

ZÁKLADY KVANTOVÉ FYZIKY

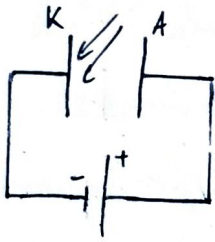
- 1900 ji založil Max Planck ; kvantum energie = foton

• kvantová hypotéza: zářivé těleso nvyzraduje energii spojité, ale v jednotlivých kvantech o hodnotě $E = h \cdot f$; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
 $E = h \cdot \omega$

• fotoelektrický jev - nastává při dopadu záření na kov

• vnitřní - uvolňování e^- do kovu \Rightarrow volné $e^- \rightarrow \uparrow$ vodivost

• vnější - po dopadu záření na kov se do prostoru uvolní e^-



\rightarrow na katodu dopadá záření \Rightarrow uvolňují se $e^- \Rightarrow$ proud I

• mezí frekvence

- aby fotoelektrický jev probíhal, $\text{tož } f > f_m$

- počet uvolněných elektronů \sim intenzita záření

- rychlost uvolněných elektronů $\sim f$

\rightarrow fotoelektrický jev nelze vysvětlit klasickou fyzikou

• Einsteinova rovnice fotoelektrického jevu \sim ZZME

$$h \cdot f = h \cdot f_m + \frac{1}{2} m_e v^2$$

E_{kvanta}

E_k uvolněného elektronu

\hookrightarrow výstupní práce W_{vr} = ionizační energie

$$[W_{\text{vr}}] = \text{eV}$$

\rightarrow 1905 publikoval Einstein 3 práce

• o fotoelektrickém jevu \Rightarrow Nobelova cena

• speciální teorii relativity

• matematické vysvětlení Brownova pohybu

\rightarrow foton se chová jako částice: dopadne, ranične a jeho E se vyvíje na uvolnění e^-

\Rightarrow vlňové - korpuskulární dualismus světla

- vlnový charakter: f, λ
- částicový: proud fotonů

\hookrightarrow rozpor s klasickou fyzikou

• foton - klidová hmotnost = 0

! hmotnost v pohybu $m = \frac{E}{c^2}$

• hybnost fotonu

$$p = m \cdot c = \frac{m c^2}{c} = \frac{E}{c} = \frac{h f}{c} = \frac{h}{\lambda} \Rightarrow \underline{p = \frac{h}{\lambda}}$$

• Comptonův jev (rozptyl)

- jeden z argumentů pro částicový charakter světla
- foton se sráží s atomem (elektronem) a předá mu část své E
 \Rightarrow sníží se jeho E \Rightarrow zvýší se jeho λ
- Compton přeměřoval rozptýlené rentgenové záření (malá λ) na grafitové destičce (velmi slabě narázané $e^- \rightarrow$ téměř volné)
 \Rightarrow zjistil, že rozptýlené záření má $\uparrow \lambda$ než to dopadající
 \Rightarrow spor s klasickou fyzikou
 $\rightarrow \lambda$ roste při odrazení \Rightarrow světlo \sim částice
- platí ZEMĚ: $E = E' + E_k$
- platí ZZM: $\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$

• De Broglieovy vlny

- pokud přičítáme vlně částicový charakter, proč bychom nemohli přičíst částicím vlnový charakter?
- přivazuje částicím s klidovou hmotností m_0 vlnu λ
 \Rightarrow A částice s hybností \vec{p} je spojená vlna $\lambda = \underline{\frac{h}{p}}$

• vlnová funkce

- kvantová mechanika popisuje pohyb částice pomocí kv. vlnové ψ

$$\psi = \psi(x, y, z, t)$$

průměrně $|\psi|^2$ udává jst. výskytu dané částice v daném místě a čas

• Heisenbergův princip neurčitosti

- čím přesněji zjistíme polohu částice, tím méně víme o její hybnosti a naopak: $\underline{\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2}}$
- spor s klasickou fyzikou: nelze přesně určit počáteční podmínky systému a tudíž ani předpovědět jeho chování

• Bohrov model atomu

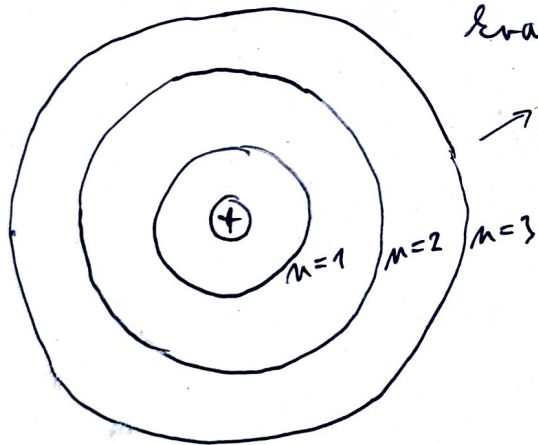
- atom je stabilní soustava \oplus jádra a \ominus elektronového obalu
- může se nacházet v různých energetických (kvantových) stavech
- elektrony se vyskytují na různých vrstvách
 - když přejde e^- z vyšší energetické vrstvy E_m na nižší E_n , pak atom vyžáří foton o frekvenci $h\nu = E_m - E_n$
 - když atom pohltí foton o příslušné frekvenci, tak e^- přejde do vyšší e. vrstvy

• Kvantová čísla - popisují kvantové stavy atomu

- hlavní kvantové č. $n \sim$ energie orbitálu
- vedlejší kvantové č. $l \sim$ tvar orbitálu
- magnetické kv. č. $m \sim$ orientace orbitálu v prostoru
- spinové kvantové č. $s \sim$ spin elektronu

→ orbital = místo a největší příb. výskytu elektronu

→ Pauliho princip: v 1 orbitálu se nemohou nacházet 2 e^- o stejných kvantových číslech



→ e^- o stejném n zaplňují slupky / hladiny
poloměr hladiny $r_n \sim n^2$
energie hladiny $E_n \sim \frac{1}{n^2}$

• Interakce světla a látkou

• absorbce - atom pohltí foton a e^- přejde do vyšší e. vrstvy

• samovolná emise - ta vyšší vrstva je méně stabilní

→ e^- se po chvíli vrátí zpět a vyžáří foton

např.:

—	E_4	} nestabilní - okamžitě přejde níž
—	E_3	
—	E_2	→ metastabilní - chvíli tam vydrží
—	E_1	→ nejstabilnější

• stimulovaná emise

- e^- je na metastabilní úrovni

- přilehne foton a „shodí“ ho dolů \Rightarrow vyžáří se foton

↳ toto může udělat pouze foton o stejné frekvenci,
jako má ten vyžářený foton

\Rightarrow tyto dva fotony mají stejnou f ($\Rightarrow E$) a jsou ve fázi

\Rightarrow jsou koherentní

\Rightarrow LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

↳ nejprve dostaneme více e^- na tu metastabilní úroveň
a fotonem je všechny jedním fotonem shodíme

\Rightarrow hodně koherentních fotonů \Rightarrow velká intenzita záření

\rightarrow ta látka se delší dobu nabíjí a potom se všechna ta e^- uvolní

24 - Základy kvantové fyziky

1) Jakému druhu elektromagnetického záření přísluší fotony, jejichž energie je:

a) $2 \cdot 10^{-17}$ J,

b) $4 \cdot 10^{-19}$ J,

c) $3 \cdot 10^{-23}$ J?

2) Urči energii a hybnost fotonů krajních vlnových délek spektra viditelného záření $\lambda_1 = 390$ nm (fialová) a $\lambda_2 = 760$ nm (červená). Hodnoty energie uveď v jednotkách eV, hodnoty hybnosti v základních jednotkách SI.

3) Energie fotonu měkkého rentgenového záření je 4 136 eV. Vypočítej jeho hybnost, vlnovou délku a frekvenci.

4) Vnější fotoelektrický jev nastane u stříbrné elektrody při nejdelší vlnové délce světla 260 nm. Urči výstupní práci stříbra v jednotkách eV a hybnost dopadajícího fotonu.

5) Zinková elektroda je ozářena ultrafialovým zářením o frekvenci 937,5 THz. Výstupní práce zinku je 3,74 eV. Jakou rychlost mají elektrony uvolněné ze zinku při vnějším fotoelektrickém jevu?

ZÁKLADY KVANTOVÉ FYZIKY

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

nadřádek $f \approx 10^{14} \text{ Hz}$

1) $f = ?$

a) $E = 2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$ $\Rightarrow f = \frac{E}{h} = 3 \cdot 10^{16} \text{ Hz}$

UV / RTG

2) $\lambda_1 = 390 \text{ nm}$

$\lambda_2 = 760 \text{ nm}$

$E, p = ?$

$$E_1 = h \cdot f_1 = h \cdot \frac{c}{\lambda_1} = 5 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \underline{\underline{3,2 \text{ eV}}}$$

$$p: E^2 = (\cancel{mc^2})^2 + (p \cdot c)^2 \Rightarrow p = \frac{E}{c} = \frac{h f}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

$$\Rightarrow p_1 = \frac{h}{\lambda_1} = \underline{\underline{1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg m s}^{-1}}}$$

3) $E = 4136 \text{ eV}$

$\lambda, f, p = ?$

$$E = h f \Rightarrow f = \frac{E}{h} = \underline{\underline{10^{18} \text{ Hz}}}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^{18}} \text{ m} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m} = \underline{\underline{0,3 \text{ nm}}}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h f}{c} = \underline{\underline{2,2 \cdot 10^{-24} \text{ kg m s}^{-1}}}$$

4) $\lambda_m = 260 \text{ nm}$

$W_v, p = ?$

$$W_v = h \cdot f_m = h \cdot \frac{c}{\lambda_m} = \underline{\underline{4,77 \text{ eV}}}$$

$$p = \frac{h}{\lambda} = \underline{\underline{2,5 \cdot 10^{-27} \text{ kg m s}^{-1}}}$$

5) $f = 937,5 \text{ THz}$

$W_v = 3,74 \text{ eV}$

$v = ?$

$$h \cdot f = W_v + \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2(h \cdot f - W_v)}{m_e}} = \underline{\underline{220 \text{ km s}^{-1}}}$$