



# Termodynamika úvod – FYZ2 2023 FS

Ing. Štěpán Kunc, Ph.D.

[stepan.kunc@tul.cz](mailto:stepan.kunc@tul.cz)

# Termodynamika

V mnoha případech nelze fyzikální jevy vysvětlit pouze na základě mechaniky

Kromě mechaniky **zkoumá vlastnosti makroskopických systémů z hlediska transformace energií**

Zabývá se **teplenými ději** probíhajícími v makroskopických systémech

Látky jsou složeny z **částic o obrovském počtu** -  $1\text{kg H}_2 \approx 3 \cdot 10^{26}$  částic

Můžeme se pokusit popsat pohyb jednotlivých částic látky pomocí mechaniky  
Určit jejich polohu a rychlost v čase



Mikroskopický přístup

Molekulární dynamika

# Termodynamika

Dva základní přístupy při popisu fyzikálních systémů a procesů

**Statistická metoda** – vychází z částicové povahy látek a skrze teorii pravděpodobnosti a statistiky  
Se snaží popsat vlastnosti makroskopického systému.

**Statistická fyzika**

**Fenomenologická metoda** – makroskopický přístup, který nepřihlíží na částicovou strukturu látek,  
Vychází z empirického a experimentálního pozorování

**Termodynamika**



**Makroskopický přístup**

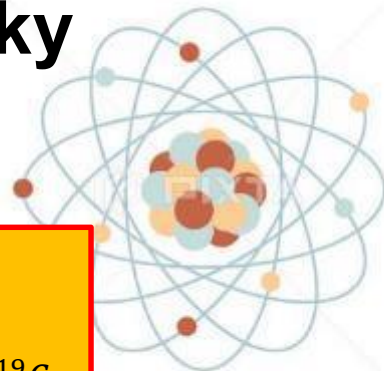
# Základní pojmy molekulové fyziky

**Atom** – nedělitelný chemickým procesy pouze fyzikálními složen z jádra a elektronového obalu

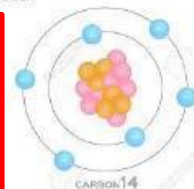
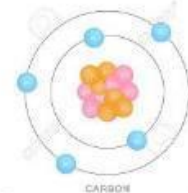
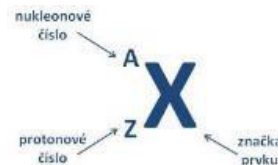
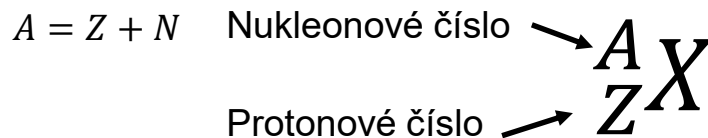
**Proton:**  $m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$      $Q = e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

**Neutron:**  $m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**Elektron:**  $m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$      $Q = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



pixtastock.com - 54490974



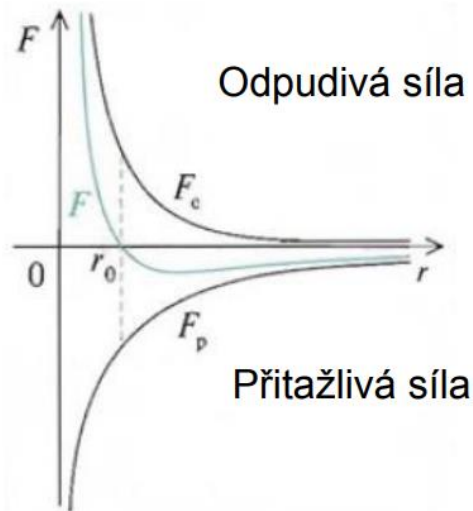
**Prvek X:** soubor atomů (látka) o stejném protonovém čísle a stejném počtu elektronů stejných chemických vlastnostech

**Nuklid prvku:** prvek složený ze stejných atomů ( protonové i nukleonové číslo)

**Izotop:** různé druhy téhož prvku s různým nukleonovým číslem  $^{16}_8\text{O}$      $^{17}_8\text{O}$

# Základní pojmy molekulové fyziky

Molekuly mezi sebou působí interakčními odpuzivými a přitažlivými silami  
Velikost odpuzivých sil se zmenšuje rychleji nežli těch přitažlivých



Pro  $\text{H}_2\text{O}$  .... $r_0 = 0,3 \text{ nm}$

# Základní pojmy molekulové fyziky

Periodická tabulka prvků

## Periodická soustava prvků

1 I. A	2 II. A	3 III. B	4 IV. B	5 V. B	6 VI. B	7 VII. B	8 VIII. B	9 VIII. B	10 VIII. B	11 IB	12 IIB	13 III. A	14 IV. A	15 V. A	16 VI. A	17 VII. A	18 VIII. A
1,0079 1H Vodík	4,00 2He Helium											10,81 5B Bor	12,01 6C Uhlík	14,01 7N Dusík	16,00 8O Kyslík	19,00 9F Fluor	20,18 10Ne Neon
6,94 3Li Lithium	9,01 4Be Berylium											26,98 13Al Hliník	28,09 14Si Křemík	30,97 15P Fosfor	32,06 16S Síra	35,45 17Cl Chlor	39,95 18Ar Argon
22,99 11Na Sodík	24,31 12Mg Hořčík											69,72 31Ga Gallium	72,61 32Ge Germanium	74,92 33As Arsen	78,96 34Se Selen	79,90 35Br Brom	83,80 36Kr Krypton
39,10 19K Draslík	40,08 20Ca Vápník	44,96 21Sc Skandium	47,88 22Ti Titan	50,94 23V Vanad	52,00 24Cr Chrom	54,94 25Mn Mangan	55,85 26Fe Železo	58,93 27Co Kobalt	58,69 28Ni Nikl	63,55 29Cu Měď	65,38 30Zn Zinek	114,82 49In Indium	118,71 50Sn Cín	121,75 51Sb Antimon	127,60 52Te Tellur	126,90 53I Jod	131,29 54Xe Xenon
85,47 37Rb Rubidium	87,62 38Sr Stroncium	88,91 39Y Yttrium	91,22 40Zr Zirkonium	92,91 41Nb Niobium	95,94 42Mo Molybden	98 43Tc Technecium	101,07 44Ru Ruthenium	102,91 45Rh Rhodium	106,42 46Pd Palladium	107,87 47Ag Stříbro	112,41 48Cd Kadmium	204,38 80Hg Thallium	207,20 81Tl Olovo	208,98 82Pb Bismut	209 83Bi Polonium	210 84Po Astat	222 86Rn Radon
132,91 55Cs Cesium	137,33 56Ba Barium		178,49 72Hf Hafnium	180,95 73Ta Tantal	183,85 74W Wolfram	186,21 75Re Rhenium	190,20 76Os Osmium	192,22 77Ir Iridium	195,08 78Pt Platina	196,97 79Au Zlato	200,59 80Hg Rtuf	210 81Tl Thallium	210 82Pb Olovo	210 83Bi Bismut	210 84Po Polonium	210 85At Astat	222 86Rn Radon
223 87Fr Francium	226,03 88Ra Radium		261 104Rf Rutherfordium	268 105Db Dubnium	269 106Sg Seaborgium	270 107Bh Bohrium	278 108Hs Hassium	281 109Mt Meitnerium	281 110Ds Darmstadtium	285 111Rg Roentgenium	285 112Cn Copernicium	286 113Nh Nihelium	289 114Fl Flerovium	289 115Mc Moscovium	293 116Lv Livermorium	294 117Ts Tennessie	294 118Og Oganesson



Uspořádání

podle protonových čísel

Elektronové konfigurace

Cyklicky se opakujících podobných Chemických vlastností( valemní el.)

94 přirozených prvků

24 umělých - nestabilních

6	Lanthanoidy	57La 1,30 Lanthan	58Ce 1,30 Cer	59Pr 1,30 Praseodym	60Nd 1,30 Neodymium	61Pm 1,30 Promethium	62Sm 1,30 Samarium	63Eu 1,00 Europium	64Gd 1,30 Gadolinium	65Tb 1,30 Terbium	66Dy 1,30 Dysprosium	67Ho 1,30 Holmium	68Er 1,30 Erbium	69Tm 1,30 Thulium	70Yb 1,30 Ytterbium	71Lu 1,30 Lutetium
7	Aktinoidy	85Ac 1,00 Aktinium	90Th 1,00 Thorium	91Pa 1,00 Protaktinium	92U 1,00 Uran	93Np 1,00 Neptunium	94Pu 1,00 Plutonium	95Am 1,00 Americium	96Cm 1,00 Curium	97Bk 1,00 Berkelium	98Cf 1,00 Kalifornium	99Es 1,00 Einsteinium	100Fm 1,00 Fermium	101Md 1,00 Mendelevium	102No 1,00 Nobelium	103Lr 1,00 Lawrencium

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Srovnávání hmotností částic

Atom – klidová hmotnost je velmi malá cca  $10^{-26}$  kg

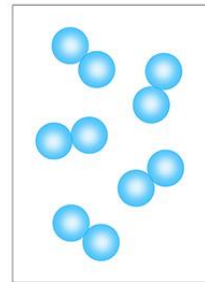
**Relativní atomová hmotnost  $A_r$  :**  $A_r = \frac{m_a}{m_u}$   $A_r(^{12}_6C) = 12$

V tabulkách se uvádí  $^{12}_6C$  99%  
Střední relativní hmotnosti všech izotopů  $^{13}_6C$  1%  
 $^{14}_6C$  nes.  
↓  
 $A_r(^6C) = 12,0107$

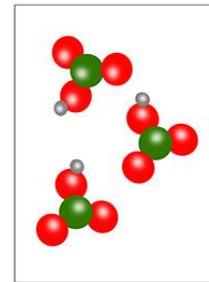
1/12 klidové hmotnosti nuklidu uhlíku  $^{12}_6C \rightarrow m_u \doteq 1,66 \cdot 10^{-27} kg \leftarrow$  Atomová hmotnostní konstanta

Molekula – stabilní soustava složená z více atomů pomocí vazebních sil

**Relativní molekulová hmotnost  $M_r$  :**  $M_r = \frac{m_m}{m_u} = \frac{\sum m_a}{m_u}$



5 O<sub>2</sub>



3 HNO<sub>3</sub>

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Srovnávání počtu částic

Zvolen opět uhlík  $^{12}_6\text{C}$

Počet částic ve vzorku o hmotnosti 0,012 kg je látkové množství 1 mol

**Avogadrova konstanta  $N_a$  :** 
$$N_a = \frac{m_v}{A_r(^{12}_6\text{C})m_u} \doteq 6,022 \cdot 10^{23}$$

$N$  – počet částic (atomy, molekuly,..)

**Látkové množství  $n$ :** 
$$n = \frac{N}{N_a} [\text{mol}]$$

**Molární hmotnost  $M_m$  :**

$$M_m = \frac{m}{n} [\text{kg/mol}]$$

$$M_m = \frac{m}{n} = \frac{mN_a}{N} = \frac{Nm_mN_a}{N} = M_r m_u N_a = M_r \cdot 10^{-3} [\text{kg/mol}]$$

**Molární objem  $V_m$  :**

$$V_m = \frac{V}{n} [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{mol}^{-1}]$$



# Základní pojmy molekulové fyziky

Normální fyzikální podmínky:  
( za normálních podmínek)

**Teplota 0°C, tlak 101,325 kPa**



**Normální molární objem ideálního plynu  $V_{mn}$ :**  $V_{mn} = \frac{V_0}{n} = \frac{m}{\rho_0 n} = \frac{M_m}{\rho_0} \doteq konst. = 22,4 \text{ dm}^3/\text{mol}$

**Avogadrův zákon pro plyny:**

**Plyn o látkovém množství 1 mol za normálních  
Podmínek zaujímá objem 22,14 l**

**Stejné objemy všech plynů obsahují za stejného  
tlaku a teploty vždy stejný počet molekul.**

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Termodynamická soustava:

Je to soustava, které je oddělena od okolí myšleným nebo skutečným rozhraním (např. plyna v nádobě,.....)

1. **Izolovaná** – bez výměny částic, energie s okolím konáním práce nebo tepelnou výměnou
2. **Uzavřená** – bez výměny částic s okolím
3. **Adiabaticky izolovaná** – bez tepelné výměny částic s okolím
4. **Termodynamicky homogenní** – všechny částice ve stejném stavu (teplota, tlak, hustota,.....)
5. **Termodynamicky heterogenní** – soustava složená z homogenních částí s hraničními plochami

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Stav soustavy:

Souhrn všech nezávislých vlastností a vnějších podmínek, ve kterých se termodynamická soustava nachází

Parametry soustavy - popisují stav soustavy, jsou závislé na čase a poloze

## Vnější parametry

Charakterizují vnější podmínky soustavy

Objem  $V$

## Vnitřní parametry

Charakterizují danou soustavu při stejných vnějších parametrech

tlak  $p$   
hustota  $\rho$   
teplota  $T$   
vnitřní energie  $U$   
entropie  $S$

## Stavové veličiny

Soubor makroskopických parametrů  
Jednoznačně definující stav soustavy

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Termodynamický děj:

Jakákoliv změna stavu termodynamického systému  
Mění se některá ze stavových veličin

## Vratný děj

Může probíhat v obou směrech  
V obráceném ději projde soustava  
Všemi stavy zpět a okolí se vrátí do  
stejného  
stavu

**Vratné děje se v přírodě  
Nevyskytují**

## Nevratný děj

Nelze obrátit směr děje

**Každý děj je nevratný**

Vratné děje se reálně v přírodě nevyskytují,  
avšak vždy můžeme vytvořit takový přirozený  
proces, který se s vyžadovanou přesností blíží  
vratnému ději.

Model reálného děje kdy rychlost děje je malá s  
Ve srovnání s relaxačním časem procesů

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Rovnovážný stav:

Soustava je v rovnovážném stavu, pokud všechny stavové veličiny jsou konstantní v čase

Každá termodynamická soustava při neměnných vnějších podmínkách dospěje po tzv. relaxační době  $\tau$  do stavu termodynamické rovnováhy

## Rovnovážný (kvazistatický)

Spojitá posloupnost nekonečně blízkých rovnovážných dějů



Vratný děj

## Nerovnovážný (nestatický)

Rychlost změny stavových parametrů je konečná



Nevratný děj

*Reálný děj je možno považovat za rovnovážný, jestliže probíhá dostatečně pomalu ve srovnání s ději, které určují vznik termodynamické rovnováhy.*

# Základní pojmy molekulové fyziky

**Nerovnovážný (nestatický) stav:**

**Pomalé**

Relaxační doba  $\tau$  velmi malých (makroskopických) dílčích částí soustavy je mnohem menší nežli relaxační doba celé soustavy



**Hypotéza lokální rovnováhy**

Přepokládáme rovnovážné procesy v dílčích částech soustavy, i když v celku probíhá nerovnovážný děj (např. vedení tepla)

**Rychlé turbulentní**

**Např. hoření**



**Neplatí hypotéza lokální rovnováhy**

# Základní pojmy molekulové fyziky

## Termodynamické děje:

izobarický děj

izochorický děj

izotermický děj

adiabatický děj

polytropický děj

tlak je konstantní :  $p = \text{konst.}$

objem je konstantní:  $V = \text{konst.}$

teplota je konstantní:  $T = \text{konst.}$

neprobíhá tepelná výměna s okolím

tepelná kapacita soustavy je konstantní  
 $C = \text{konst.}$