

Ionizující záření v biologii a medicíně

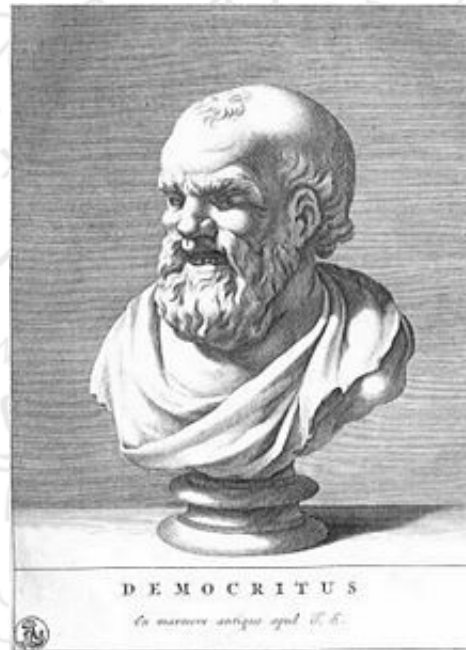
1. Přednáška – základní pojmy



Atom

- 5. století př.nl. Demokritos

- Filosofická teze o konečné dělitelnosti látek
- Nejmenší nedělitelnou částicí je atom



Atom

- První dekáda 19. stol. John Dalton

- Daltonova atomová teorie

- Látky se skládají z malých částic zvaných atomy. Atomy nelze vytvořit, zničit ani rozdělit.
- Atomy jednoho prvku jsou stejné (mají stejnou hmotnost i vlastnosti).
- Atomy různých prvků mají rozdílné vlastnosti a různou hmotnost.
- Atomy se slučují na molekuly v poměrech malých celých čísel.

Atom

- 1897 Joseph John Thomson

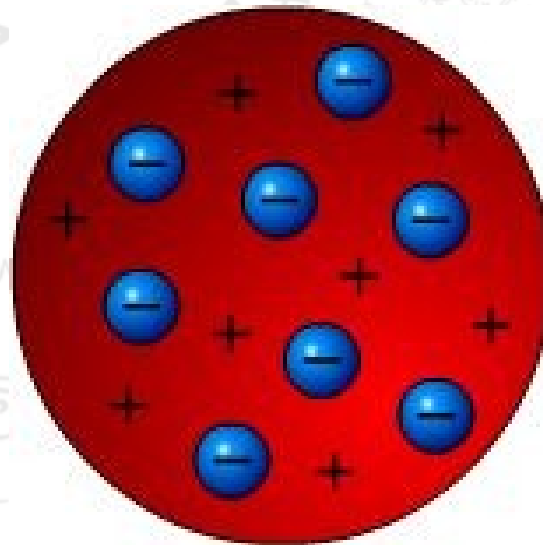
- Při studiu katodového záření objevuje elektron → atom přestává být považován za nejmenší částici hmoty



[Podrobněji](#)

Atom

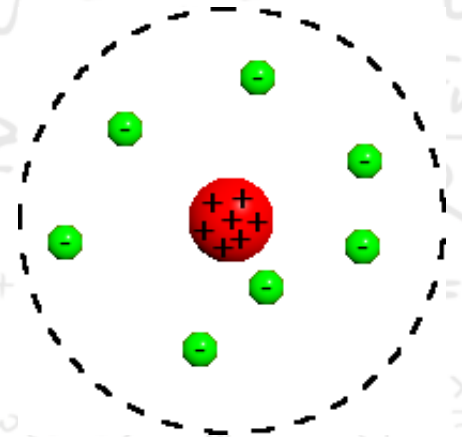
- Thomsonův model atomu „pudinkový“
- Elektronky jsou rovnoměrně rozložené v atomu společně s kladným nábojem, takže výsledný náboj je 0



Atom

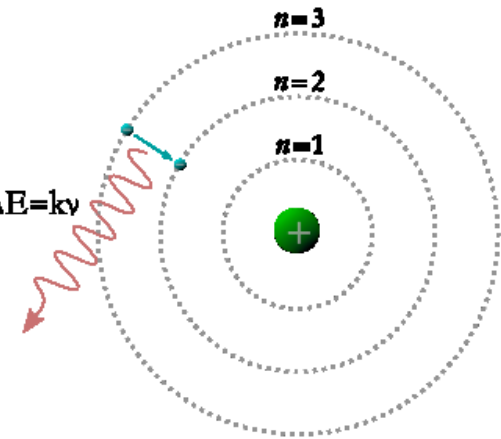
- Ernest Rutherford

- 1909 Experimentálně objevuje atomové jádro
- Ostřelování zlaté fólie alfa částicemi
- Navrhuje nový (planetární) model atomu
- Většina hmoty v malém jádře s kladným nábojem



Atom

$\Delta E = h\nu$



- Niels Bohr

- 1913 Navrhuje nový model atomu
- Energie musí být kvantována a elektrony mohou obíhat jádro pouze v energeticky dovolených drahách
- K přechodu mezi hladinami musí elektron přijmout/vyzářit příslušné množství E
- Pomohl vysvětlit doposud neznámé chování některých atomových spekter

Atom

- Kvantově mechanický model

- Využívá poznatků kvantové mechaniky

- Schrödingerova vlnová rovnice

- Elektron se nepopisuje jako hmotný bod, ale pomocí vlnové funkce (pravděpodobnost výskytu)

- Heisenbergovy relace neurčitosti

- Podrobněji v dalších přednáškách

- Zavedení pojmu orbital

- Oblast s největší pravděpodobností výskytu elektronu v obalu

Elektronový obal

- Kvantově mechanický model

- Kvantová čísla

- Hlavní

- Vedlejší

- Magnetické

- Spinové

Elektronový obal

- Kvantově mechanický model
 - Hlavní kvantové číslo elektronu
 - Popisuje energii elektronu v obalu
 - Dá se srovnat se vzdáleností elektronu od jádra
 - $n = 1, 2, 3, \dots$
 - pro chemiky $n = K, L, M, \dots$

Elektronový obal

- Kvantově mechanický model

- Vedlejší kvantové číslo elektronu

- Popisuje velikost momentu hybnosti [Podrobněji](#)

- Dá se srovnat s tvarem orbitalu

- $l=0,1,2,\dots,n-1$

- Pro chemiky $l=s,p,d,\dots$

Elektronový obal

- Kvantově mechanický model
 - Magnetické kvantové číslo elektronu
 - Popisuje složku momentu hybnosti
 - Dá se srovnat s prostorovou orientací orbitalu v magnetickém poli
 - $m = -l, -l+1 \dots 0 \dots l-1, l$ ($-l \leq m \leq l$)

Elektronový obal

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = U_m$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{r}$$

$$k = \rho^2 / 2m m_0 = \frac{M}{N}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\sqrt{2eU}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi \alpha$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{C}(s)$$

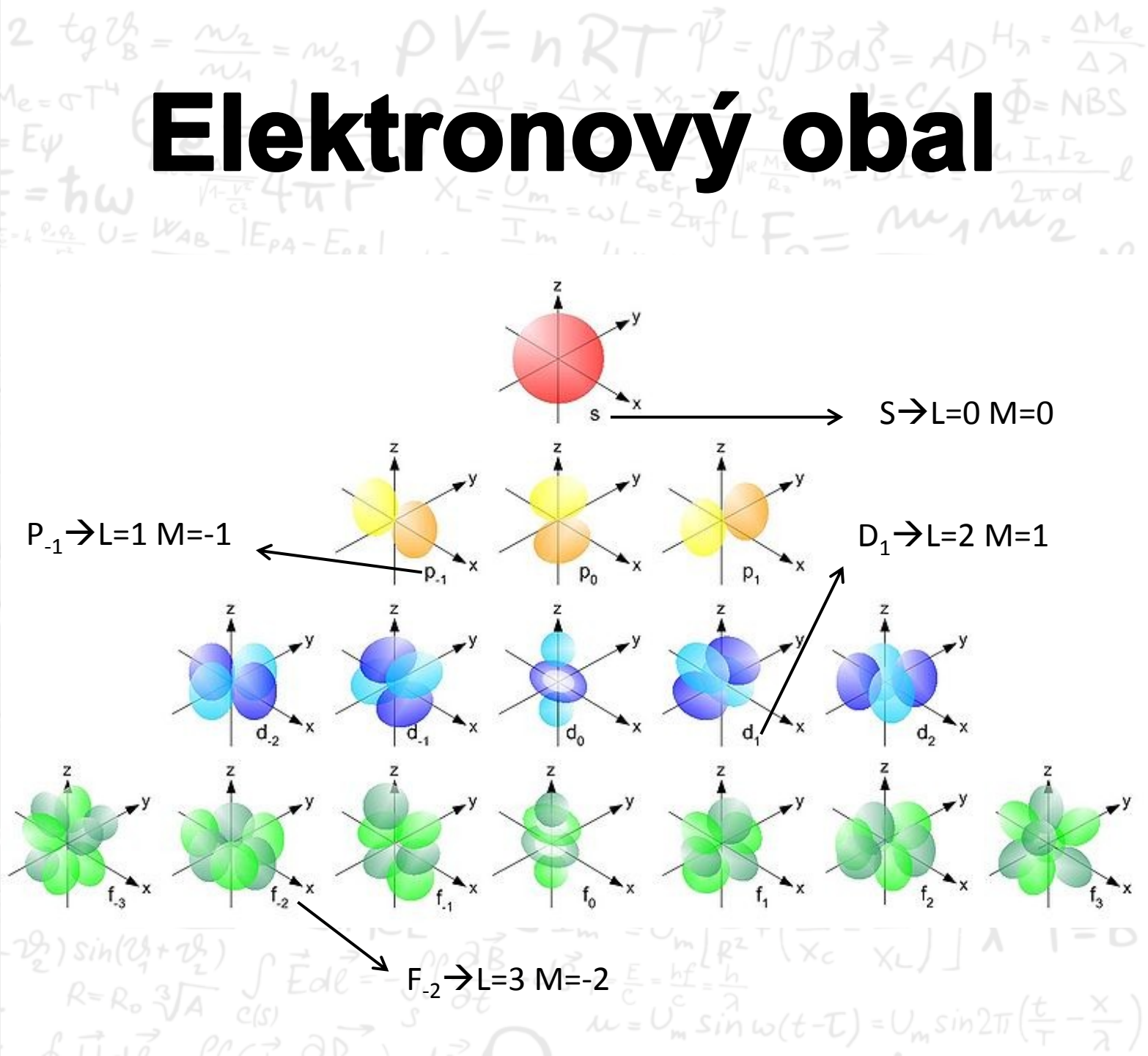
$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN}{M_m}}$$

$$\lambda = \frac{h \nu_2}{T} F_h$$

$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 + \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$



Elektronový obal

- Kvantově mechanický model
 - Spinové kvantové číslo elektronu
 - Popisuje projekci spinu do osy
 - Spin je vnitřní moment hybnosti a nabývá hodnot 0, 1/2, 1, 3/2 ...
 - Elektrony mají hodnotu spinu $s = 1/2$

Elektronový obal

- Wolfgang Pauli

- 1925 Formuluje vylučovací princip. Bylo mu 25 let.

- Žádné 2 nerozlišitelné fermiony nemohou být současně ve stejném kvantovém stavu (nemohou mít shodná všechna kvantová čísla)

- Fermiony jsou částice, které se řídí Pauliho vylučovacím principem

- Mají poločíselný spin (proton, elektron, neutron..)

- Bosony se jím neřídí

- Mají celočíselný spin (foton, boson W, α částice...)

Elektronový obal

- Výstavbový princip

- Orbitaly s nižší energií se zaplňují dřív než orbitaly s vyšší energií
- Orbitaly s nižším součtem $n+l$ se zaplňují dřív
- Pokud je součet shodný, přednost má ten s nižším n
- 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f...

Jádro

- Složeno z nukleonů

- Protonové (Z) a nukleonové (A) číslo - Jednoznačná identifikace A_ZX
- V přírodě $A \in (1,238)$ $Z \in (1,92)$
- Izotopy – mají stejné Z, ale různé A

Jádro

- **Hmotnosti**

- **Atomová hmotnostní jednotka**

- 1/12 klidové hmotnosti $^{12}_6\text{C}$

- 1 u = 1 Da (Dalton) = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ kg = m_u

- **Klidová hmotnost**

- Hmotnost jádra naměřená v klidu

- **Relativní atomová hmotnost**

- $A_r = \frac{m_a}{m_u}$

- m_a – hmotnost atomu

- V periodické tabulce

Jádro

- Hmotnosti

- Molární hmotnost

- SI jednotka kg/mol, ale lépe se pamatuje g/mol

- Číselně je totiž totožná s relativní atomovou hmotností

- Například $A_r(^1\text{H}) = 1,00797$

- $M_m(^1\text{H}) = 1,00797 \text{ g/mol}$

Jádro

- Hmotnosti

- Částicová jednotka eV/c^2

- Využívá se v jaderné fyzice pro popis klidových hmotností částic

- Odvozena z Einsteinova vztahu $m = \frac{E}{c^2}$

- Např. hmotnost $p^+ = 938 \text{ MeV}/c^2$

- Hmotnost $e^- = 511 \text{ keV}/c^2$

Jádro

- **Látkové množství – n**

- SI jednotka mol

- 1 mol látky obsahuje stejný počet částic jako 12 g uhlíku ^{12}C . Toto množství je rovno Avogadrově konstantě (N_A)

- $N_A = 6,022\,141 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

- $n = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{M_m}$

Jádro

- **Hmotnostní úbytek**

- **Očekávaná hmotnost jádra (součet hmotností nukleonů)**

- $m_{nukl} = Zm_p + (A - Z)m_n$

- **Naměřená hmotnost jádra je vždy menší**

- $m_{nukl} - m_{jadr} = \Delta m$

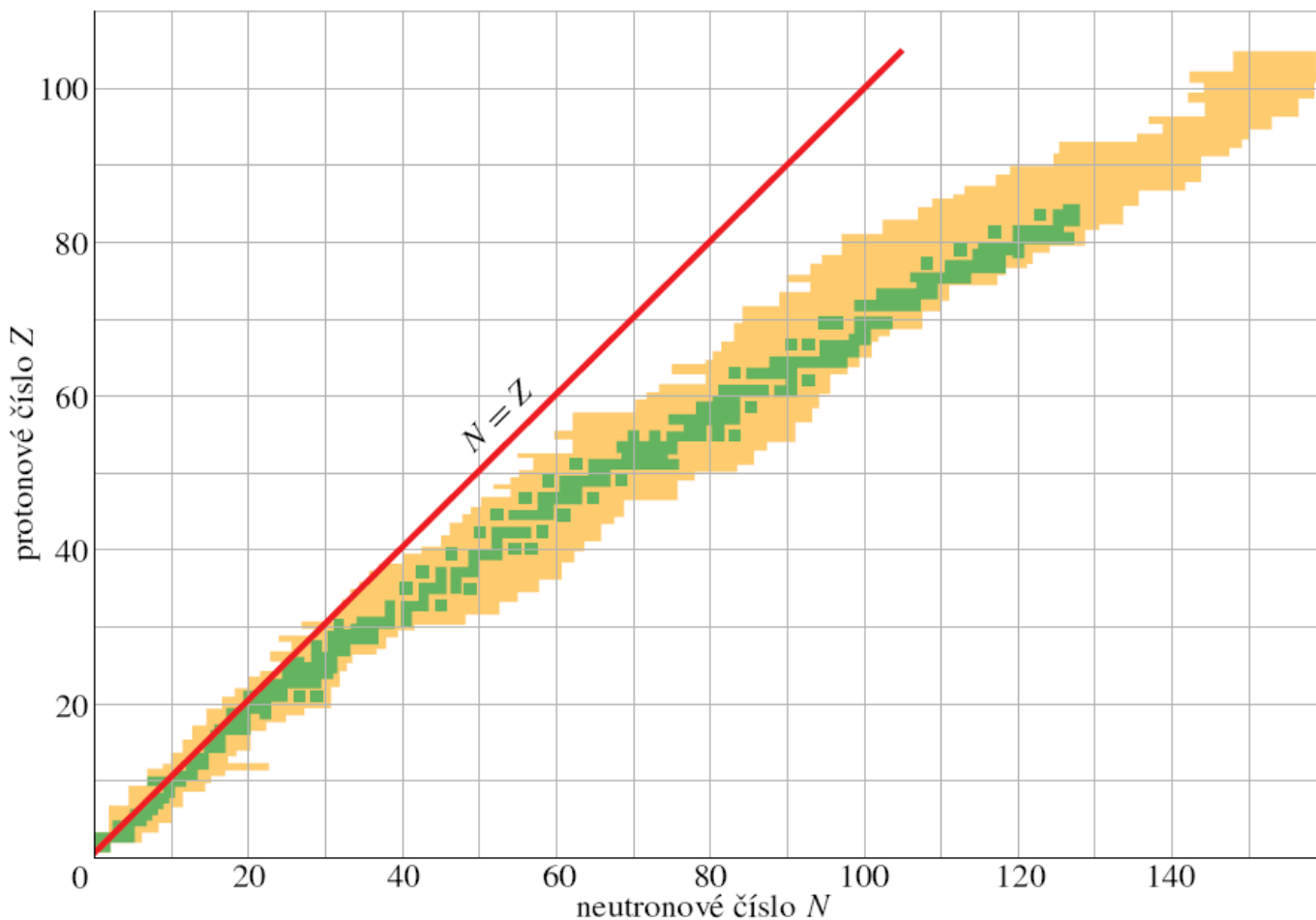
- **Hmotnostní schodek Δm je vždy kladný**

- **Platí $\Delta E = \Delta mc^2$**

- **Tato energie je vazebnou energií jádra**

Jádro

- Stabilita



$E_k = \frac{1}{2} m v^2$
 $-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi}{dx^2} + V\psi = E\psi$
 $U_{ef} = U_m$
 $\vec{B} = \mu_0 \frac{NI\sqrt{2}}{2\pi r}$
 $k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_m}{N_A}$
 $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2eUm_e}}$
 $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{e}} \psi(x) = \sqrt{2}$
 $\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J} d\vec{s}$
 $C(s)$
 $v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_m}}$
 $\lambda = \frac{\ln 2}{T} F_h =$
 $\left(\frac{E_t}{E_0}\right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2)}$
 $E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$
 $S = \frac{1}{A} \frac{d\omega}{dt}$

$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$
 $\rho V = nRT \vec{\Psi} = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD$
 $H_\lambda = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$
 $V = c/\lambda$
 $\Phi = NBS$
 $\Delta x = x_2 - x_1 S_2$
 $\vec{F}_m = \vec{B} I l = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d} l$
 $X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$
 $F_g = \frac{m_1 m_2}{(n_2 + n_1)^2}$
 $g = \frac{c}{r^2}$
 $\frac{U}{2\pi r} = \frac{W_{AB}}{2\pi r} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{2\pi r} = \frac{|\varphi_A - \varphi_B|}{T} = \frac{4 n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$
 $\frac{I_m}{M} = \frac{4 n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$
 $\frac{I_m}{M} = \frac{4 n_1 n_2}{(n_2 + n_1)^2}$

Prvky

- Dmitrij I. Mendělejev

- 1869 – Seřadil prvky podle hmotnosti
- Nové poznatky → úprava tabulky
- Prvky ve skupinách (sloupce) = stejný počet valenčních elektronů, podobné chemické vlastnosti
- Prvky v periodách (řádky) = stejné n
- Z levého dolního do pravého horního roste elektronegativita

[Podrobněji](#)

Prvky

- Rozdílnosti ve skupinách

- Pravidlo podobných vlastností ve skupinách neplatí vždy

- Ve skupinách mohou být i velmi významné fyzikální rozdíly. Jeden z nich ovlivňuje život na celé zemi

[Podrobněji](#)

Prvky

• Prvky se mohou slučovat do molekul

- Důvodem je minimalizace potenciální energie mezi atomy
- Pokud jsou atomy moc blízko, převládá odpudivá síla nad přitažlivou
- Naopak, když jsou moc daleko, je přitažlivá síla příliš slabá

Prvky

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + V \psi = E \psi$$

$$U_{ef} = U_m$$

$$\vec{B} = \mu_0 \frac{NI \sqrt{2}}{2r}$$

$$k = \frac{p^2}{2m} m_0 = \frac{M_p}{N_A}$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\oint \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int \vec{J} d\vec{s}$$

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{M_m}}$$

$$\lambda = \frac{h \ln 2}{T} F_h$$

$$\left(\frac{E_t}{E_0} \right)_{\parallel} = \frac{2 \cos \vartheta_1 \cos \vartheta_2}{\cos(\vartheta_1 - \vartheta_2)}$$

$$E_y = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

$$S = \frac{1}{A} \frac{dW}{dt}$$

$$2 \operatorname{tg} \vartheta_B = \frac{m_2}{m_1} = m_{21}$$

$$Me = \sigma T^4$$

$$\phi_e = \frac{L}{4\pi r^2}$$

$$U = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{|E_{PA} - E_{PB}|}{q}$$

$$pV = nRT$$

$$\vec{\Psi} = \iint \vec{D} d\vec{S} = AD$$

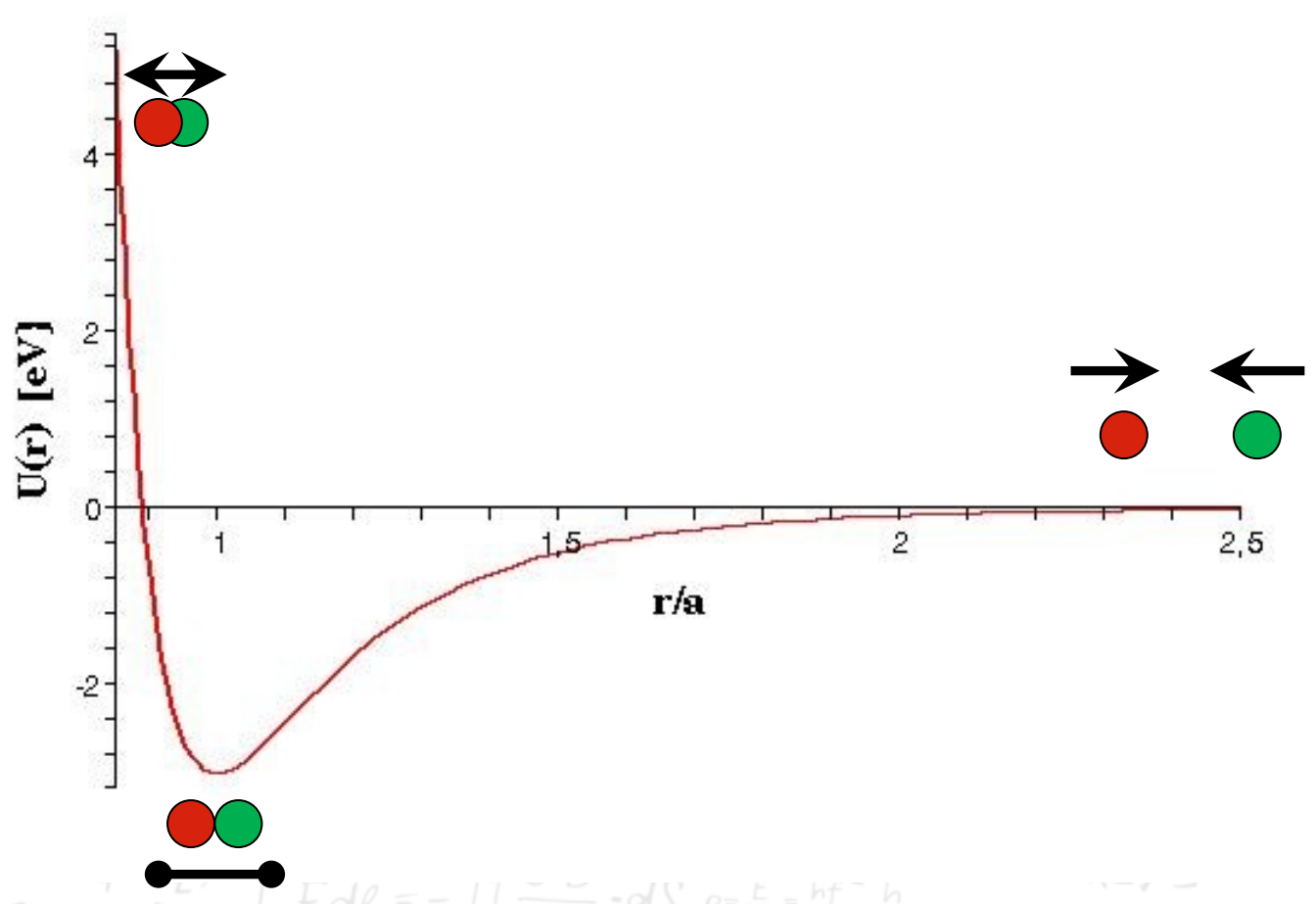
$$H_{\lambda} = \frac{\Delta Me}{\Delta \lambda}$$

$$V = c/\lambda$$

$$\Phi = NBS$$

$$X_L = \frac{U_m}{I_m} = \omega L = 2\pi f L$$

$$F_0 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$$



$$R = R_0 \sqrt[3]{A}$$

$$E d\vec{l} = -\int \frac{\partial \vec{S}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$u = U_m \sin \omega(t - \tau) = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

To je vše přátelé...

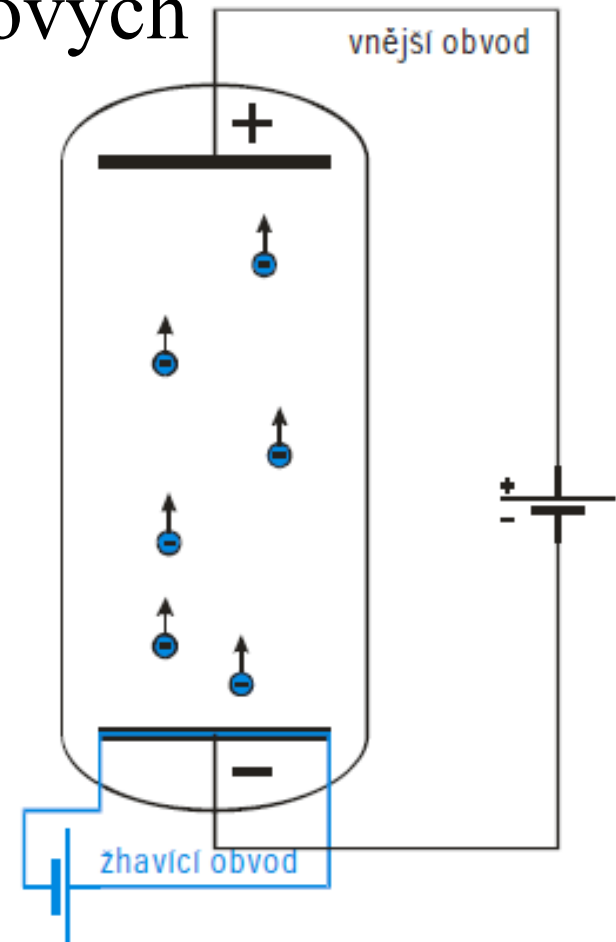


...pro dnešek...

Děkuji za pozornost

Dodatky 1

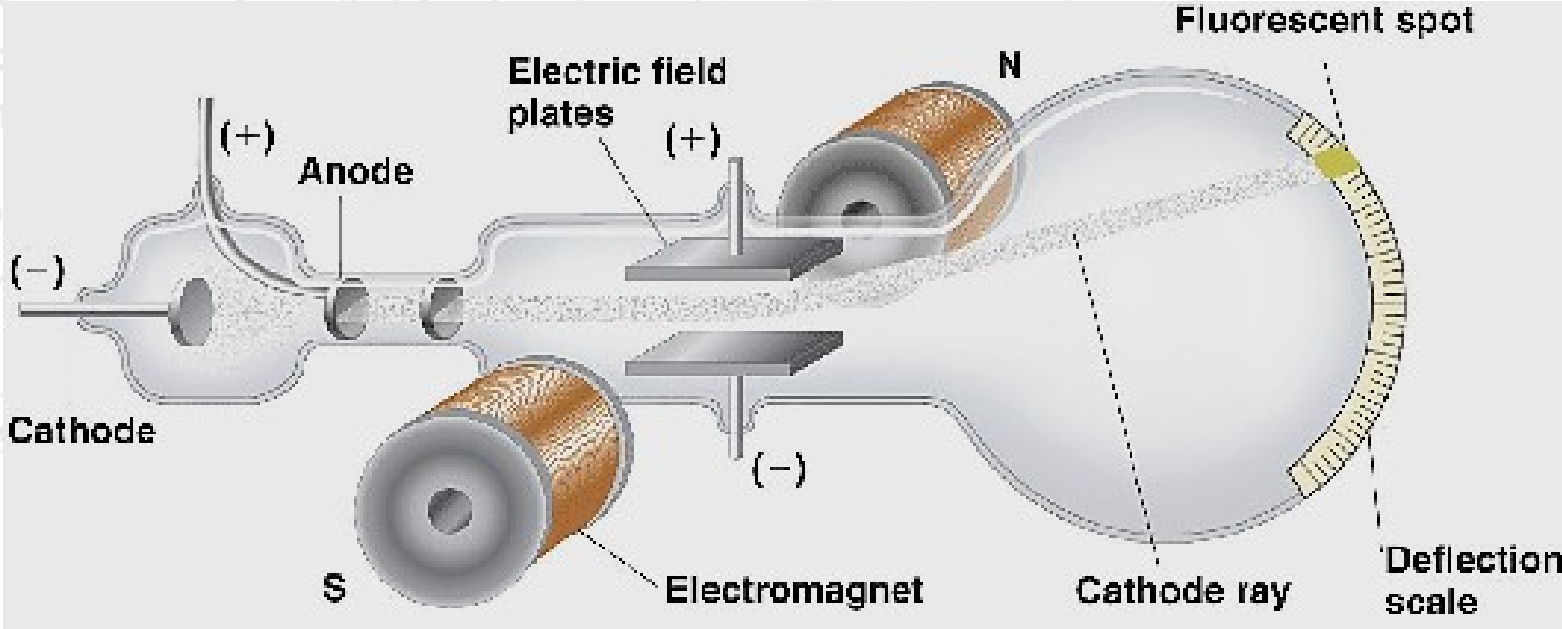
- 1869 objev katodového záření (Hittorf) v upravených Geisslerových trubicích
- Ohýbá se v mag. poli
- Má záporný el. náboj
- Co to je?



[zpět](#)

Dodatky 1

- 1897 Thomsonův experiment



Dodatky 1

- Záporně nabytá částice získá v elektrickém poli potenciální energii

$$E = Q U$$

- Ta se mění na kinetickou $E = \frac{1}{2} m v^2$

$$QU = \frac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2QU}{m}}$$

Dodatky 1

- Víme, že se proud záření ohýbá po kružnici
- Dostředivá síla při pohybu po kružnici
- Záření je ohýbáno Lorentzovou silou

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$F = QvB$$

$$mv^2 = QvBr$$

$$\frac{Q}{m} = \frac{v}{Br}$$

Dodatky 1

- Po dosazení za rychlost

$$\frac{Q}{m} = \frac{\sqrt{\frac{2UQ}{m}}}{Br} \quad / \quad \text{umocníme}$$

$$\frac{Q^2}{m^2} = \frac{2UQ}{mB^2r^2} \quad / \quad Q \quad m$$

$$\frac{Q}{m} = \frac{2U}{B^2r^2}$$

Dodatky 1

- Thomson vypočítal náboj katodového záření rovný kationtu vodíku
- Hmotnost částice katodového záření vypočítal přibližně 1000x menší než atomu vodíku
- Usuzoval, že se jedná o částici, která se nachází uvnitř atomu

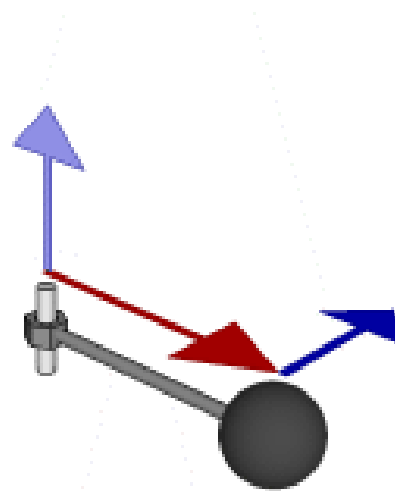
Konec 1. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 2

- Moment hybnosti ($\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$)
- Popisuje rotační pohyb tělesa

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$
$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$$



Podrobněji na 7. přednášce (MRI)

Konec 2. dodatku

[zpět](#)

Dodatky 3

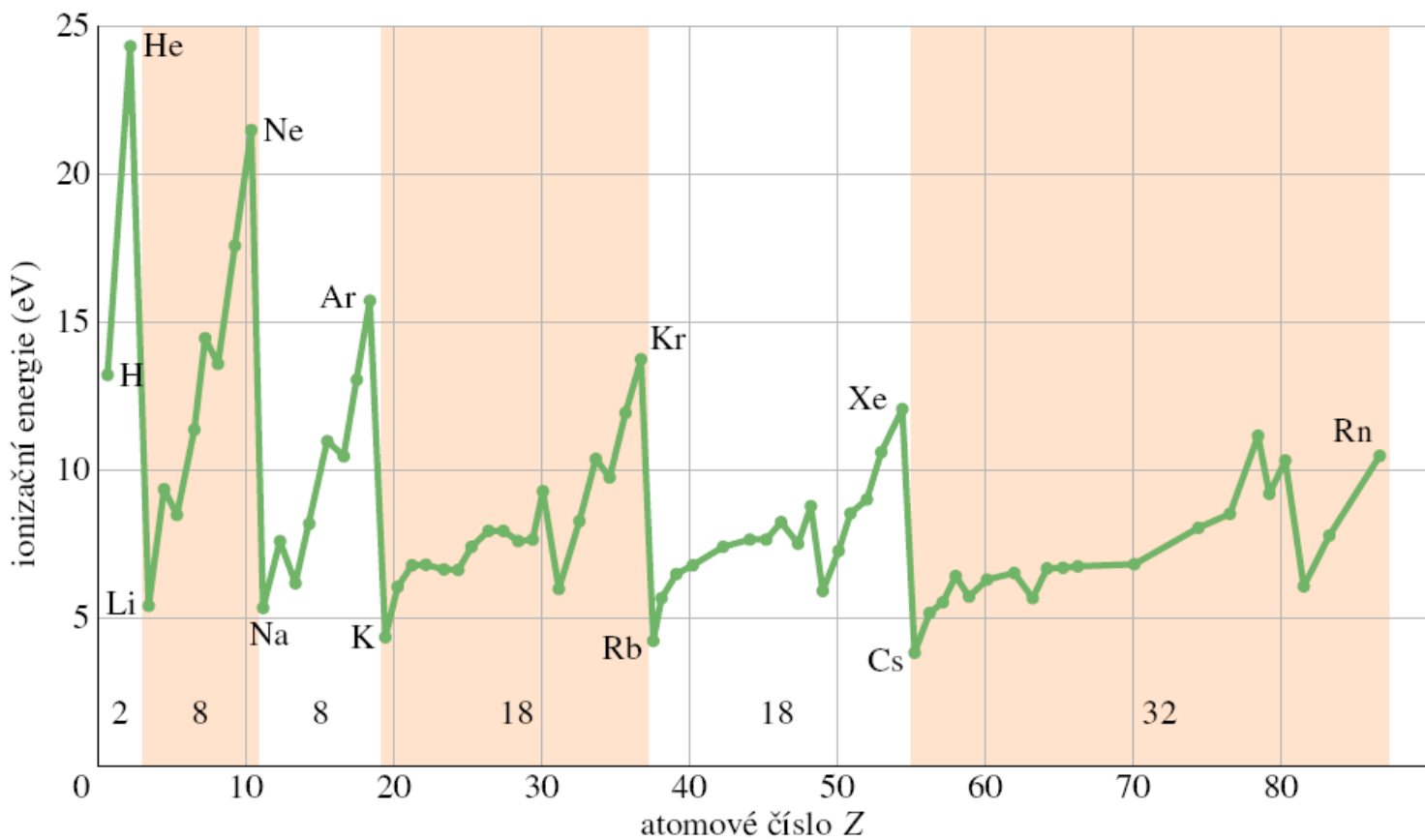
- Periodická tabulka prvků

- Prvky ve stejné skupině („sloupci“) mají stejný počet valenčních elektronů. Proto většinou vykazují podobné chemické vlastnosti

- Prvky v 18. skupině (vzácné plyny) mají zcela zaplněné všechny orbitaly. Mají nejvyšší ionizační energii a je velmi obtížné je ionizovat a dlouho nebyly známy jejich sloučeniny. Proto se jim říká inertní (netečné) prvky.

Dodatky 3

• Ionizační energie prvků



Dodatky 3

- Periodická tabulka prvků

➤ Oproti tomu, prvky z 1. skupiny (alkalické kovy) mají ve valenční vrstvě 1 volný elektron, který je „nadbytečný“ oproti vysoce stabilní elektronové konfiguraci vzácných plynů a mají tendenci lehce se jej zbavovat. Proto je jejich ionizační energie minimální.

➤ Všechny velmi rychle a bouřlivě reagují s vodou

Dodatky 3

- Periodická tabulka prvků

➤ Prvkům ze 17. skupiny (halogeny) chybí 1 elektron do elektronové konfigurace vzácných plynů. Proto se ho snaží získat což se projevuje na jejich vysoké elektronegativitě.

➤ Jejich podobné reakce jsou [zde](#)

<https://www.youtube.com/watch?v=u2ogMUDBaf4>

Konec 3. dodatku

[Zpět](#)

Dodatky 4

- Všechny prvky z 16. skupiny (chalkogeny) tvoří sloučeniny s vodíkem

Molekula	T tání [°C]	T varu [°C]
H ₂ O	0	100
H ₂ S	-82	-60
H ₂ Se	-65	-41
H ₂ Te	-49	-2

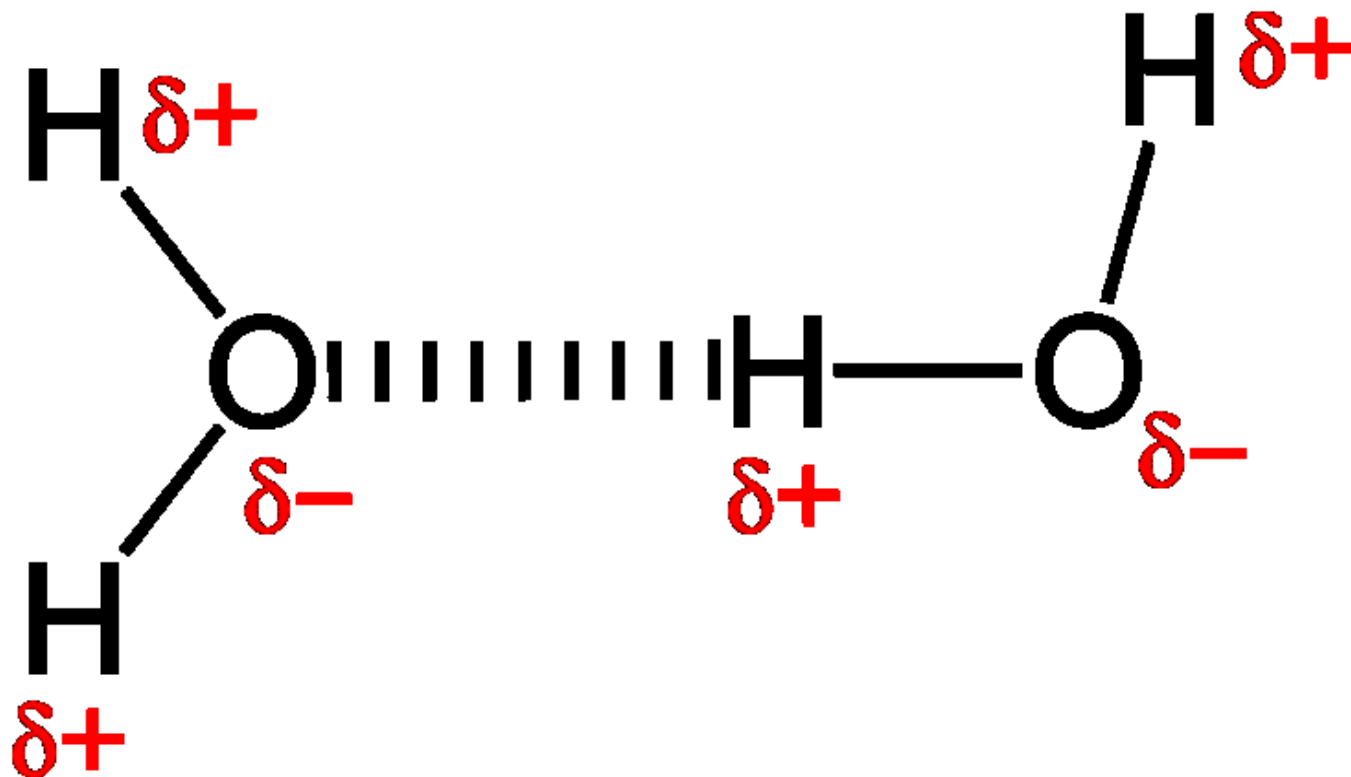
- Proč tak odlišná teplota u H₂O?

Dodatky 4

- Vodíková vazba

- Je slabší než iontová nebo kovalentní, ale silnější než ostatní vazby
- Silně ovlivňuje teplotu tání a varu
- Ke vzniku musí být přítomen vodík navázaný na silně elektronegativním prvku a další prvek s volným elektronovým párem
- Na vodíku vzniká kladný parciální náboj, na který se může navázat elektron z nevazebného elektronového páru

Dodatky 4



Konec 4. dodatku

[Zpět](#)