

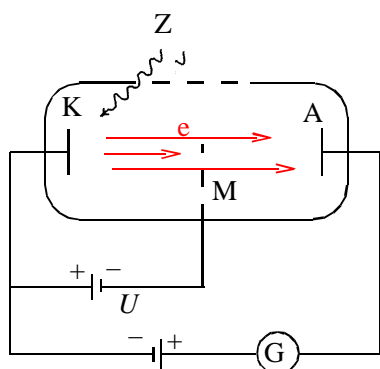
## Kvantová fyzika

Stěny černého tělesa mohou vysílat záření jen po energetických kvantech (M. Planck-1900).  
Velikost kvanta energie je  $E = h \cdot f$  ...  $f$  - frekvence záření,  $h$  - konstanta

### Fotoelektrický jev (FJ)

- dopadající záření uvolňuje z kovu elektrony

Na katodu  $K$  dopadá záření, které z katody uvolňuje elektrony. Galvanometrem měříme proud v obvodu. Mřížka  $M$  má nižší potenciál než katoda a brzdí vyletující elektrony. Pokud zvětšujeme tento brzdný potenciál mřížky, od jeho jisté hodnoty nepropouští mřížka žádné elektrony a obvodem přestane protékat proud. Tímto způsobem je možno měřit maximální kinetickou energii elektronů uvolněných z katody zářením o frekvenci  $f$ .



Očekávaný výsledek z hlediska klasické fyziky:

Počet uvolněných elektronů z katody, tj. el. proud protékající obvodem, závisí pouze na intenzitě použitého záření a ne na jeho frekvenci.

Pozorované výsledky:

- 1) Pro každý kov existuje jistá tzv. mezní frekvence  $f_0$ . Jen záření s  $f > f_0$  je schopno uvolnit elektrony z kovu.
- 2) Pro  $f > f_0$  je proud přímo úměrný intenzitě dopadajícího záření ( $E$  za 1 s na 1 m<sup>2</sup>)
- 3) Energie elektronů uvolněných z katody se zvětšuje se zvětšováním frekvence dopadajícího záření a nezávisí na intenzitě dopadajícího záření.

Pro klasickou fyziku je překvapivý bod 1:

Klasická představa: Dopadající záření rozkmitává elektrony v kovu. Při větší intenzitě by se měly rozkmitat více a při zvyšování intenzity by měly být schopné opustit kov.

Einsteinovo vysvětlení FJ (r. 1905, Nobelova cena 1921):

Energie záření není v prostoru rozložena spojitě, ale skládá se z energetických kvant, která mohou být pohlcena a vyzářena jen jako celky. Elektromagnetická vlna se chová jako soubor světelných kvant, z nichž každé má energii  $E$  a hybnost  $\vec{p}$ .

Platí:

$$E = hf \quad \dots \text{ energie světelného kvanta}$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \dots \text{ hybnost světelného kvanta}$$

$$h \doteq 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \quad \dots \text{ Planckova konstanta}$$

energetické kvantum = **foton**

směr hybnosti = směr šíření elmg. vlny

Při FJ každý foton odevzdá celou energii jedinému elektronu v kovu. Část této energie se spotřebuje na uvolnění el. z kovu – tzv. výstupní práce  $W_v$  a zbytek zůstane elektronu jako jeho kin. energie. Ze zákona zachování energie se pak dostane Einsteinova rovnice FJ:

$$hf = W_v + \frac{1}{2}mv^2$$

pro  $f_0$  platí:

$$hf_0 = W_v$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}$$

Energie fotonu se udává zpravidla v elektronvoltech (eV).

1eV = energie, kterou získá částice s elementárním nábojem při přechodu mezi místy s rozdílem potenciálu 1 V, tj.  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ .

**Příklad:** Výstupní práce pro sodík je 2,1 eV. S jakou energií budou vyletovat elektrony z povrchu sodíkové katody, když na ni dopadá ultrafialové záření s vlnovou délkou 300 nm?

Řešení:

$$E_k = hf - W_v = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19}} - W_v = 2 \text{ eV}$$

fotoel. jev **vnější:** uvolnění el. z kovu

**vnitřní:** uvolnění el. v polovodiči, zvýšení počtu nosičů náboje (fotobuňky, fotosyntéza, televizní kamery, xerox atd.)

**Comptonův jev** (Nobelova cena 1927)

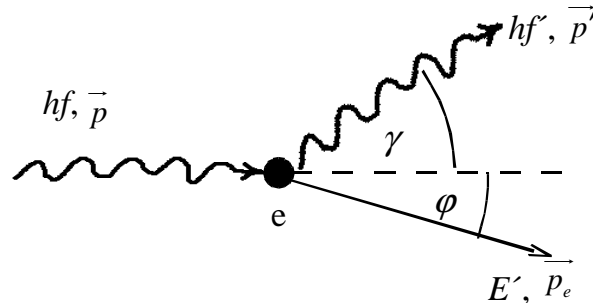
Rozptyl rentgenového záření na elektronech

$$\lambda = 0,07 \text{ nm}$$

V rozptýleném záření je obsaženo nejen záření s původní vlnovou délkou  $\lambda$ , ale také záření

s větší vlnovou délkou  $\lambda'$ .

Klasická fyzika: dopadající záření má frekvenci  $f$ , s touto frekvencí bude kmitat rozkmitaný elektron a proto bude vysílat záření opět této frekvence - frekvence rozpt. záření se nemění.



Kvantová fyzika vysvětluje Comptonův jev jako srážku dvou částic.

Chová-li se foton jako částice, rozptyl fotonu na elektronu lze chápat jako srážku fotonu s elektronem. Foton při srážce odevzdá část své energie elektronu, energie fotonu před srážkou je  $hf$ , energie fotonu po srážce je  $hf'$ . Elektron získá energii  $E'$ .

Ze ZZE plyne:

$$hf = hf' + E'$$

$$\Rightarrow f' < f \Rightarrow \lambda' > \lambda$$

musí platit též ZZH:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e$$

Rozdíl pozorovaných vln. délek jednoznačně vyplývá ze ZZE a ZZH.

## Co je vlastně foton? Vlna nebo částice?

vlnění: ohyb(dvojštěrbina)

interference

částice: fotoefekt

Comptonův jev

Foton je objekt mikrosvěta, který má částicové i vlnové vlastnosti, ale není ani částice, ani vlna.

## Světelná kvanta, nebo světelné vlny?

Elmg. záření je nositelem

- energie  $E = hf$

- hybnosti  $p = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}$

- setrvačnosti

- momentu hybnosti

Jan Fischer - Průhledy do mikrokosmu

„Těleso“ a „vlna“ jsou naše pojmy, jimiž se snažíme pochopit objekty mikrokosmu, které jsou nejspíše něčím úplně jiným a pouze se v různých situacích jako tělesa nebo jako vlny projevují.

## Atom

látkové množství ...  $n$  ... mol

Vzorek složený ze stejných částic má látkové množství 1 mol tehdy, když obsahuje tolik částic, kolik je atomů ve vzorku nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$  o hmotnosti 0,012 g. Počet částic v látkovém množství 1 mol je vyjádřen Avogadrovou konstantou  $N_A$ .

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

atomová hmotnostní konstanta: (hmotnost  $\frac{1}{12}$  nuklidu uhlíku  $^{12}_6\text{C}$ )

$$m_u = \frac{m_c}{12} = \frac{1}{12} \cdot \frac{M_m}{N_A} \\ \doteq 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

rozměr atomu  $\sim 10^{-10} \text{ m}$

## Modely atomu, atomové jádro

- pudinkový model – představa, že elektrony se nacházejí v kladně nabitě hmotě, která zaplňuje celý objem atomu a je rovnoměrně rozložená.

- objev jádra (Rutherford - Geiger, Marsden 1911)  
rozptýl  $\alpha$  částic na atomech zlata

jádro  $\sim 10^{-15} \text{ m}$ , téměř celá hmotnost atomu soustředěna v malém jádře

→ planetární model – elektrony obíhají kolem jádra podobně jako planety kolem Slunce – nereálné! Elektrony by při oběhu kolem jádra vyzařovaly energii a za zlomek sekundy by spadly do jádra → zhroucení struktury. Navíc planetární model nedovedl vysvětlit čárové spektrum, které atomy vyzařují.

- kvantový model (Bohrův) - vysvětlení čárového spektra:

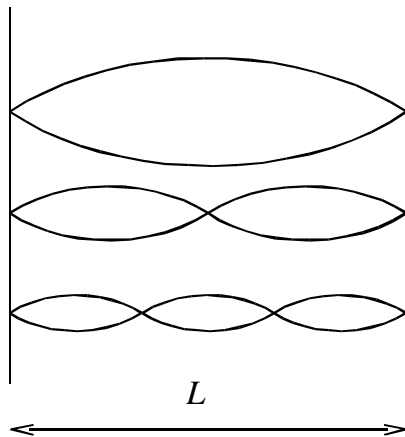
1. Elektrony v atomech se mohou nacházet jen v jistých kvantových stavech (mohou obíhat jen po určitých drahách). Každý z těchto stavů má přesně určenou hladinu energie.
2. Při přechodu elektronu z jednoho stavu s energií  $E_n$  do stavu s nižší energií  $E_m$  vysílá atom záření s frekvencí  $f_{mn}$  danou vztahem

$$E_n - E_m = h \cdot f_{nm}$$

Aplikace Bohrovy teorie na atom vodíku:

Při uvážení vlnové povahy elektronu musí být obvod dráhy elektronu roven celočíselnému násobku jeho vlnové délky, tj. stabilní stav el. v atomu odpovídá chování stojaté elmg. vlny

- jejich charakter se s časem nemění [stacionární stav]
- mají přesně urč. frekvenci [el. energii]



$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = \frac{2L}{n}$$

Pro el. platí:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

$$E = \frac{h^2}{2m\lambda^2}$$

El. vázaný na úsečku:  $\lambda = \frac{2L}{n} \Rightarrow \boxed{E = \frac{h^2}{8mL^2} \cdot n^2}$

Atom H: zákl. stav  $E_1 = -13,6 \text{ eV}$

exc. stav  $E_n = \frac{1}{n^2} E_1$

Záporná energie proto, že k přenesení el. do velké vzdál. do prostoru (do oblasti nulové en.) je zapotřebí kladná práce.

Bohrův model dává principiálně stejné výsledky energ. spektra pro atom vodíku, avšak jedná se o jednoúčelově zaměřený model, který nedokáže vysvětlit důležité aspekty u jiných atomů. Dnes se používá pro popis atomů kvantově mechanický model vycházející z metod kvantové teorie.

Elektron má obecně 3 kvantová čísla:

- 1) hlavní kvantové číslo  $\underline{n} = 1, 2, 3, \dots$
- 2) vedlejší kvantové číslo  $\underline{l} = 0, 1, 2, \dots, n - 1$
- 3) magnetické kvant. číslo  $\underline{m} = -l, \dots, +l$

## FYZIKA – 4. ROČNÍK

pro dané  $n, l$  může  $m$  nabývat  $(2m + 1)$  hodnot

Stav elektronu popisuje tzv. vlnová funkce.

Energie u víceelektronových atomů ... určena  $n, l$

vlnová fce ... určena  $n, l, m$

Pauliho princip:

Ve stavu popsaném  $n, l, m$  se mohou nacházet nejvýše dva el. s opačným spinem.