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)

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.

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 siedmych 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 °C alebo −459.67 °F.

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

teplota

Zhrnutie najpoužívanejších stupníc teploty:

Kelvinova stupnica T (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 °C) prevod: $T_C = T - 273.15$

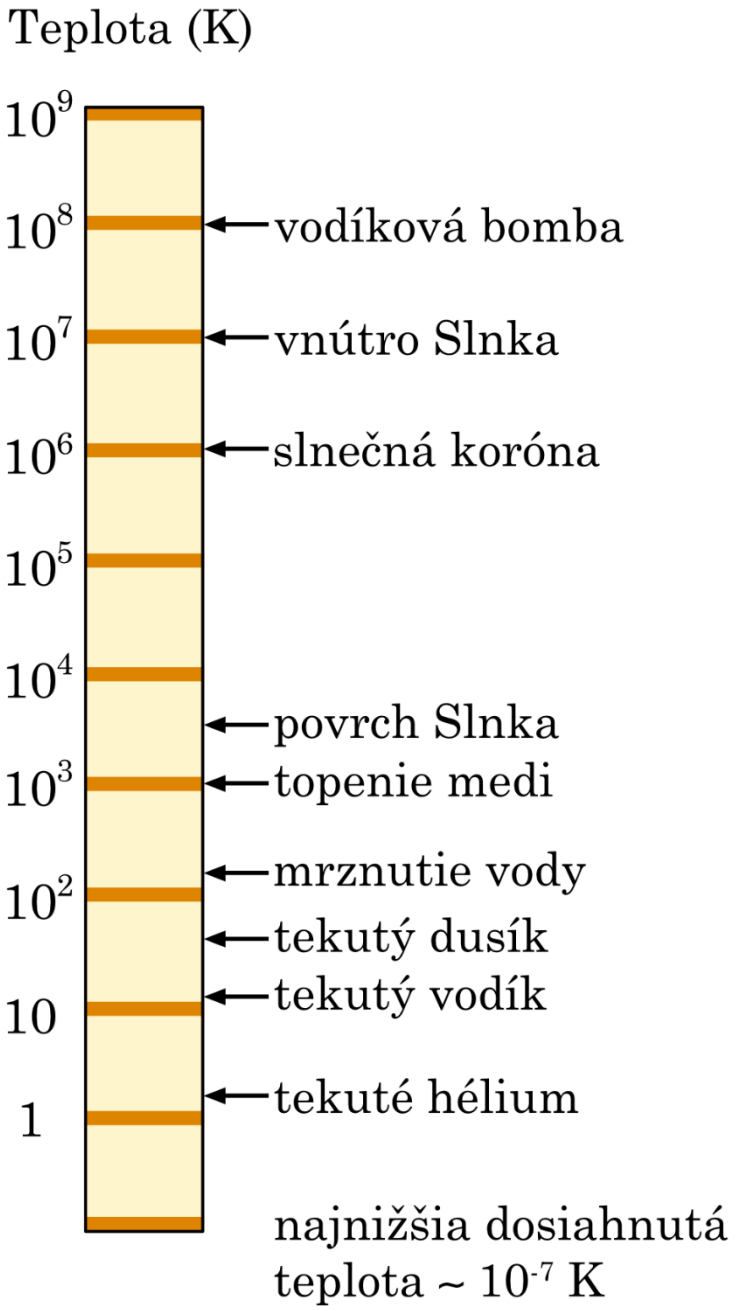
Fahrenheitova stupnica T_F (°F)

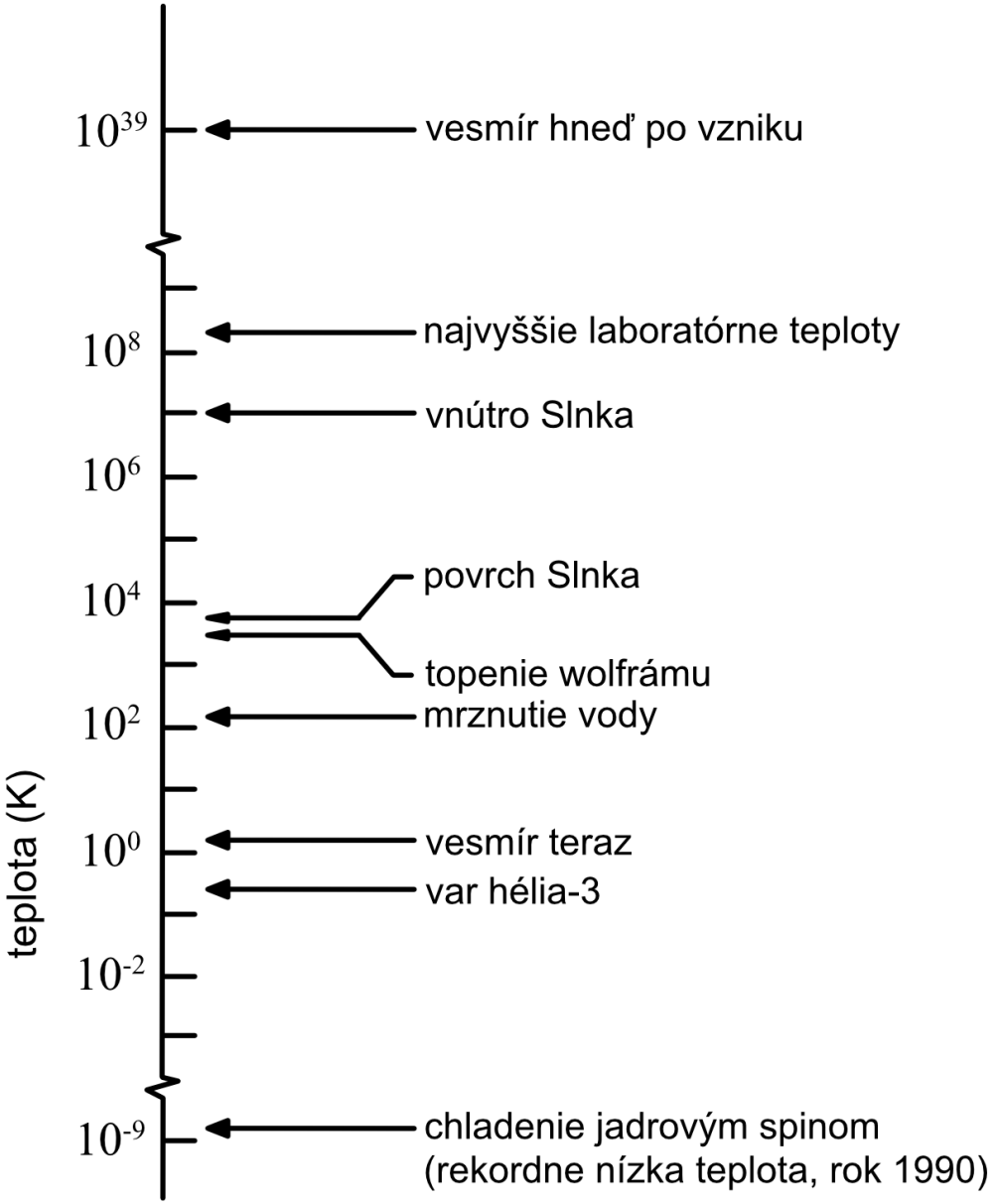
prevod: $T_F = 9/5\ T_C + 32$ (prírastok na 9°F je 5°C)

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

Teplota:	K	ºC	ºF
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

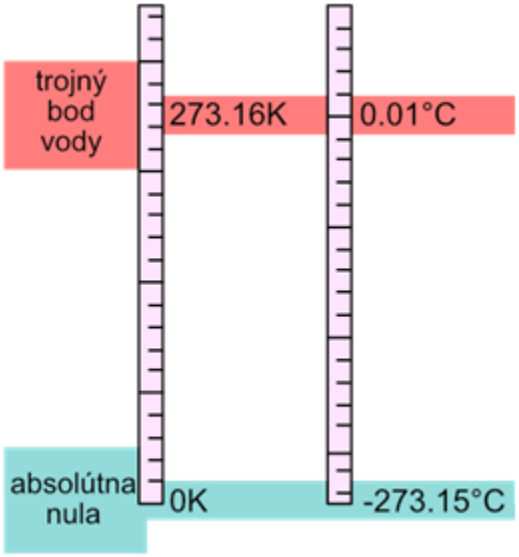

Teplota (K)
10^9
10^8
vodíková bomba
10^7
vnútro Slnka
10^6
slnečná koróna
10^5
10^4
povrch Slnka
10^3
topenie medi
10^2
mrznutie vody
tekutý dusík
10
tekutý vodík
1
tekuté hélium
najnižšia dosiahnutá
teplota ~ 10^{-7} K

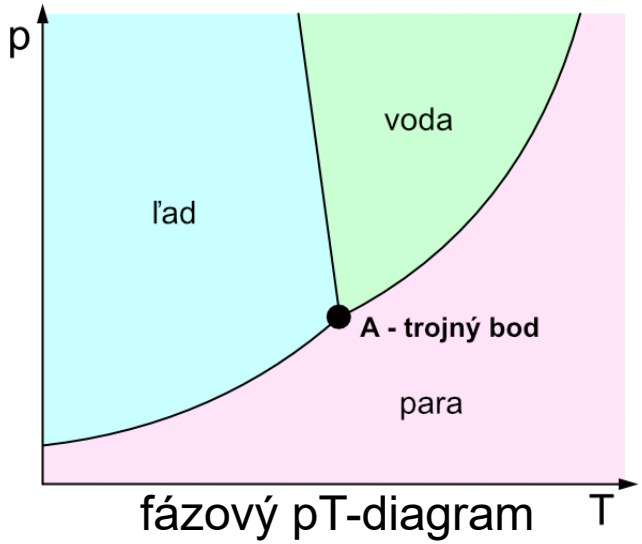

teplota (K)
10^{39}
vesmír hneď po vzniku
10^8
najvyššie laboratórne teploty
vnútro Slnka
10^6
10^4
povrch Slnka
topenie wolfrámu
10^2
mrznutie vody
10^0
vesmír teraz
var hélia-3
10^{-2}
10^{-9}
chladenie jadrovým spinom
(rekordne nízka teplota, rok 1990)

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 termodynamickej 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 termodynamickej teploty. Kelvin je 1/273.16 termodynamickej teploty trojného bodu vody.





teplota

trojný bod rôznych látok

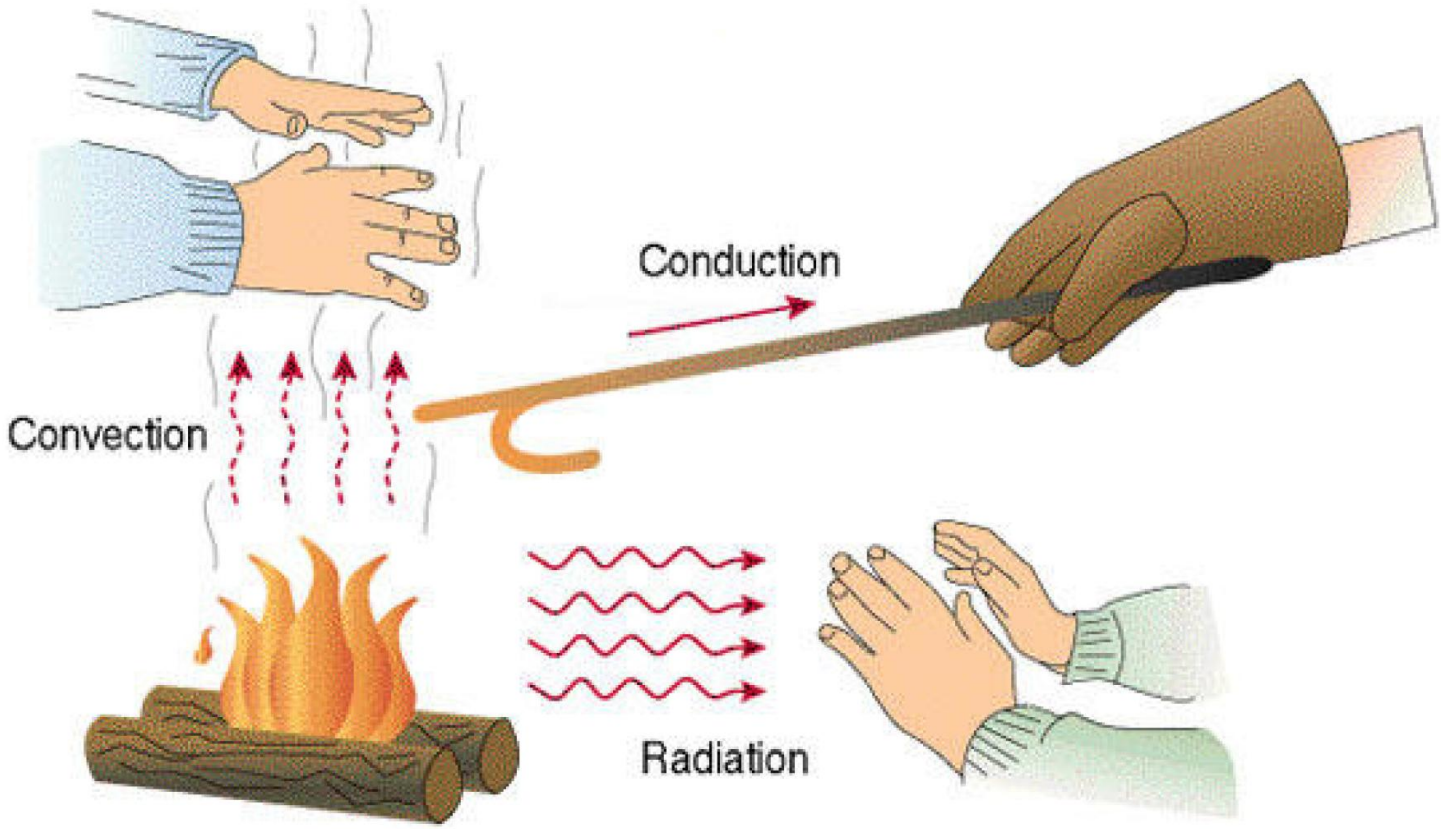
Látka	Teplota [°C]	Tlak [kPa]
etanol	−123	4.3×10^{-7}
kyslík	−218.7916	0.14625
ortuť	−38.8344	1.65×10^{-7}
oxid uhličitý	−56.60	517
platina	1 772	2×10^{-4}
radón	−71	70 kPa
uhlík (grafit)	4 492	10 132
vodík	−259.3467	7.04 kPa

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.

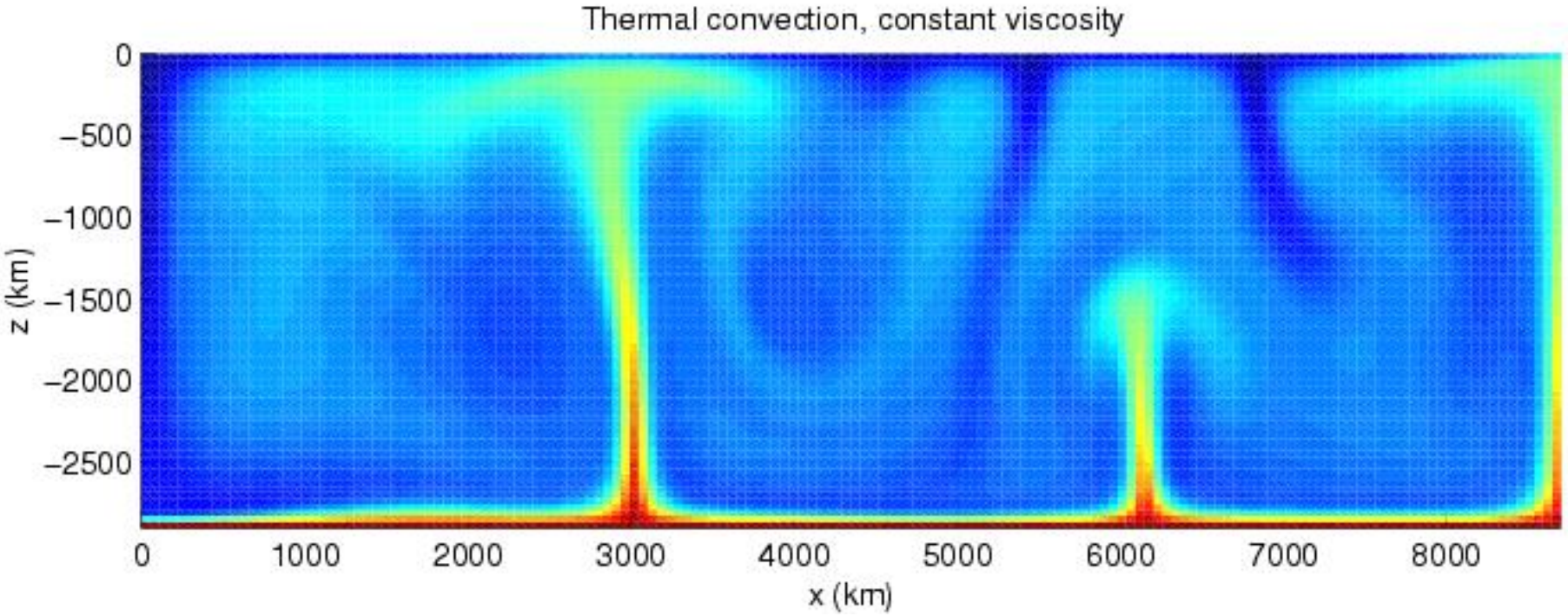
Je to celé dôsledkom skutočnosti, že kvapaliny a plyny (najmä vzduch) sú slabé vodiče tepla.

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

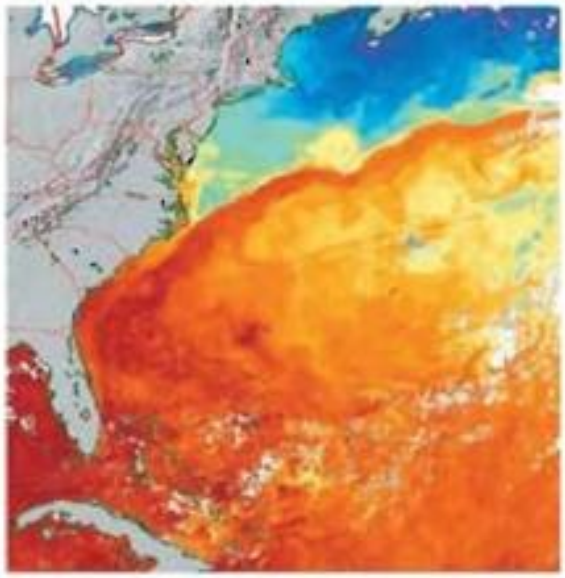
konvekcia - prúdenie

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)

prenos tepla



satelitná termo-snímka západnej časti Atlantického oceánu

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.

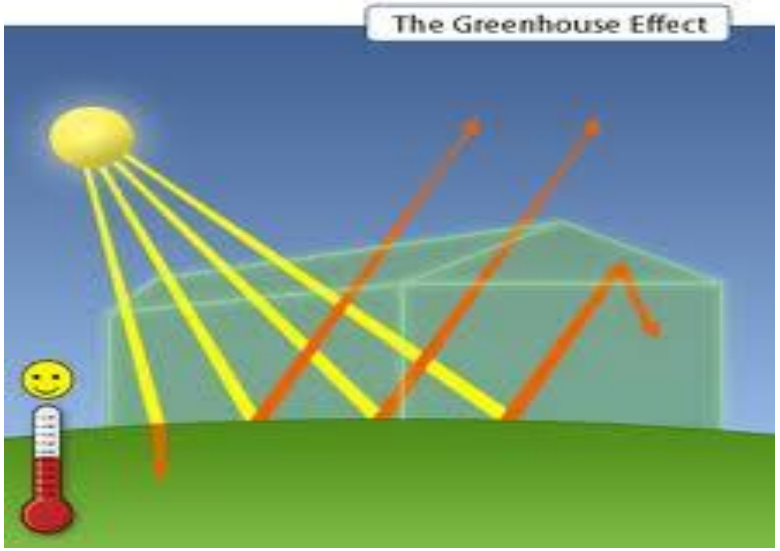


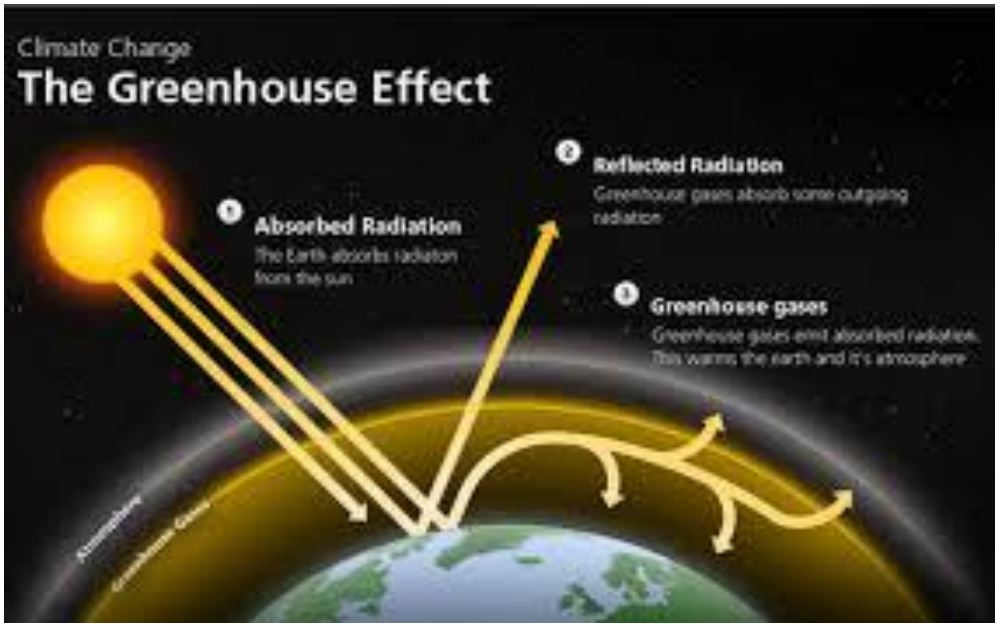
rozdiel cca 6 °C

prenos tepla

radiácia - vyžarovanie

skleníkový efekt





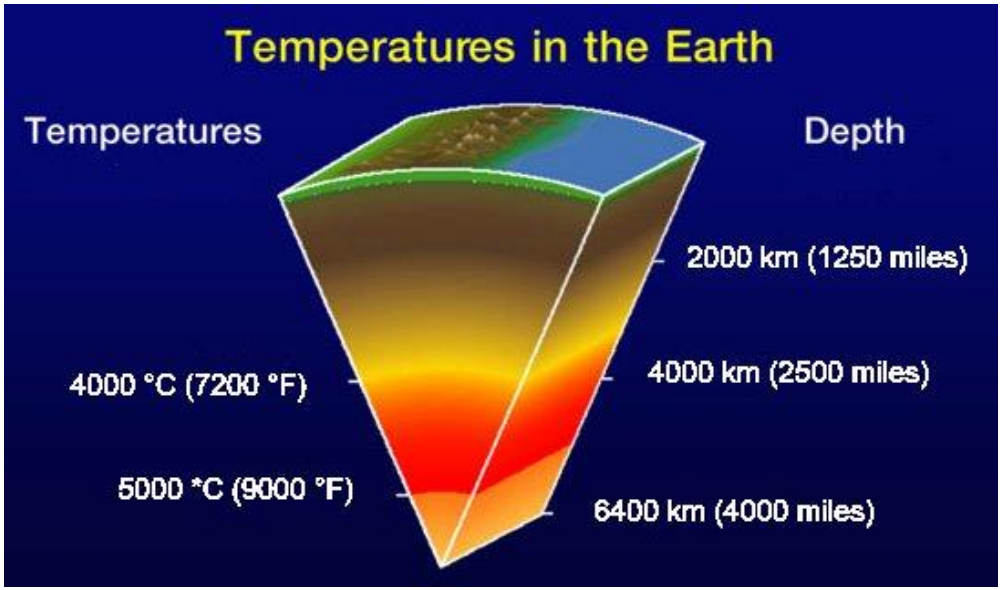
Termálna radiácia hrá významnú úlohu pri globálnom otepľovaní, nakoľko je ovplyvnená prítomnosťou najmä vodnej pary a kysličníka uhličitého v zemskej atmosfére.

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



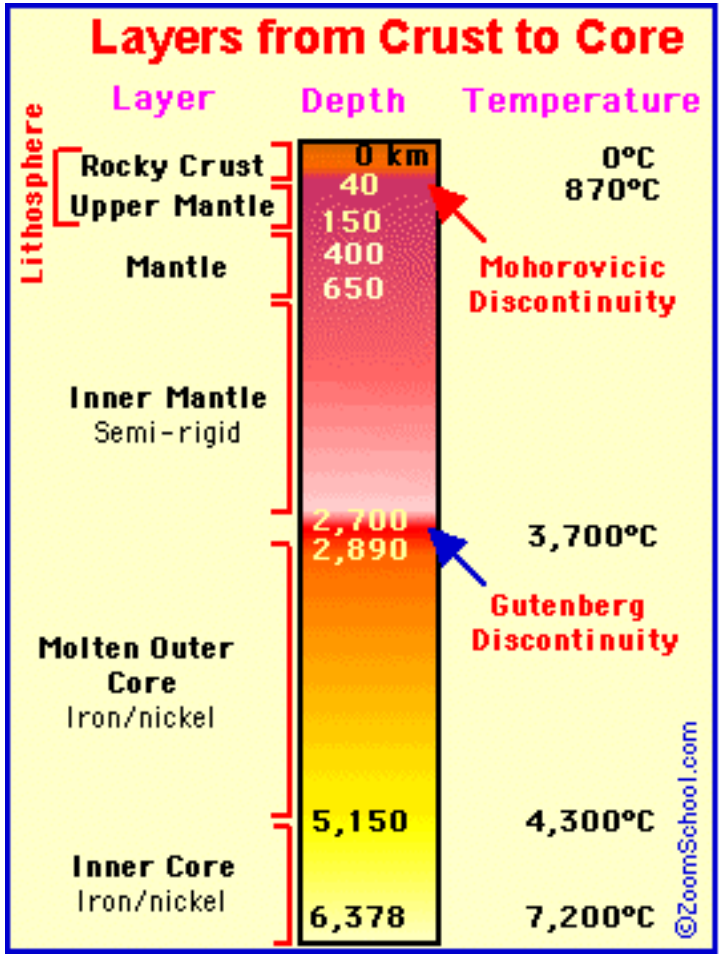
teplotné pole Zeme

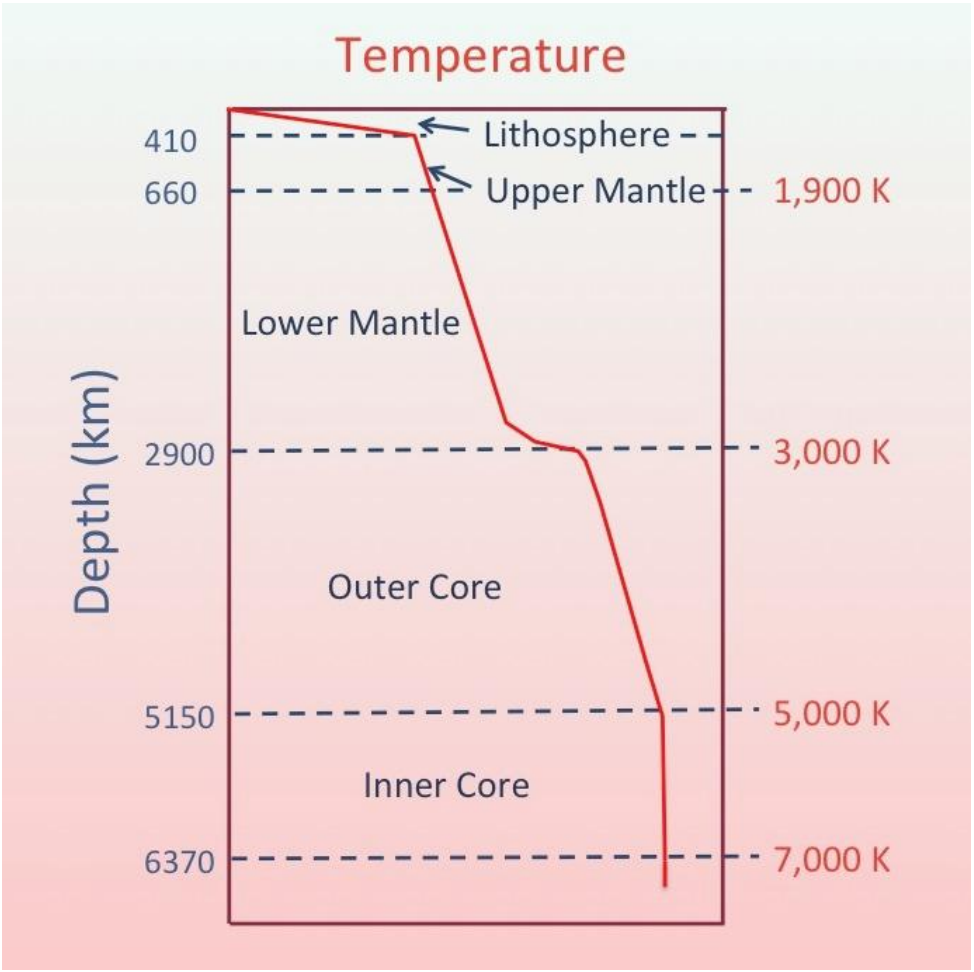
Prenos tepla:

- uplatňuje sa prenos tepla vedením a konvekciou

geotermika

geotermický gradient – 30 °C/km
geotermický stupeň – 33 m/°C (platí spoľahlivo pre prvé kilometre)

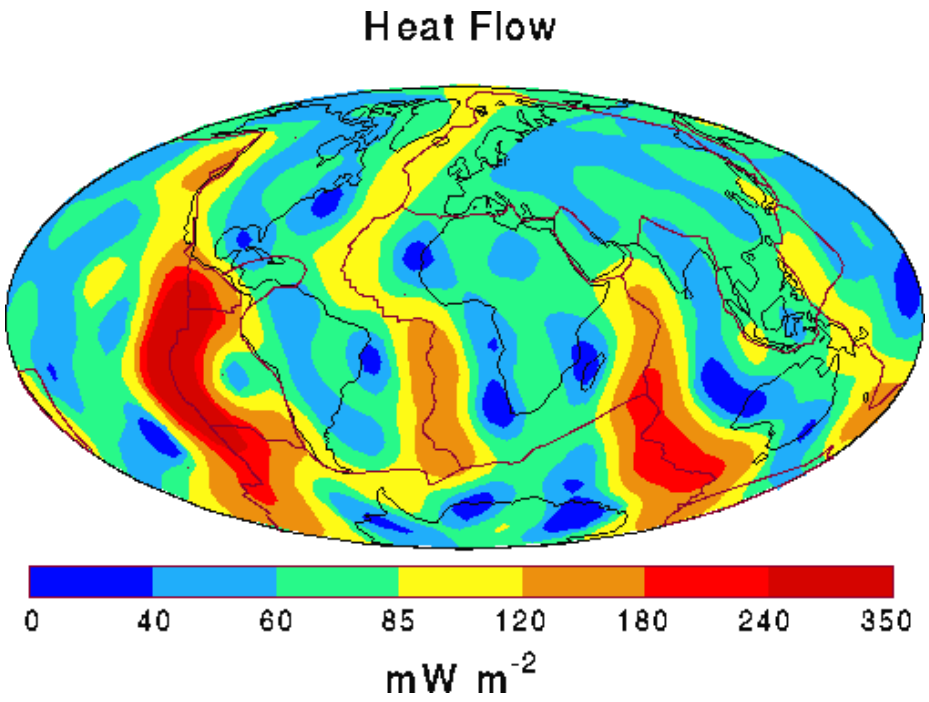




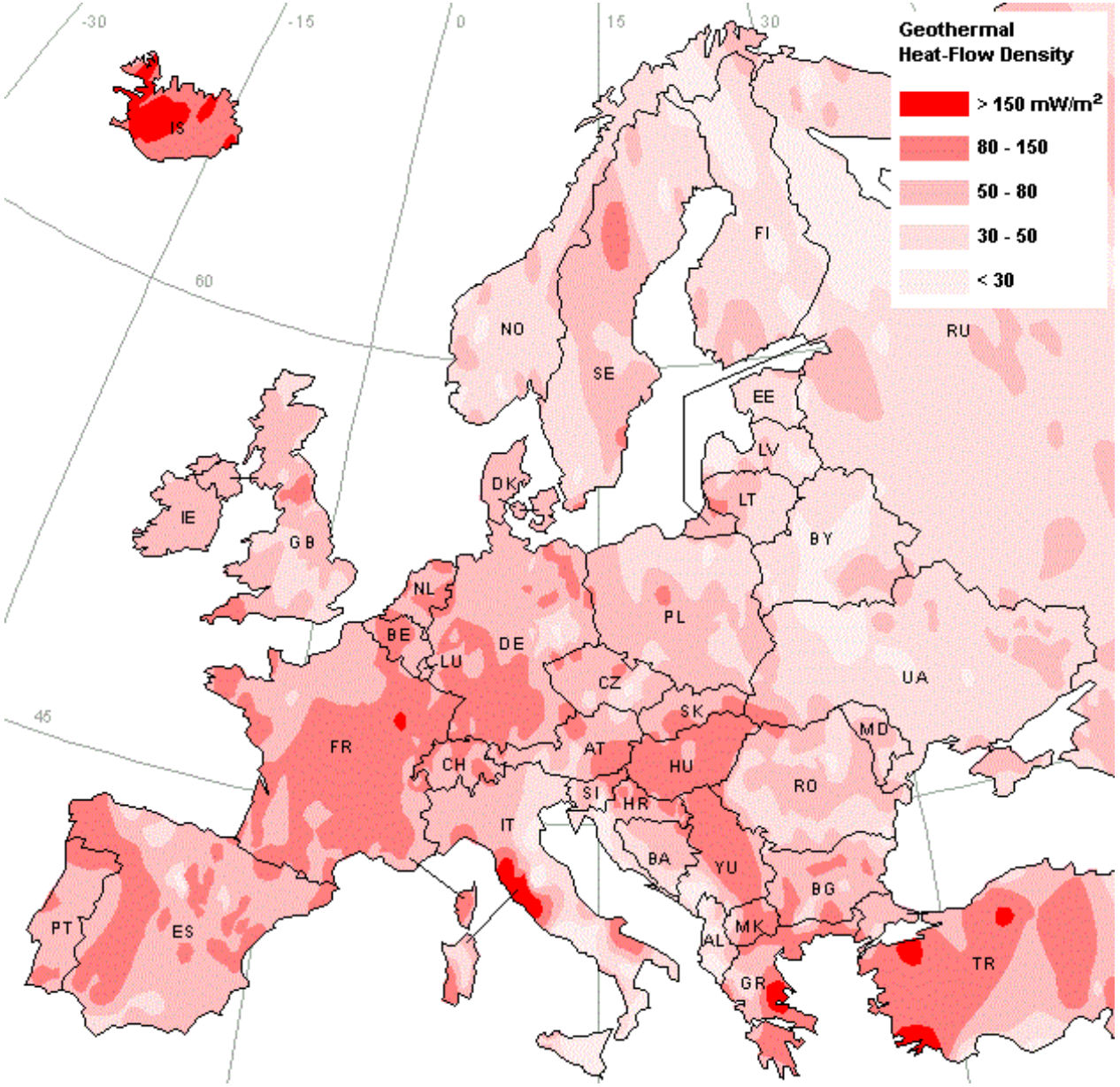
geotermika

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

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



geotermika

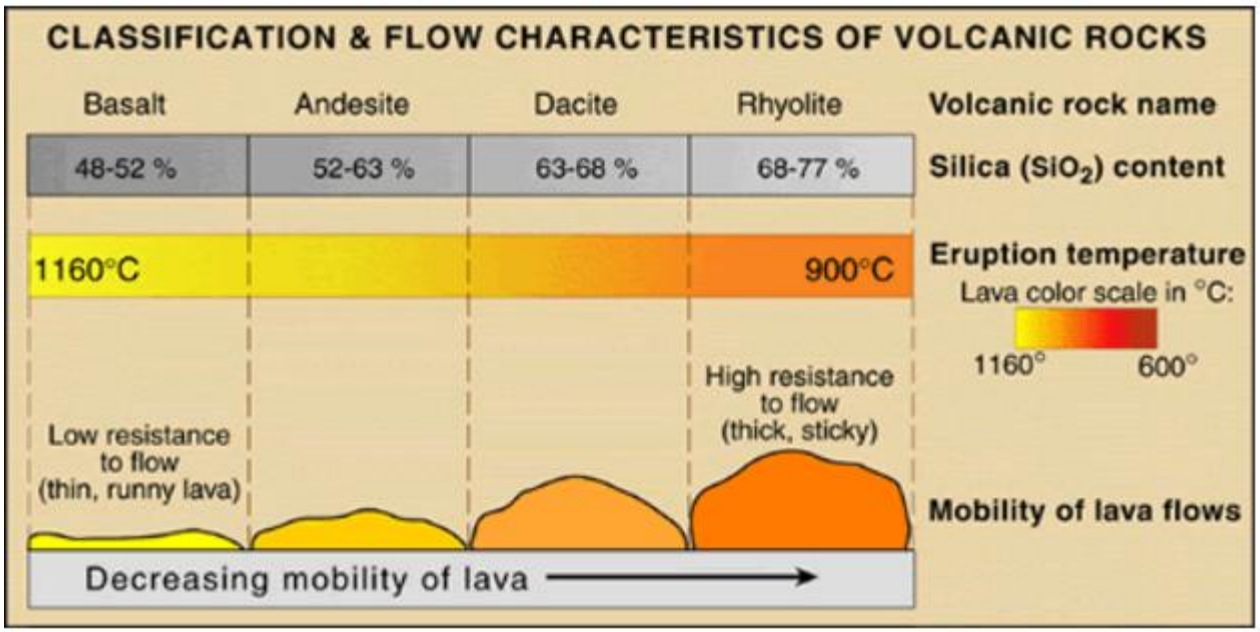


Európa - mapa hustoty tepelného toku

geotermika

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





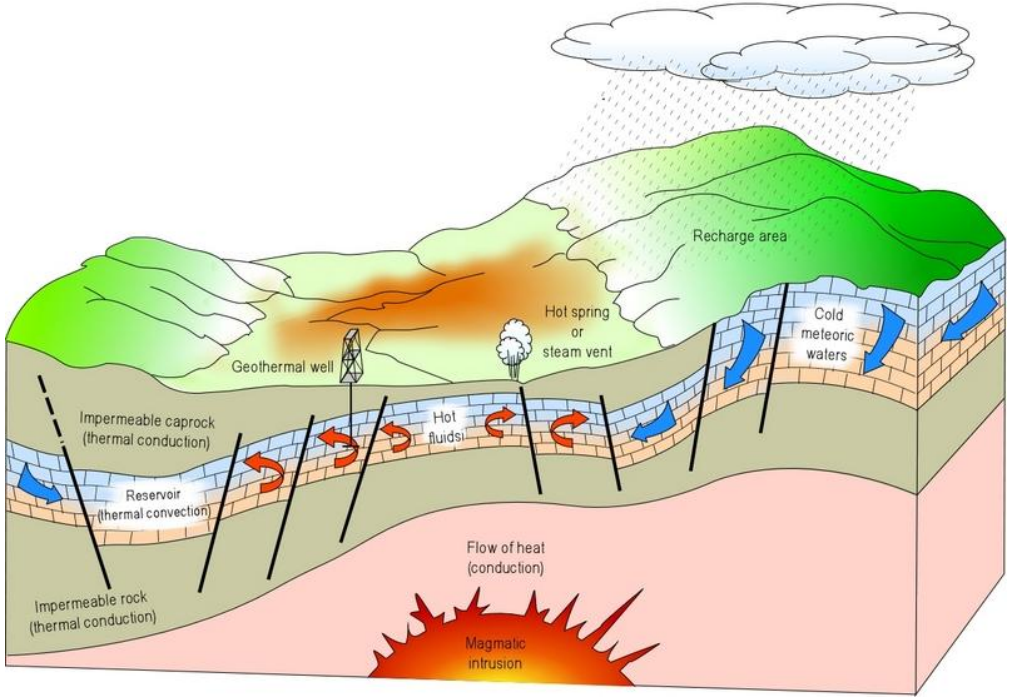


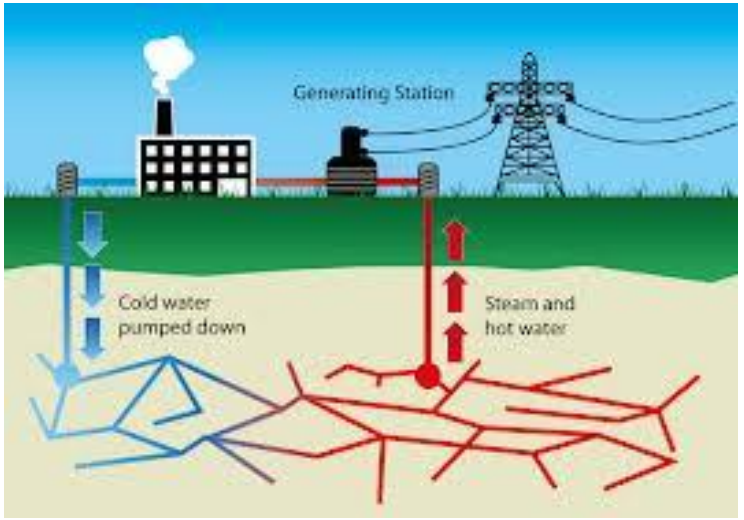
geotermálna energia

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 množstvo)
(s nimi súvisí aj hmotnosť, hustota, počet častíc,…)

tlak

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

$$p = F/a$$

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

Staršia jednotka je [bar], platí 1 bar = 100 000 Pa = 100 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 plynoch je vyvolaný tepelným pohybom častíc plynu (atómov alebo molekúl); nárazy týchto častíc na steny nádoby sa prejavia pôsobiacim tlakom. Preto niekedy hovoríme o tzv. kinetickom tlaku - toto zvýrazňuje 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:

systém SI: $kg/m^3 = kg \cdot m^{-3}$

používané sú však násobky:

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

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

hustota

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

Sloučenina	M (g mol^{-1})
$AgCl$	143,3209
$AgNO_3$	169,8731
$Al_2(SO_4)_3$	342,145
$Al(OH)_3$	78,0036
Al_2O_3	101,9613
B_2O_3	69,62
$BaCl_2$	208,232
$BaCl_2.2H_2O$	244,263
$Be(NO_3)_2$	133,0227
$Be(NO_3)_2.4H_2O$	205,0839
$Ca(H_2PO_4)_2$	234,05
$Ca_3(PO_4)_2$	310,177
Ca_3P_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_2O_3	151,990
$Cu(NO_3)_2$	187,556
$Cu(NO_3)_2.3H_2O$	241,602
$Cu(OH)_2$	97,561
$CuCl_2$	134,451

Sloučenina	M (g mol^{-1})
H_2O	18,17591
H_2O_2	34,0147
H_2S	34,082
H_2SO_4	98,078
H_3BO_3	61,833
H_3PO_4	97,9952
HBr	80,912
HCl	36,4606
HF	20,00634
$Hg(NO_3)_2$	108,56508
HNO_3	63,0129
CH_3COOH	60,053
CH_4	16,043
$K_2[HgI_4]$	786,40448
$K_2C_2O_4$	166,0641
$K_2Cr_2O_7$	294,1846
K_2CrO_4	194,1903
K_2O	94,196
K_2SO_3	158,26
$K_2SO_3.2H_2O$	194,291
K_2SO_4	174,26
$KAl(SO_4)_2.12H_2O$	477,39
$KClO_3$	122,5492
KCl	74,551
KCN	65,116
$KCr(SO_4)_2.12H_2O$	499,405
KI	166,0028
KIO_3	214,001

Sloučenina	M (g mol^{-1})
Na_2CO_3	105,989
Na_2CrO_4	161,973
Na_2SO_3	126,044
$Na_2SO_3.2H_2O$	162,075
$Na_2SO_3.7H_2O$	252,151
Na_2SO_3S	158,11
$Na_2SO_3S.5H_2O$	248,187
Na_2SO_4	142,043
$Na_2SO_4.10H_2O$	322,196
Na_3N	82,976
$NaCl$	58,4425
NaH_2PO_4	119,977
NaN_3	65,01
$NaNH_2$	39,1239
$NaNO_3$	84,9898
$NaOH$	39,9971
$(NH_4)_2Fe(SO_4)_2.6H_2O$	392,143
$(NH_4)_2SO_4$	132,141
NH_3	17,0306
NH_4Cl	53,4912
NH_4NO_2	64,044
NH_4NO_3	80,0434
$NiCl_2.6H_2O$	237,71
NO	30,0063
NO_2	46,0055
P_4O_{10}	283,889
Pb_3O_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 guličky*
- 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 množsvto** ***n***

ideálny plyn

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

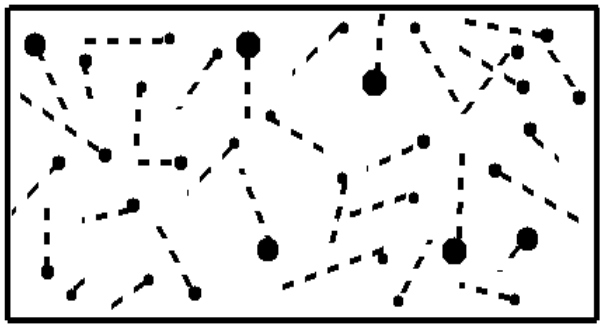
► **tlak plynu** - súhrnný účinok nárazov molekúl na steny nádoby

► **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 = $\mathbf{1.381 \cdot 10^{-23}}$ $\mathbf{[J \cdot K^{-1}]}$
T je teplota.

Stavová rovnica sa odvádza 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: $R = 8.314\ [J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}]$

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 plynova konštatna = 8.3144598 [$J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$],
k = Boltzmannova konšt. = $1.38064852 \cdot 10^{-23}$ [$s^{-2} \cdot m^2 \cdot kg \cdot K^{-1}$].

procesy (deje) v ideálnom plyne

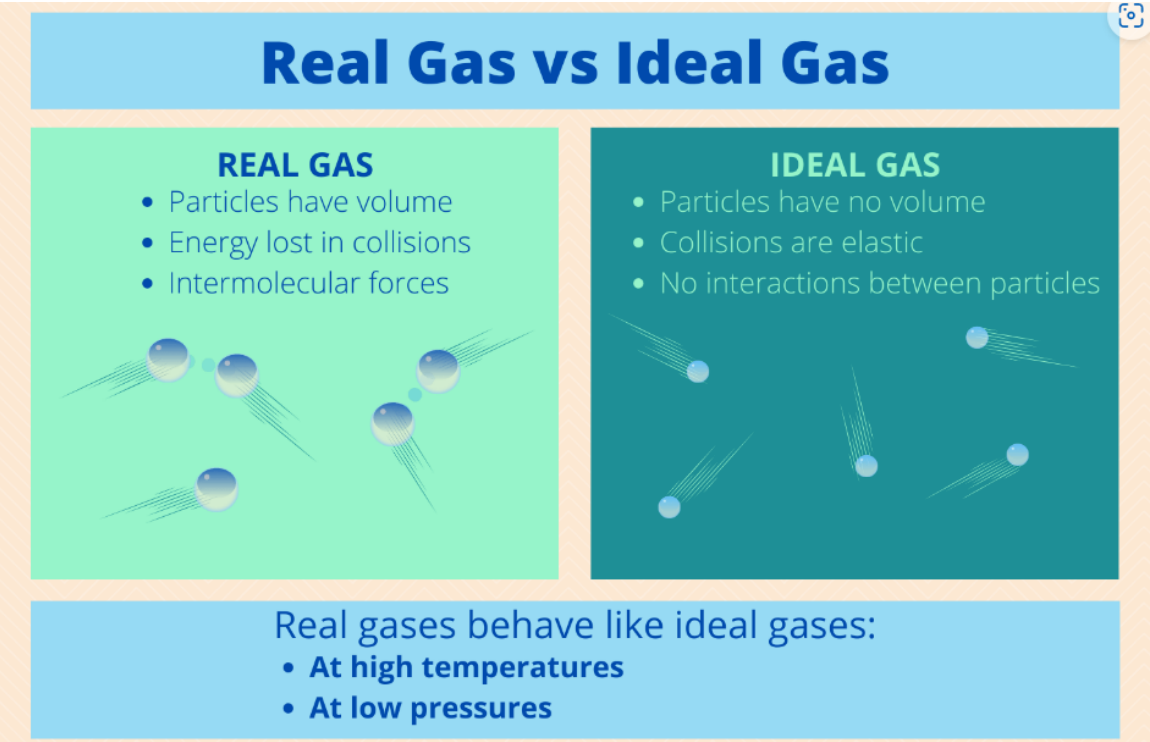
- isobarický proces (p = const),
  (tzv. Charlesov zákon)
- isochorický proces (V = const),
  (tzv. Gay-Lussacov zákon)
- isotermálny proces (T = const),
  (tzv. Boyle-Mariottov zákon)
- adiabatický proces (pV^k = const)
  (nedochádza ku výmene tepla s okolím).

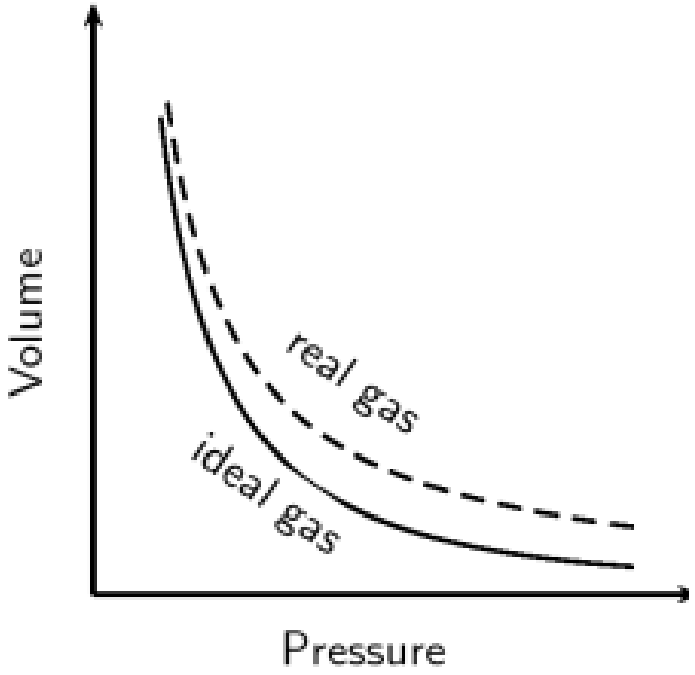
reálny plyn

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 vyšetrovanie 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


Volume
real gas
ideal gas
Pressure

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

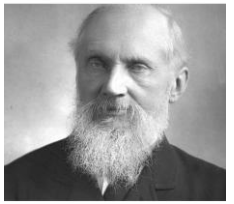
2. termodynamický zákon: Nemôže existovať zariadenie (stroj), trvale konajúci prácu iba „na účet“ trvalého ochladzovania telesa (tzv. perpetuum mobile 2. druhu).
ekvivalentná formulácia: Samovoľne môže teplo (tepelná energia) prechádzať iba z telesa teplejšieho na chladnejšie, nikdy opačne (dôležité je slovo „samovoľne“).

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

Pozn.:
Najnižšia, teoretický možná hodnota: absolútna nula: −273.15 °C

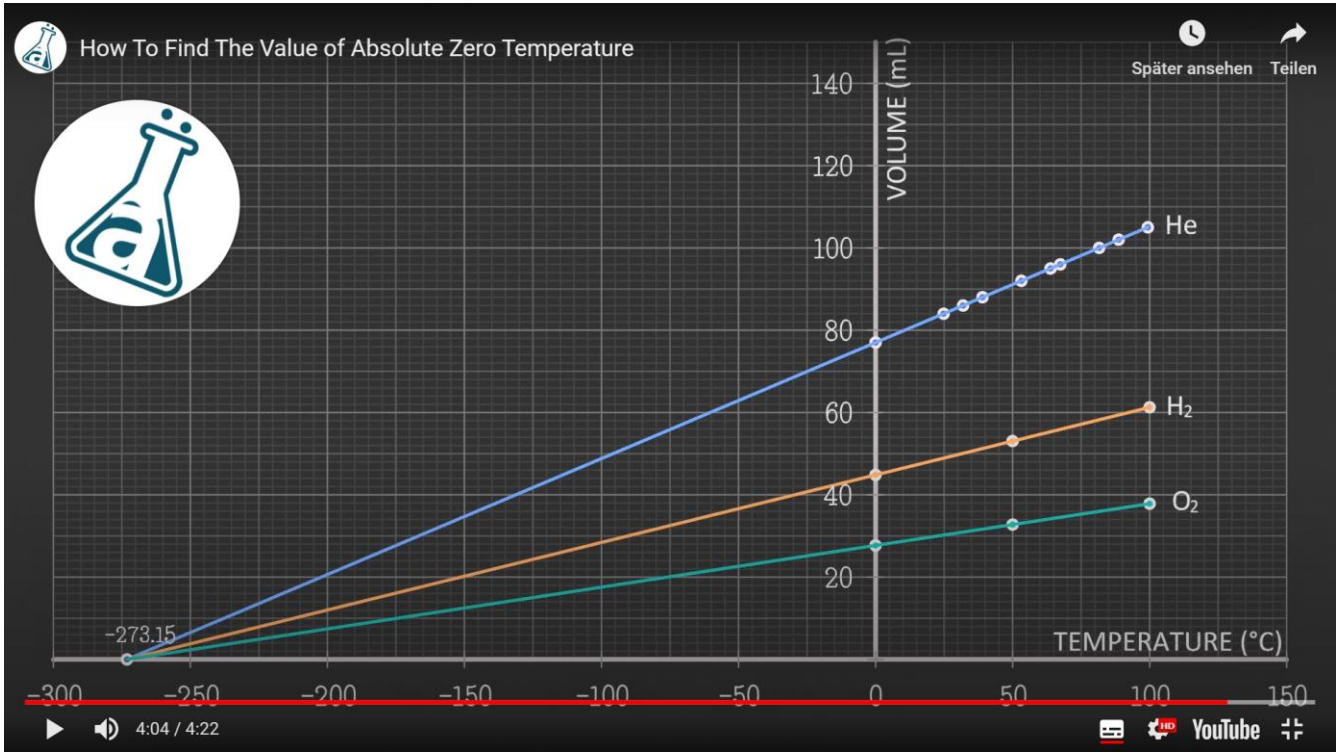
poznámka ku absolútnej nule (jej určeniu)

Wiliam Thomson
(lord Kelvin)



1824 – 1907

Z histórie:
V roku 1848 lord Kelvin (Wiliam 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).

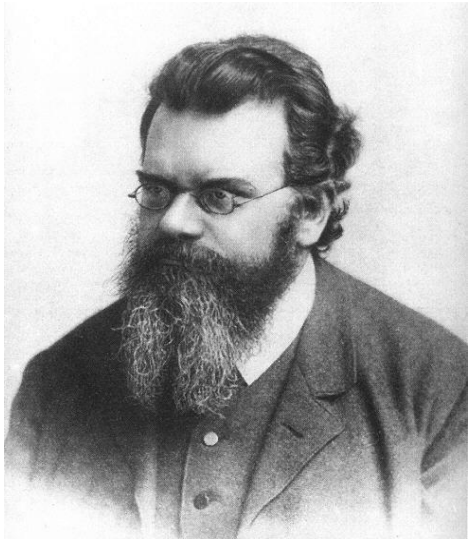


Tieto pokusy boli opakované viacerými odborníkmi a napokon bola konvenciou určená známa hodnota -273.15°C.

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.*

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

$$\varepsilon_{\mathbf{q}} = \frac{\hbar^2 q^2}{2m} \tag{1.1.1}$$

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,