňujú merať atmosférický tlak. Je to vlastne barometer (tlakomer), ktorý prepočítava tlak na výšku na základe matematického modelu štandardnej atmosféry a zobrazuje ju v jednotkách výšky [m n.m.].

Nevýhodou je, že sú závislé od momentálneho tlaku vzduchu v danej oblasti resp. na počasí – t.j. meranie je štandardne relatívne.

Využíva najmä v letectve, ale aj v geológii a iných oblastiach vedy a techniky (aj v geodézii a geofyzike v menej civilizovaných častiach sveta – dnes je však tento prístup vytláčaný technológiou GPS).



tlakový výškomer v lietadle

geologické procesy – súvislosti s teplotou a tlakom

Teplota a tlak hrajú dôležitú úlohu aj pri mnohých geologických procesoch od vzniku hornín až po súčasnosť.

- ovplyvňujú charakter a zloženie hornín pri ich vzniku ako aj počas následných procesov
- na základe procesov, ktoré môžeme vyjadriť **fázovými diagramami** (tzv. pT-diagramy) ovplyvňujú chemické zloženie hornín a vznik rôznych minerálov pri kryštalizácii magmy a pri metamorfných procesoch
- laboratórne merania zmien fyzikálnych vlastností horninových vzoriek v závislosti od teploty a tlaku umožňujú presnejšie identifikovať ich minerálne zloženie a dajú sa získať dôležité informácie o podmienkach ich vzniku
- fyzikálne vlastnosti a niektoré ďalšie parametre sa prejavujú pri meraní geofyzikálnych polí.

hustota

Hustota (špecifická hmotnosť) -
hmotnosť jednotkového objemu látky.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

kde: m je hmotnosť, V je objem.

fyzikálne jednotky pre hustotu:

system SI: $\text{kg/m}^3 = \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

používané sú však násobky:

$$1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 1 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3} = 1 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

príklad : $2.75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 2750 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (fylit)

hustota

Zaujímavosť: rozpätie hustôt v mineralógii -
od 0.98 (ľad) po $22.59 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (čisté Osmium)
(príklad: olovo: $11.34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, zlato: $19.32 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)



látkové množstvo

Látkové množstvo n sa udáva v móloch [mol].

Stará definícia jednotky mól:

Mól je látkové množstvo sústavy, ktorá obsahuje práve toľko elementárnych jedincov (entít), koľko je atómov v 0.012 kg čistého uhlíka (^{12}C).

Pri udávaní látkového množstva treba elementárne častice (entity) špecifikovať; môžu to byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, iné častice alebo bližšie určené zoskupenia častíc.

Ide približne o 6.02214×10^{23} entít (tzv. Avogadrova konštanta N_A).

Počet častíc (entít) N sa vypočíta pomocou jednoduchého vzťahu:

$$N = n N_A$$

látkové množstvo

Molárna hmotnosť (staršie: molová hmotnosť, mólová hmotnosť) M_m - je fyzikálna veličina, ktorá udáva hmotnosť jednotkového látkového množstva látky (hmotnosť 1 mólu).

Príklad:

Molárna hmotnosť vody: 18,01528 g/mol

Látkové množstvo n sa dá vypočítať potom pomocou veľmi jednoduchého vzťahu:

$$n = m/M_m$$

Entropia je fyzikálna veličina, ktorá meria neusporiadanosť (náhodnosť, neporiadok, mieru neurčitosti) systému. Jej jednotkou je [J/K] (Joul na Kelvin).

molárna hmotnosť - príklady

<i>Sloučenina</i>	<i>M</i> (g mol ⁻¹)
AgCl	143,3209
AgNO ₃	169,8731
Al ₂ (SO ₄) ₃	342,145
Al(OH) ₃	78,0036
Al ₂ O ₃	101,9613
B ₂ O ₃	69,62
BaCl ₂	208,232
BaCl ₂ ·2H ₂ O	244,263
Be(NO ₃) ₂	133,0227
Be(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	205,0839
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	234,05
Ca ₃ (PO ₄) ₂	310,177
Ca ₃ P ₂	182,182
CaCl ₂	110,98
CaCO ₃	100,087
CaF ₂	78,075
CaHPO ₄	136,06
CaO	56,077
Cd(NO ₃) ₂	236,421
CdCl ₂	183,316
CdI ₂	366,22
CO ₂	44,01
Cr ₂ (SO ₄) ₃	392,183
Cr ₂ O ₃	151,990
Cu(NO ₃) ₂	187,556
Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	241,602
Cu(OH) ₂	97,561
CuCl ₂	134,451

<i>Sloučenina</i>	<i>M</i> (g mol ⁻¹)
H ₂ O	18,17591
H ₂ O ₂	34,0147
H ₂ S	34,082
H ₂ SO ₄	98,078
H ₃ BO ₃	61,833
H ₃ PO ₄	97,9952
HBr	80,912
HCl	36,4606
HF	20,00634
Hg(NO ₃) ₂	108,56508
HNO ₃	63,0129
CH ₃ COOH	60,053
CH ₄	16,043
K ₂ [HgI ₄]	786,40448
K ₂ C ₂ O ₄	166,0641
K ₂ Cr ₂ O ₇	294,1846
K ₂ CrO ₄	194,1903
K ₂ O	94,196
K ₂ SO ₃	158,26
K ₂ SO ₃ ·2H ₂ O	194,291
K ₂ SO ₄	174,26
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	477,39
KClO ₃	122,5492
KCl	74,551
KCN	65,116
KCr(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	499,405
KI	166,0028
KIO ₃	214,001

<i>Sloučenina</i>	<i>M</i> (g mol ⁻¹)
Na ₂ CO ₃	105,989
Na ₂ CrO ₄	161,973
Na ₂ SO ₃	126,044
Na ₂ SO ₃ ·2H ₂ O	162,075
Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	252,151
Na ₂ SO ₃ S	158,11
Na ₂ SO ₃ S·5H ₂ O	248,187
Na ₂ SO ₄	142,043
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	322,196
Na ₃ N	82,976
NaCl	58,4425
NaH ₂ PO ₄	119,977
NaN ₃	65,01
NaNH ₂	39,1239
NaNO ₃	84,9898
NaOH	39,9971
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	392,143
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,141
NH ₃	17,0306
NH ₄ Cl	53,4912
NH ₄ NO ₂	64,044
NH ₄ NO ₃	80,0434
NiCl ₂ ·6H ₂ O	237,71
NO	30,0063
NO ₂	46,0055
P ₄ O ₁₀	283,889
Pb ₃ O ₄	685,61
PbCO ₃	267,2

plyny

Plyn alebo **plynné skupenstvo (látka)** je jedno zo základných skupenstiev, pri ktorom sú jednotlivé častice látky relatívne ďaleko od seba, voľne sa pohybujú v priestore a pôsobia na ne zanedbateľne malé príťažlivé sily.

V porovnaní s kvapalinami a tuhými látkami majú plyny omnoho menšiu hustotu a viskozitu a sú stlačiteľné.

Na zjednodušené skúmanie vlastností plynov sa používa **ideálny plyn**.

Skutočný plyn (reálny) má na rozdiel od plynu ideálneho aj viskozitu, teda vnútorný mechanický odpor a nedá sa úplne stlačiť.

ideálny plyn

Ideálny plyn je teoretický model, ktorý opisuje hypotetickú hmotu v plynnom skupenstve. Je zjednodušením, ktoré sa používa vo fyzike pri štúdiu reálnych plynov.

Zjednodušenie spočíva v tom, že zatiaľ čo molekuly reálneho plynu na seba navzájom pôsobia silami, **pri ideálnom plyne toto silové pôsobenie zanedbávame**. Molekuly ideálneho plynu sa preto medzi jednotlivými zrážkami pohybujú priamočiaro.

Teoretické vlastnosti ideálneho plynu dostatočne presne vystihujú vlastnosti reálneho plynu pri nižších hustotách a tlakoch a stredných teplotách. Priblíženie ideálneho plynu prestáva byť presné najmä pri vysokých hustotách.

vlastnosti látok v plynnom skupenstve:

Z hľadiska *fyzikálneho popisu* je plynné skupenstvo *najjednoduchšie*. Budeme sa opierať o **molekulárne - kinetickú teóriu ideálnych plynov** (plynov za „nie príliš vysokých“ tlakov a teplôt). Ide o *klasickú (nie kvantovú!)* teóriu, ktorej základné predpoklady sú:

- ▶ molekuly plynov (základné stavebné častice) považujeme za *dokonale pružné guľičky*
- ▶ pohybujú sa náhodne všetkými smermi po lineárnych dráhach
- ▶ ich rozmery sú veľmi malé oproti ich priemerným vzdialenostiam
- ▶ okrem priamych, dokonale pružných zrážok, na seba nepôsobia (ako „biliardové gule“)

Stavové veličiny

Pre fyzikálny popis **stavu** určitého množstva ideálneho plynu postačujú (pri zjednodušenom prístupe) *štyri stavové veličiny*:

- tlak *p*
- teplota *T* (v absolútnej – Kelvinovej – stupnici, tzv. termodynamická teplota)
- objem *V*
- látkové množstvo *n*

ideálny plyn

Zjednodušená predstava o pohybe molekúl a stavových veličinách v ideálnom plyne:

- **tlak plynu** - súhrnný účinok nárazov molekúl na steny nádoby
- **teplota plynu** – miera strednej rýchlosti pohybu molekúl

Stavové veličiny **nie sú** nezávislé – spája ich určitý vzťah
tzv. **stavová rovnica**:

$$pV = NkT$$

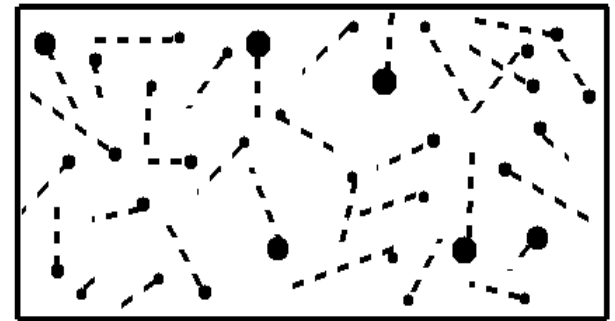
p je tlak

V je objem

N je celkový počet častíc plynu (molekúl)

k je Boltzmannova konštanta = $1.381 \cdot 10^{-23}$ [J · K⁻¹]

T je teplota.



Stavová rovnica sa odvodza pomocou kinetickej teórie plynov.

ideálny plyn

Stavovú rovnicu ideálneho plynu pre jeho látkové n (mólov) môžeme písať aj ako:

$$pV = nRT$$

kde R je univerzálna plynová konštanta: $R = 8.314 \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}]$

Univerzálna preto, lebo **platí pre ľubovoľný plyn aj zmes plynov**, bez ohľadu na chemické zloženie, ak uvažujeme hmotnostné množstvo v móloch (v prípade zmesi treba uvažovať priemernú molekulárnu hmotnosť). Je súčinom Boltzmanovej a Avogadrovej konštanty.

Stavová rovnica je jednou zo základných rovníc termodynamiky a popisuje ako navzájom súvisia jednotlivé stavové veličiny.

Toto je veľmi užitočné, nakoľko nám to umožňuje pre danú zmenu jednej zo stavových veličín predpovedať, ako sa budú správať ostatné stavové veličiny.

ideálny plyn

Aký je vzťah medzi univerzálnou plynovou konštantou (R) a Boltzmannovou konštantou (k)?

$$R = \frac{N}{n} k = N_A k$$

N – počet častíc (entít),

n – látkové množstvo (v móloch),

N_A – Avogadrova konštanta,

R = univerzálna plynová konštanta = $8.3144598 \text{ [J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}]$,

k = Boltzmannova konšt. = $1.38064852 \cdot 10^{-23} \text{ [s}^{-2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{K}^{-1}]$.

procesy (deje) v ideálnom plyne

- isobarický proces ($p = \text{const}$),
(tzv. Charlesov zákon)
- isochorický proces ($V = \text{const}$),
(tzv. Gay-Lussacov zákon)
- isotermálny proces ($T = \text{const}$),
(tzv. Boyle-Mariottov zákon)
- adiabatický proces ($pV^k = \text{const}$)
(nedochádza ku výmene tepla s okolím).

Ludwig Boltzmann



Ludwig Boltzmann

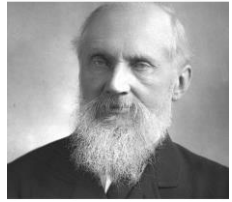


◀ **Ludwig Boltzmann (1844 – 1906)** , rakúsky teoretický fyzik, zakladateľ termodynamiky a štatistickej mechaniky. Významne prispel k rozvoju kinetickej teórie plynov, elektromagnetizmu a termodynamike. Prvý odvodil konštantu v stavovej rovnici – pre prípad, že hmotnostné množstvo plynu uvažujeme cez počet molekúl (spojitosť s tzv. Avogadrovým číslom). Boltzmann spáchal v roku 1906 samovraždu. Pravdepodobne svoju úlohu zohralo odmietnutie jeho práce veľkou časťou fyzikálnej komunity.

Odvodil tzv. Boltzmannovu konštantu a vzťah pre výpočet entropie.

poznámka ku absolútnej nule (jej určeniu)

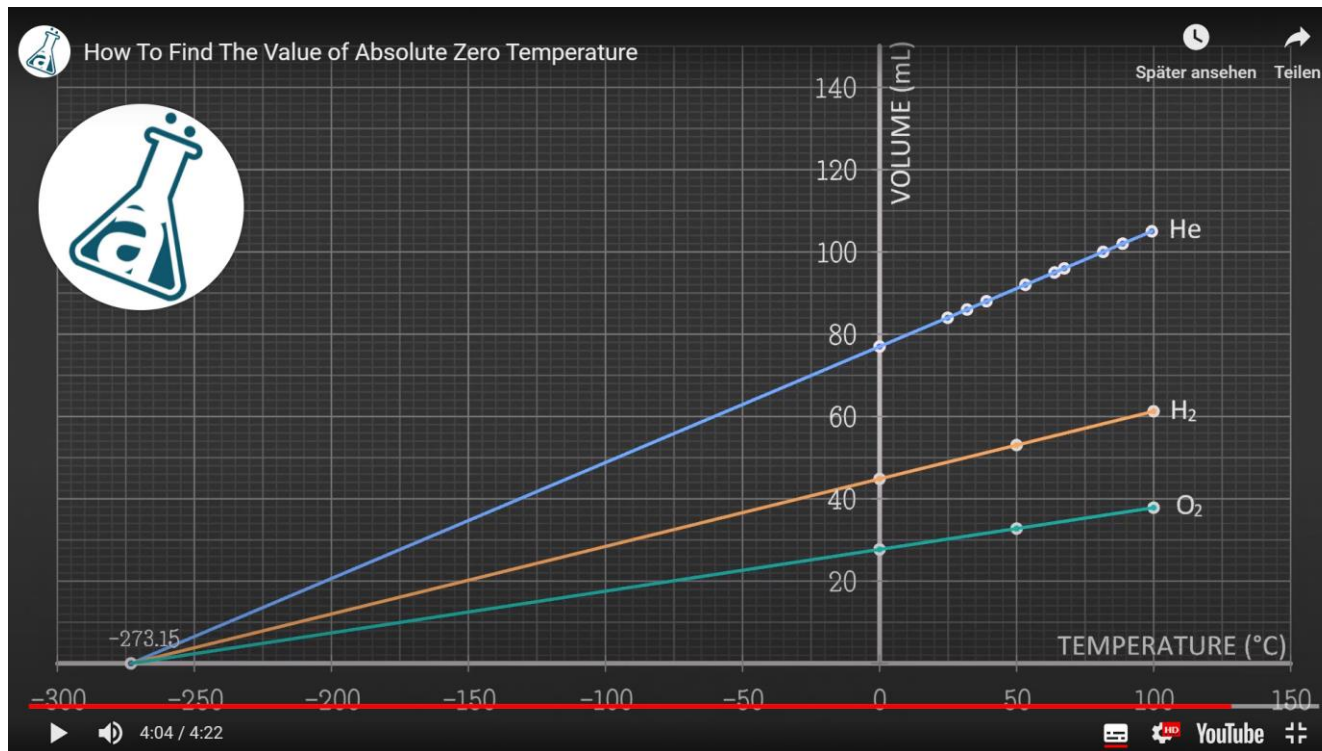
William Thomson
(lord Kelvin)



1824 – 1907

Z histórie:

V roku 1848 lord Kelvin (William Thomson) zaviedol pojem absolútnej nuly. Jej odhad (-273°C) dosiahol extrapoláciou lineárnych grafov vzťahu objemu a teploty pre rôzne plyny – smerom do záporných hodnôt (teploty).



Tieto pokusy boli opakované viacerými odborníkmi a napokon bola konvenciou určená známa hodnota -273.15°C .

reálny plyn

Každý plyn s ktorým sa stretávame (**reálny**) v prírode sa do určitej miery líši od **ideálneho**. Mnohé plyny sa však za normálnych podmienok líšia len nepatrne (napr. vodík a hélium).

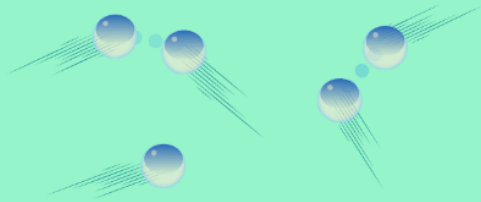
Napriek tomu, že skutočný plyn (reálny) nemôžeme úplne stlačiť a má na rozdiel od plynu ideálneho aj vnútorný mechanický odpor môžeme zákonitosti platné pre ideálny plyn použiť aj na vyšetrenie reálnych plynov. V niektorých prípadoch sa zavádzajú do rovníc opravy.

reálny plyn

Real Gas vs Ideal Gas

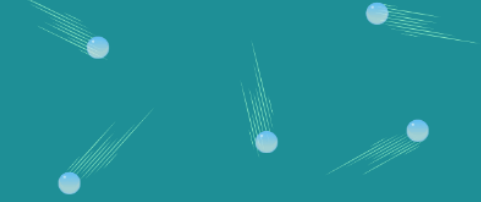
REAL GAS

- Particles have volume
- Energy lost in collisions
- Intermolecular forces



IDEAL GAS

- Particles have no volume
- Collisions are elastic
- No interactions between particles



Real gases behave like ideal gases:

- At high temperatures
- At low pressures

