



FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE

Předmět: FYZIKA II

Autor: MICHAL MARKL

Rok: 2023

Semestr: 2.

Poznámky:

1. MAGNETOSTATIKA

KONSTANTY:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

Magnetismus závisí na obsahu Fe, Co, Ni a **struktúře látky**.

MAGNETICKÁ INDUKCE \mathbf{B} [T] = Základní veličina charakterizující magnetické pole. Směr vektoru tečný k magnetickým indukčním čarám.

AMPÉROVO PRAVIDLO PRAVÉ RUKY = Palec ukazuje směr proudu => prsty ukazují směr magnetických indukčních čar.

MAGNETICKÁ SÍLA \mathbf{F}_m [N] = Síla, kterou magnetické pole působí na částice (resp. vodiče) s nábojem a způsobuje **normálové** zrychlení, při čemž **nekoná práci**. Práci koná elektrická síla $F_e = QE$, která způsobuje zrychlení tečné i normálové. Součtem těchto sil je tzv. **Lorentzova síla**.

$$\mathbf{F}_m = \mathbf{I} \times \mathbf{B} = Q\mathbf{v} \times \mathbf{B} = \frac{mv^2}{r}$$

(pozn.: možné odvodit $r, \omega, T, f \dots$ cyklotronová frekvence)

FLEMINGOVO PRAVIDLO LEVÉ RUKY = Magnetická indukce do levé dlaně => palec ukazuje směr síly.

RYCHLOSTNÍ FILTR = Pro průchod částice vyžaduje rovnost $v = \frac{E}{B}$, jinak se částice vlivem rozdílné rychlosti podle její relativní velikosti a náboje vychýlí.

HMOTNOSTNÍ SPEKTROMETR = Měří poměr $\frac{m}{Q}$ částice v **homogenním** poli. Vzdálenost vstupu a stínítka je $2r$.

CYKLOTRON = Urychlovač částic. Vakuová komora se dvěma **duanty** (urychl. elektrody napojené na vysokofrekvenční zdroj) uvnitř elektromagnetu. Elektrické pole mezi duanty urychluje částici a magnetické pole zakřivuje trajektorii.

SYNCHROTRON = Kompenzuje **relativistickou změnu hmotnosti** částice vzrůstem mag. indukce, aby frekvence **zůstala rovna** frekvenci oscilátoru.

HALLOVO POLE = **Současným** působením vnějšího elektrického i magnetického pole se hromadí záporný elektrický náboj na jedné straně vodiče a kladný na druhé. Tím vzniká mezi konci vodiče **Hallovo napětí**

$$U_H = Ed = v_d B d.$$

BIOT-SAVARTŮV ZÁKON = Zákon popisující vznik magnetického pole z elektrického. Je dán předpisem:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3}$$

(pozn.: meze od 0 do π , substituce => derivace dle α)

PŘÍMÝ VODIČ - Vzorce lze odvodit z **pravoúhlého** trojúhelníku (vektorová příčka $d\mathbf{l}$ a bod P). Platí:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_\perp}$$

KRUHOVÝ VODIČ - Viz. předchozí:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

(pozn.: meze od 0 do 2π , $\alpha = \text{const.}$, derivace dle l)

AMPÉRŮV ZÁKON = **Nezávisle** na tvaru křivky bude platit:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I$$

CÍVKA - obdélník mag. indukce podle indukčních čar (pouze hrana procházející jádrem cívky vyjde nenulová)

$$\oint_1 \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = BI = \mu_0 I \cdot N \dots N = \text{počet závitů}$$

(pozn.: toroidální cívka: $1=0, 2=2\pi r$)

SÍLA MEZI VODIČI \mathbf{F}_m [N] = Síla, již se přitahují 2 nekonečně dlouhé přímé vodiče.

$$F_m = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \cdot l$$

(pozn.: souhlasné směry $l \Leftrightarrow$ vodiče se odpuzují)

PROUDOVÁ SMYČKA - Nachází se ve vektorovém poli magnetické indukce pod nějakým úhlem α .

$$\mathbf{M} = I \mathbf{B} \sin \alpha = \mathbf{m} \times \mathbf{B} \dots m = \text{magnetický moment}$$

MAGNETIZACE \mathbf{M} = Každý atom má magnetický **moment** (obíhající elektrony). Vlivem tepelného pohybu je směr momentu **nahodilý**. Expozice vnějšímu mag. poli => **usměrnění** mag. momentů => **zmagnetování** charakterizované magnetizací:



$$\mathbf{M} = \frac{d\mathbf{m}}{dV}, \quad \vec{M} = \frac{\chi_m \vec{B}_0}{\mu_0}$$

=> vznik aditivního mag. pole o indukci $\vec{B}_m \parallel \vec{B}_0$.

RELATIVNÍ PERMEABILITA:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}_m = \vec{B}_0 + \chi_m \cdot \vec{B}_0 = \vec{B}_0 \cdot (1 + \chi_m) = \vec{B}_0 \cdot \mu_r$$

χ_m = magnetická susceptibilita

MAGNETICKÁ INTENZITA \mathbf{H} [Am^{-1}] = Intenzita magnetického pole, která **nezávisí** na **vázaném** proudu (vyvolaném magnetizací), jen na volném proudu (pohyb nosičů náboje).

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} = \frac{\vec{B}_0}{\mu_0}, \quad \oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = I$$

ROZDĚLENÍ LÁTEK PODLE RELATIVNÍ PERMEABILITY:

- **DIAMAGNETICKÉ:**
 - $\vec{m} = 0$, $\mu_r < 1$, $\chi_m < 0$
 - relativní permeabilita **nezávisí** na teplotě
 - mírně **zeslabují** mag. pole
 - He, Ne, Ar, voda, sklo, ...
- **PARAMAGNETICKÉ:**
 - $\vec{m} \neq 0$, $\mu_r > 1$, $\chi_m > 0$
 - relativní permeabilita s **rostoucí** teplotou **klesá** (roste nahodilý tepelný pohyb částic)
 - mírně **zesilují** mag. pole
 - soli, roztoky solí, kyslík, většina kovů, ...
- **FEROMAGNETICKÉ:**
 - $\vec{m} \neq 0$, $\mu_r \gg 1$, $\chi_m \gg 0$
 - obsahují **domény** (shluky atomu se shodně orientovanými mag. momenty)
 - mohou se zmagnetizovat na **delší dobu** až **permanentně**
 - Fe, Co, Ni, ...

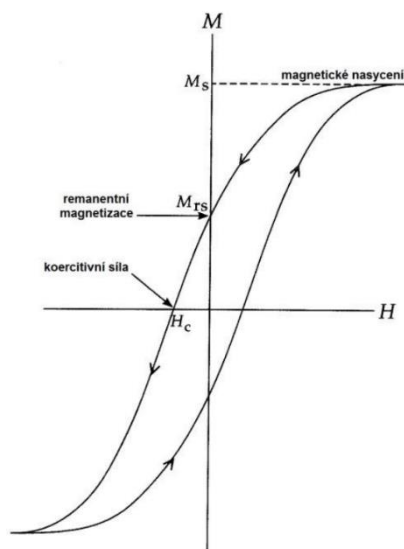
CURIEROVA TEPLOTA = teplota, při níž přejde látka z feromagnetické do paramagnetické fáze (**Fe - 770 °C**).

HYSTERÉZNÍ

SMYČKA = Graf složitě nelineární závislosti $M = M(H)$ u feromagnetických látek, uzavřená středově symetrická křivka s několika oblastmi. Závisí na **předchozím stavu**.

REMANENTNÍ MAGNETIZACE = Zbytková magnetizace po snížení intenzity na 0 z M_s .

KOERCITIVNÍ SÍLA = Síla **opačně** orientovaného pole



MAGNETICKY TVRDÁ FEROMAGNETIKA – široká smyčka, uhlíkové, wolframové, chromové oceli, ...

MAGNETICKY MĚKKÁ FEROMAGNETIKA – úzká smyčka, Fe, Ni, ...

MAGNETICKÝ INDUKČNÍ TOK Φ_m = Veličina popisující **tok** vektoru mag. indukce plochou.

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{S} = B S \cos \alpha = \frac{L \cdot I}{N}$$

Celkový mag. ind. tok **uzavřenou** plochou je **nulový**, protože neexistují magnetické monopóly.

2. NESTACIONÁRNÍ MAGNETICKÉ POLE

Časově proměnlivé magnetické pole (mění se jeho velikost, poloha nebo frekvence).

$$F_e = F_m \Rightarrow E = \frac{F_e}{|Q|} = \frac{F_m}{|Q|} = vB \Rightarrow |U_e| = E \cdot l = lvB$$

LENTZŮV ZÁKON = Indukované napětí vzniká tak, aby působilo **proti** změně, která ho vyvolala.

$$U_e = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

FARRADAYŮV ZÁKON = Časová změna magnetického pole vytváří elektrické pole.

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

VLASTNÍ INDUKCE = Průtokem časové **proměnného** proudu obvodem (zejména **cívkou**) vzniká okolo obvodu časové **proměnné** magnetické pole, které v něm indukuje napětí.

3 způsoby vzniku induk. napětí: Změna mag. indukce, změna plochy závitu, změna orientace závitu

$$U_e = - \frac{d(NBS)}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

VZÁJEMNÁ INDUKCE - $M_{12} = M_{21} = M$ v každém bodě =>

$$U_1 = - \frac{d\Phi_1}{dt} = -M \frac{dI_2}{dt}, \quad U_2 = - \frac{d\Phi_2}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt}$$

ENERGIE MAGNETICKÉHO POLE = Práce na překonání indukovaného napětí U_e .

$$dW = -U_e dq = L \frac{di}{dt} idt = Li \cdot di \Rightarrow$$

$$E_m = W = \int_0^I Li \cdot di = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} HBV$$

KVAZISTACIONÁRNÍ PŘÍBLÍŽENÍ = Při průchodu časově proměnného proudu vodičem dochází ke změnám mag. i el. pole. Změny el. pole lze **zanedbat** a uvažovat proud i napětí v celém obvodu **stejně**.

(pozn.: neplatí pro velmi dlouhé obvody)

$$U_e = -N \frac{d\Phi_m}{dt} = \omega NBS \sin \omega t = U_0 \sin \omega t = u$$

OSCILAČNÍ LC OBVOD = Sériové zapojení **kondenzátoru** a **cívk**. Z Kirchhoffova zákona platí:

$$u_L + u_C = 0 \Leftrightarrow -L \frac{di}{dt} + \frac{q_0}{C} = 0 \Leftrightarrow \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{LC} = 0$$

$$\Rightarrow q = q_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\Rightarrow i = - \frac{dq}{dt} = q_0 \omega \sin \omega t$$

$$\Rightarrow u_C = \frac{q_0}{C} \cos \omega t, \quad u_L = -L \frac{di}{dt} = - \frac{q_0}{C} \cos \omega t$$

(pozn.: $t=0$: $i=0$, $u=\max$; $t=T/4$: $i=\max$, $u=0$; $t=T/2$: $i=0$, $u=\max$ (opačná polarita))

$$E_e + E_m = \frac{1}{2} Cu^2 + \frac{1}{2} Li^2 = \frac{q_0^2}{2C}$$



OSCILAČNÍ RLC OBVOD = Sériové zapojení **kondenzátoru**, **cívky** a **rezistoru**. Z Kirchhoffova zákona platí:

$$u_R = u_L + u_C + u \Rightarrow (\text{dosazení a derivace podle } t) \Rightarrow$$

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = \omega U_0 \cos \omega t, \quad i = I_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

$$\Rightarrow \tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

$$\Rightarrow I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} = \frac{U_0}{Z} \dots Z = \text{impedance}$$

▪ **Obvod s rezistorem:**

$$L \rightarrow 0, \quad C \rightarrow \infty, \quad Z = R, \quad \varphi = 0,$$

$$i = \frac{U_0}{R} \sin \omega t$$

▪ **Obvod s cívku:**

$$R \rightarrow 0, \quad C \rightarrow \infty, \quad Z = \omega L, \quad \varphi = \pi/2,$$

$$i = \frac{U_0}{\omega L} \sin(\omega t - \pi/2)$$

▪ **Obvod s kondenzátorem:**

$$R \rightarrow 0, \quad L \rightarrow 0, \quad Z = \frac{1}{\omega C}, \quad \varphi = -\pi/2,$$

$$i = \omega C \sin(\omega t + \pi/2)$$

(pozn.: s rostoucí frekvencí roste indukance $X_L = \omega L$ a klesá kapacitance $X_C = \frac{1}{\omega C}$)

Rezonance obvodu nastává v případě $X_L = X_C$.

FÁZOROVÝ DIAGRAM =

Zjednodušený diagram **amplitud** napětí: $U^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2$
(pozn.: viz. pythagorova věta).

Lze použít i pro zdánlivé odpory.

VÝKON STŘÍDAVÉHO PROUDU:

$$p = ui = U_0 I_0 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) =$$

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta))$$

$$= \frac{U_0 I_0}{2} (\cos \varphi - \cos(2\omega t - \varphi))$$

$$P = \bar{p} = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{U_0 I_0}{2} \cos \varphi = \frac{U_0}{\sqrt{2}} \frac{I_0}{\sqrt{2}} \cos \varphi$$

$$= U_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

$\cos \varphi$ = účinník

Efektivní hodnoty střídavého proudu a napětí jsou rovny hodnotám proudu a napětí **stejnosměrného** obvodu, který má **stejný průměrný výkon** jako obvod se střídavým proudem a napětím.

3. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

POSUVNÝ PROUD = Elektrický proud, který se vyskytuje pouze v časově proměnném elektrickém poli ve **vakuu** a **dielektriku**. S klasickým proudem má společné pouze **magnetické účinky** (náboj se nepřenáší), ale musí být zohledněn v rovnicích.

$$I_{pos} = \int_S \vec{j}_{pos} \cdot d\vec{S} = \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{S} \Rightarrow \vec{j}_{pos} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

(\vec{D} = **Elektrická indukce** = Veličina popisující elektrické pole mezi deskami kondenzátoru a kolmá na povrch vodiče v každém bodě)

AMPÉRŮV ZÁKON V INTEGRÁLNÍM TVARU = **Časová změna** elektrického pole vytváří magnetické pole.

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

MAXWELLOVY ROVNICE V INTEGRÁLNÍM TVARU = Rovnice vydané roku 1865 Jamesem Clerkem Maxwellem, popisující elektromagnetické pole v libovolném látkovém prostředí. Popisují **časový vývoj polí** a jejich **prostorové změny**. Nepopisují interakci s hmotou. Integrální či diferenciální tvar. Sjednocují elektřinu, magnetismus, optiku.

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q$$

Gaussova věta

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0$$

$$\oint_L \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{S}$$

Faradayův zákon

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_S \left(\vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

Ampérův zákon

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \vec{F}_L = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B}$$

DIVERGENCE = Popisuje **zdroj**, ze kterého pole vytéká.

$$\text{div} \vec{F} = \nabla \cdot \vec{F} = \frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} + \frac{\partial F_z}{\partial z}$$

$\text{div} \vec{F} < 0$... Pole vtéká do zdroje

$\text{div} \vec{F} > 0$... Pole vytéká ze zdroje

$\text{div} \vec{F} = 0$... Nežřídlové pole

GAUSSOVA VĚTA = Pokud výsledek toho, co do pole vteče a toho, co z něj vyteče, není nula, tak je v poli zdroj.

$$\oint_S \vec{F} \cdot d\vec{S} = \int_V \text{div} \vec{F} \cdot dV$$

ROTACE = Popisuje **víření** pole.

$$\text{rot} \vec{F} = \nabla \times \vec{F} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}; \frac{\partial F_x}{\partial z} - \frac{\partial F_z}{\partial x}; \frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right)$$

$\text{rot} \vec{F} < 0$... Vír pole v opačném směru

$\text{rot} \vec{F} > 0$... Vír pole v jednom směru

$\text{rot} \vec{F} = 0$... Nevírové pole

STOKESOVA VĚTA = Jestliže je v poli vír, tak se to pozná podle toho, jak směřují jeho vektory vůči libovolné uzavřené křivce.

$$\oint_L \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_S \text{rot} \vec{F} \cdot d\vec{S}$$

MAXWELLOVY ROVNICE V DIFERENCIÁLNÍM TVARU = přepis rovnic z integrálního tvaru pomocí **Gaussovy** a **Stokesovy** věty.

$$\text{div} \vec{D} = \rho$$

$$\text{div} \vec{B} = 0$$

$$\text{rot} \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \vec{F}_L = q \vec{E} + q \vec{v} \times \vec{B}$$



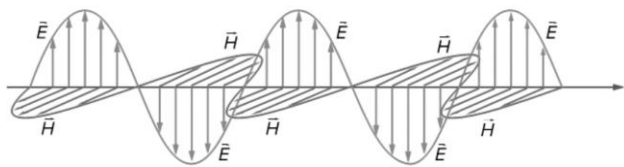
RYCHLOST ŠÍŘENÍ EMG VLNY:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{c_0}{n} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} \dots n = \text{absolutní index lomu}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}), \quad \vec{B} = \vec{B}_0 \sin(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}), \quad \vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

(pozn.: $\vec{E}, \vec{B}, \vec{k}$ jsou vzájemně kolmé vektory)

$$\vec{E} = c\vec{B} \dots \text{platí pouze pro nevodiče}$$



HUSTOTA ENERGIE ELEKTROMAGNETICKÉHO POLE w [Jm^{-3}]:

$$w = \frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu B^2 = \epsilon E^2$$

V elektrické o magnetické složce EMG vlny je **stejná energie**.

POYNTINGŮV VEKTOR \vec{S} [Wm^{-2}] = Vektor ve směru šíření vlny, který popisuje **výkon přenesený** EMG vlnou vztahovaný na jednotku **plochy**.

$$\begin{aligned} \vec{S} &= \vec{E} \times \vec{H} \\ S &= EH \sin 90^\circ = E \frac{B}{\mu} = c\epsilon E^2 = cw \\ &= c\epsilon E_0^2 \sin^2(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}) \\ \bar{S} &= \frac{1}{2} c\epsilon E^2 \end{aligned}$$

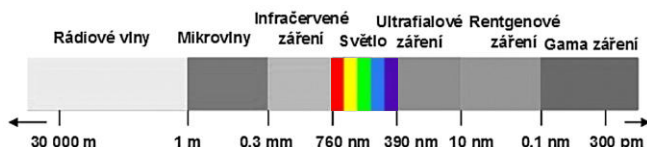
ZÁŘIVÝ TOK Φ_e [W] = celkový výkon přenesený EMG vlněním plochou S' . Závisí na úhlu dopadu.

$$\Phi_e = \int_{S'} \vec{S} \cdot d\vec{S}$$

4. GEOMETRICKÁ OPTIKA

Druhy EMG záření se vzájemně liší **frekvencí** (resp. **vlnovou délkou**) dle vztahu $\lambda f = c$, kde $c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ je rychlost šíření světla ve vakuu.

MONOCHROMATICKÉ SVĚTLO = Světlo obsahující **jedinou** vlnovou délku. Lze se mu přiblížit pomocí **filtrů**. Vyzařuje ho **jedině laser**.



HISTORIE: Newton – částice, Huygens – vlnění, Malus – příčné vlnění, Maxwell – EMG příčné vlnění, Planck – šíření světla nespojitě po **kvantech** (**fotonech**) o energii $E = hf$, kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}$ je Planckova konstanta.

PRŮCHOD SVĚTLA = Světlo projde **beze změny** čirým prostředím.

ABSORBCE SVĚTLA = Projde jen světlo **určitých vlnových délek**.

ROZPTYL SVĚTLA = **Nepravidelná změna směru** v matném prostředí.

ODRAZ SVĚTLA = Světlo se **odrazí** a neprojde do látky.

OPTICKÉ PROSTŘEDÍ:

- PRŮHLEDNÉ – **nedochází** k rozptylu
- PRŮSVITNÉ – **dochází** ke **částečnému** rozptylu
- NEPRŮHLEDNÉ – **pohlčení** nebo **odraz** světla
- HOMOGENNÍ – **stejně** vlastnosti v celém objemu
- IZOTROPNÍ – vlastnosti **nezávislé** na směru
- ANIZOTROPNÍ – vlastnosti **závislé** na směru

ZÁKONY:

- Přímochařého** šíření světla
- O vzájemné **nezávislosti** paprsků
- Odrazu** $\alpha' = \alpha$
- Lomu** $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

ABSOLUTNÍ INDEX LOMU = poměr **rychlosti světla** ve vakuu a **fázové rychlosti** jednobarevného světla v tomto prostředí. Čím je větší, tím je prostředí opticky hustší.

$$n = \frac{c}{v}$$

(pozn.: $n_{\text{vakua}} = n_{\text{vzduchu}} = 1$)

RELATIVNÍ INDEX LOMU = Poměr **fázových rychlostí** jednobarevného světla ve dvou prostředích.

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

TOTÁLNÍ ODRAZ = Odras, při němž $\beta = 90^\circ \Rightarrow \sin \beta = 1 \Rightarrow n_{21} = \sin \alpha_m$ (pozn.: při $\alpha > \alpha_m$ nastává pouze odraz).

OPTICKÉ ZOBRAZENÍ = **Vzájemně jednoznačné** (kolinéární) přiřazení předmětu a obrazu.

OPTICKÝ OBRAZ = Geometrický **útvár** vytvořený optickým zobrazením předmětu **optickou soustavou**.

PARAXIÁLNÍ PROSTOR = Prostor poblíž optické osy.

HLAVNÍ ROVNIA PŘEDMĚTOVÁ χ (OBRAZOVÁ χ') = rovina kolmá k ose, kde je příčné zvětšení $Z = 1$.

HLAVNÍ BOD PŘEDMĚTOVÝ H (OBRAZOVÝ H') = **Průsečík** hlavní roviny předmětové (obrazové) s optickou osou.

PŘEDMĚTOVÉ (OBRAZOVÉ) OHNISKO F (F') = Bod na **optické ose** v předmětovém (obrazovém) prostoru, v němž se **protínají** paprsky, které po výstupu ze (před vstupem do) soustavy jsou **rovnoběžné** s optickou osou a který je od hlavního bodu vzdálen o předmětovou (obrazovou) **ohniskovou vzdálenost f**.

ZNAMÉNKOVÁ KONVENCE:

- Paprsek vstupuje **zleva (+)**, jinak **(-)**.
- Vzdálenost se měří od **středu optické soustavy**. Pokud leží bod, ke kterému měříme v souhlasném směru s kladným směrem osy, je tato vzdálenost také kladná **(+)**, jinak **(-)**.
- Předmět značíme **y**, obraz značíme **y'**. Pokud leží nad optickou osou, tak je kladný **(+)**, jinak **(-)**.

SKUTEČNÝ OBRAZ = Tvořen **sbíhavým** svazkem paprsků po průchodu OS. Lze zachytit na stínítku.

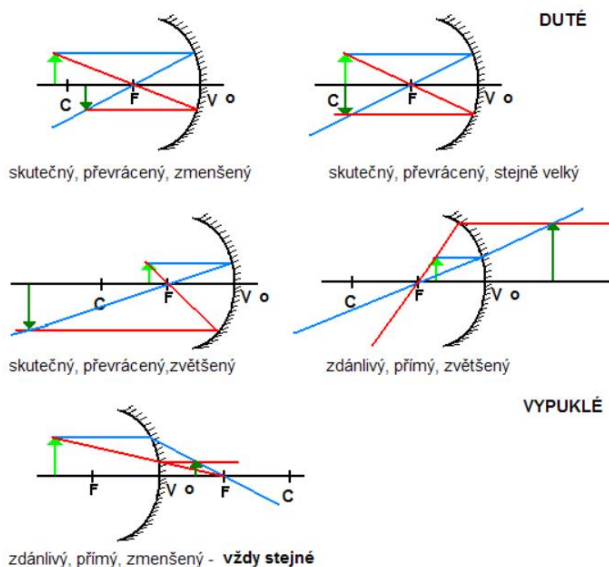
ZDÁNlivý OBRAZ = Tvořen **rozbíhavým** svazkem paprsků po průchodu OS. Nelze zachytit na stínítku. Lze pozorovat okem, pokud se paprsky **zpětně prodlouží** do průsečíku.



PŘÍČNÉ ZVĚTŠENÍ = Poměr příčné velikosti obrazu k příčné velikosti předmětu.

$$Z = \frac{y'}{y}$$

- $|Z| > 1$ – ZVĚTŠENÝ obraz
- $|Z| < 1$ – ZMENŠENÝ obraz
- $Z > 0$ – VZPŘÍMENÝ obraz
- $Z < 0$ – PŘEVŘÁCENÝ obraz



šipky popsat: C – střed křivosti, F – ohnisko, V – vrchol, a – vzdálenost předmětu od vrcholu zrcadla, a' – vzdálenost obrazu od vrcholu zrcadla, y' – výška obrazu, y – výška předmětu
 $f = |FV|$ = ohnisková vzdálenost

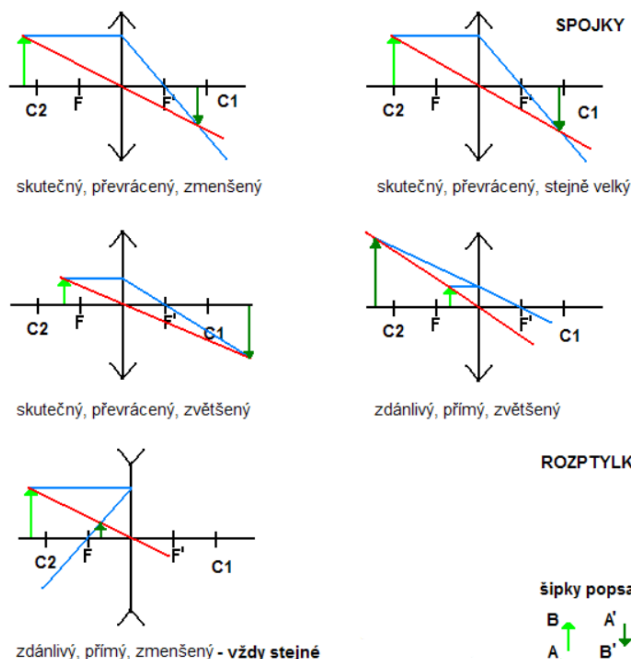
ZRCADLO = opticky hladká pravidelná geometrická plocha, na níž dochází k **odrazu** paprsků. Typy: **Rovinné**, sferické **vypouklé**, sferické **duté**, asferické (např. parabolické).

ZOBRAZOVACÍ ROVNICE KULOVÉHO ZRCADLA:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r}$$

PŘÍČNÉ ZVĚTŠENÍ KULOVÉHO ZRCADLA:

$$Z = \frac{y'}{y} = \frac{f}{f - a} = \frac{f - a'}{f} = -\frac{a'}{a}$$



šipky popsat: B – střed křivosti, A' – vrchol, A – ohnisko, B' – střed křivosti, A – vrchol, A' – ohnisko, B' – střed křivosti

ČOČKA = OS tvořena skleněným prostředím ohraničeným dvěma **lámavými** plochami ve tvaru kulových rozhraní nebo jedním kulovým a jedním rovinným rozhraním. **Zanedbatelná tloušťka**.

ZOBRAZOVACÍ (GAUSSOVA) ROVNICE ČOČEK:

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}$$

PŘÍČNÉ ZVĚTŠENÍ ČOČKY:

$$Z = \frac{y'}{y} = \frac{f}{f - a} = \frac{f' - a'}{f'} = \frac{a'}{a}$$

OPTICKÁ MOHUTNOST ČOČKY ϕ [D] = Převrácená hodnota její obrazové ohniskové vzdálenosti.

$$\phi = \frac{1}{f'}$$

- SPOJKA: $f' > 0$, $f = -f' < 0$, $\phi > 0$
- ROZPTYLKA: $f' < 0$, $f > 0$, $\phi < 0$

OTVOROVÁ (SFÉRICKÁ) VADA = Vzniká při zobrazení bodu ležícího na OO čočky či kulového zrcadla **širokým** svazkem paprsků, které již **nejdou paraxiální**. Eliminuje se clonou, kombinací spojky a rozptylky.

BAREVNÁ (CHROMATICKÁ) VADA = Způsobena tím, že index lomu je **různý** pro různé barvy. Proto se bílé světlo při průchodu čočkou **rozloží** na jednotlivé barevné složky. Eliminuje se kombinací spojky a rozptylky s rozdílnými indexy lomu.

ZORNÝ ÚHEL OKA = Úhel, který svírají světelné paprsky vycházející ze dvou **okrajových** bodů **pozorovatelného** předmětu.

AKOMODACE OKA = Schopnost oka **měnit rychle optickou mohutnost** oční čočky tak, aby se body ležící mezi dalekým a blízkým bodem zobrazily na sítnici **ostře**.

DALEKÝ BOD OKA = **Nejvzdálenější** bod, který se zobrazí na sítnici při **minimální** akomodaci. U zdravého oka v $-\infty$.

BLÍZKÝ BOD OKA = **Nejbližší** bod, který se zobrazí na sítnici při **maximální** akomodaci (už není ostrý, lze si pomoci lupou).

KONVENČNÍ ZRAKOVÁ VZDÁLENOST = Nejvhodnější vzdálenost pro čtení a prohlížení drobných předmětů.

KRÁTKOZRAKOST = Špatná viditelnost na **dálku**, obraz vzniká **před** sítnicí kvůli příliš **velké** mohutnosti čočky vzhledem k rozměrům oka. Koriguje se **rozptylky**.

DALEKOZRAKOST = Špatná viditelnost na **blízko**, obraz vzniká **za** sítnicí kvůli příliš **malé** mohutnosti čočky vzhledem k rozměrům oka. Koriguje se **spojkami**.

OBJEKTIV = Vytváří **skutečný** obraz reálného předmětu. **Spojná** soustava čoček, jejíž všechny vady mají být korigovány. Vstupní část přístroje.

OKULÁR = Obraz vytvořený objektivem **posouvá dále** od oka, aby mohlo správně **zaostřit**. Umístěn tak, aby se obraz vytvořený objektivem nacházel v **ohnisku** okulu.

MIKROSKOP = Objektiv i okulár ze **spojných** čoček. Objektiv vytváří **skutečný, převrácený a zvětšený** obraz. Okulár má větší ohniskovou vzdálenost než objektiv. Zvětšení **1000x až 2000x** – hranice optických mikroskopů.

DALEKOHLÉD = **Zvětšuje** zorný úhel. Má objektiv i okulár.

- REFRAKTOR – objektiv tvořen **spojnou čočkou** (Keplerův, Galileův)
- REFLEKTOR – objektiv tvořen **dutým zrcadlem** (Newtonův)



5. VLNOVÁ OPTIKA

KOHERENTNÍ VLNĚNÍ = Fázový rozdíl dvou sledovaných vlnění je v čase . Toho lze docílit, např. pokud vlnění pochází ze **stejněho** zdroje, nebo pokud necháme vlnění procházet úzkou **štěrbinou**, která se chová jako sekundární zdroj.

KOHERENTNÍ DÉLKA = Maximální délka, na níž je vlnění ještě koherentní.

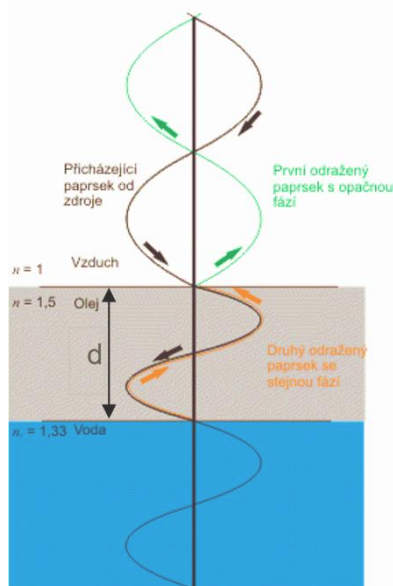
TYPY INTERFERENCÍ:

- KONSTRUKTIVNÍ - $\varphi_1 - \varphi_2 = 2m\pi$, $m \in \mathbb{Z}$

$$\Delta x = \frac{\Delta \varphi}{k} = m\lambda, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
- DESTRUKTIVNÍ - $\varphi_1 - \varphi_2 = (2m + 1)\pi$, $m \in \mathbb{Z}$

$$\Delta x = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

INTERFERENCE NA PLANPARALELNÍ VRSTVĚ:



$$\Delta x = v_1 \frac{2|AB|}{v_2} = 2n_{21}d$$

Δx se nazývá optická dráha a je rovna dráze, kterou by světlo urazilo ve vakuu za stejnou čas jako v daném prostředí.

Funguje jen pro úhly dopadu ne mnoho odlišné od 90°

ZMĚNA FÁZE NA ROZHRAŇÍ PROSTŘEDÍ = Při dopadu vlnění na rozhraní dochází k lomu a odrazu. Lomená vlna má **stejnou** fázi, u odražené vlny se **změní** fáze o 180° , pouze pokud se jedná o pevný konec ~ opticky **hustší** prostředí. Potom se celkový dráhový rozdíl vypočítá podle:

$$\delta = 2n_{21}d$$

Jedná-li se o opticky **řidčí** prostředí, pak se fáze **nemění** a celkový dráhový rozdíl se vypočítá podle:

$$\delta = 2n_{21}d + \frac{\lambda}{2}$$

DIFRAKCE NA ŠTĚRBINĚ = viz. **Huygens**... Vzniklá vlnění spolu interferují a vytvářejí interferenční obrazec (světlé a tmavé pruhy). **Minima** intenzity nastávají v:

$$\delta = a \cdot \sin \theta_k = k\lambda, \quad k \in \mathbb{N}$$

Maxima intenzity nastávají v:

$$\delta = a \cdot \sin \theta_k = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad k \in \mathbb{N}$$

(pozn.: a = šířka štěrby)

Intenzita světla na stínítku se vypočítá podle:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)} \right)^2$$

Čím **menší** je šířka štěrby, tím je **širší** hlavní maximum ($\theta = 0^\circ$)

YOUNGŮV POKUS – DIFRAKCE NA DVOJŠTĚRBINĚ:
Podmínka pro interferenční **maximum**:

$$d \sin \theta = I_2 - I_1 = k\lambda, \quad k \in \mathbb{Z}$$

Pro malé úhly platí:

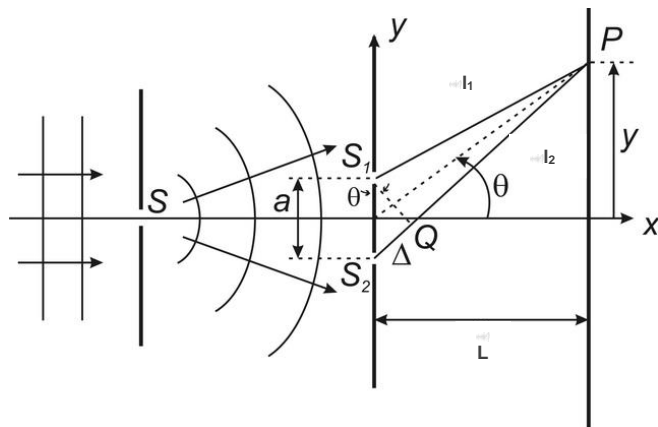
$$d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{y_k}{L} = k\lambda \Rightarrow y_k = \frac{k\lambda L}{d}$$

Podmínka pro interferenční **minimum**:

$$d \sin \theta = I_2 - I_1 = (2k + 1)\lambda, \quad k \in \mathbb{Z}$$

Pro malé úhly platí:

$$y_k = \frac{(2k + 1)\lambda L}{2d}$$



Intenzita světla na stínítku se vypočítá podle:

$$I = 4I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right) \left(\frac{\sin \left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)}{\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta \right)} \right)^2$$

DIFRAKCE NA MŘÍŽCE – mřížková konstanta = vzdálenost středů dvou sousedních štěrbin. Podmínka pro interferenční maximum:

$$d \sin \theta_k = k\lambda, \quad k \in \mathbb{Z} \text{ (pozn.: } k \text{ se nazývá řád maxima)}$$

Vznikají i **vedlejší maxima**, jejichž intenzita světla klesá s rostoucím počtem štěrbin. Maximum nulého řádu je bílé, maxima vyšších řádů jsou duhově zbarvena, nejvíce se ohýbá červené světlo a nejméně fialové.

POLARIZACE SVĚTLA = Paprsek světla sestává z mnoha složek kmitajících v **různých** rovinách – světlo není polarizované. Polarizovat lze:

- ODRAZEM** či **LOMEM** (vždy dochází k určité míře polarizace – dopad pod **Brewsterovým úhlem** – odražená vlna je zcela polarizována)

$$\frac{\sin \alpha_B}{\sin \beta} = \frac{\sin \alpha_B}{\sin (90^\circ - \alpha_B)} = \frac{\sin \alpha_B}{\cos \alpha_B} = \tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$$

(pozn.: odražený a lomený paprsek jsou na sebe kolmé)

- POLARIZÁTOREM** – důležité je **natočení** polarizátoru. **Směr propustnosti** = rovina, ve které elektrická složka světelné vlny bude po průchodu polarizátorem kmitat. Pro zkoumání světla je nutné použít polarizátor, jenž se nazývá **analýzátor**. Vzájemným **natáčením** polarizátoru a analyzátoru lze měnit intenzitu procházejícího světla od maxima do nuly.

6. ZÁKLADY KVANTOVÉ FYZIKY

KONSTANTY:

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

$$b = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Kvantová fyzika se zabývá jevy **mikrosvěta**. Začíná přibližně tam, kde se uplatňuje Planckova konstanta. Ačkoliv je úspěšná, nedaří se ji zatím zcela propojit s dnešní teorií gravitace.

TEPELNÉ ZÁŘENÍ = Vydávají ho všechna tělesa s $T > 0 \text{ K}$. 800 nm – 1 mm. Podmínkou je **konstantní** TD teplota. Má **spojité** spektrum. Až při teplotě $t > 525 \text{ }^\circ\text{C}$ dochází k vizuálním změnám (od tmavě červené po bílou barvu).

ZÁŘIVÝ TOK Φ_e [W] = Energie vyslaná povrchem zářícího tělesa s plošným obsahem S do okolí za jednotku času.

$$\Phi_e = \frac{dQ_e}{dt}, \quad \Phi_e = \int_S M_e dS$$

Je to výkon **vysílaný**, **přenesený** nebo **přijímaný** elektromagnetickým zářením.

INTENZITA VYZAŘOVÁNÍ M_e [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$] = Popisuje proměnlivou hodnotu zářivého toku na povrchu zářícího tělesa.

$$M_e = \frac{d\Phi_e}{dS}, \quad \int_0^\infty M_\lambda d\lambda$$

S rostoucí teplotou intenzita vyzařování roste.

Závisí na **teplotě**, **látce** a **vlnové délce**.

SPÉKTRÁLNÍ INTENZITA VYZAŘOVÁNÍ M_λ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-3}$] = Část energie vyzařené **jednotkovou** poškou povrchu zářícího tělesa za jednu sekundu, která připadá na úzký interval vlnových délek od λ do $\lambda + d\lambda$, dělená šířkou intervalu $d\lambda$.

$$M_\lambda = \frac{dM_e}{d\lambda}$$

ROZDĚLENÍ ZÁŘIVÉHO TOKU:

- ODRAZIVOST $\frac{\Phi_{ep}}{\Phi_e} = \rho$
- PROPUSTNOST $\frac{\Phi_{et}}{\Phi_e} = \tau$
- POHLTIVOST $\frac{\Phi_{ea}}{\Phi_e} = \alpha$ (> 0 , < 1)
- Monochromatická pohltivost $\alpha_\lambda = \frac{\text{pohl. zář. tok. vln. délky}}{\text{dopad. zář. tok. vln. délky}}$
 $\alpha = 0, \rho = 1$... bílé těleso
 $\alpha < 1$... šedé těleso
 $\alpha = 1, \rho = 0$... bílé těleso

$$\Phi_e = \Phi_{ep} + \Phi_{et} + \Phi_{ea}$$
$$\rho + \tau + \alpha = 1$$

ČERNÉ TĚLESO = Idealizace. Lze ho napodobit elektricky vytápěnou píčkou s **malým otvorem**, jímž do píčky vstupuje světlo. To se od stěn natřených černou barvou bude odrážet a s každým odrazem se bude **pohlcovat**. Proto při pohledu dovnitř uvidíme téměř dokonale černý objekt. Tím jsme **OTVOREM** píčky napodobili černé těleso.

KIRCHHOFFOVY ZÁKONY:

- PRO INTENZITU VYZAŘOVÁNÍ:

"Intenzita vyzařování M_e libovolného tělesa s pohltivostí α je funkcí **pouze** teploty."

$$M_e = \alpha M_0 = \alpha f(T)$$

- PRO SPÉKTRÁLNÍ INTENZITU VYZAŘOVÁNÍ

$$M_\lambda = \alpha_\lambda M_{0\lambda} = \alpha_\lambda f(\lambda, T)$$

(pozn.: M_0 = intenzita vyzařování černého tělesa)

Každá látka pohlcuje nejsilněji záření těch vlnových délek, které sama nejsilněji vyzařuje.

EMISIVITA ε = Poměr intenzity vyzařování objektu při **dané teplotě** k intenzitě vyzařování černého tělesa při **stejně teplotě**. Nabývá hodnot od 0 do 1 (černé těleso).

Jestliže je objekt ve stavu tepelné rovnováhy, nedochází k ohřívání ani ochlazování, a tedy energie, kterou těleso vyzařuje, musí být rovna energii pohlcované a emisivita rovna pohltivosti.

PLANCKŮV ZÁKON ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA = Vyjadřuje závislost **spektrální intenzity vyzařování $M_{0\lambda}$** na vlnové délce pro teplotní záření dokonale černého tělesa při **různých** teplotách tělesa.

$$M_{0\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}$$

(pozn.: k = Boltzmannova konstanta)

Vychází z předpokladu, že zářící atomy mohou existovat pouze ve stavech, kdy je jejich dovolená hodnota energie **celistvým násobkem základního kvanta energie** (fotonu).

$$E_n = nhf, \quad n \in \mathbb{N} \text{ je kvantové číslo}$$

STEFAN-BOLTZMANNŮV ZÁKON:

$$M_0 = f(T) = \varepsilon \sigma T^4$$

WIENŮV POSUNOVACÍ ZÁKON:

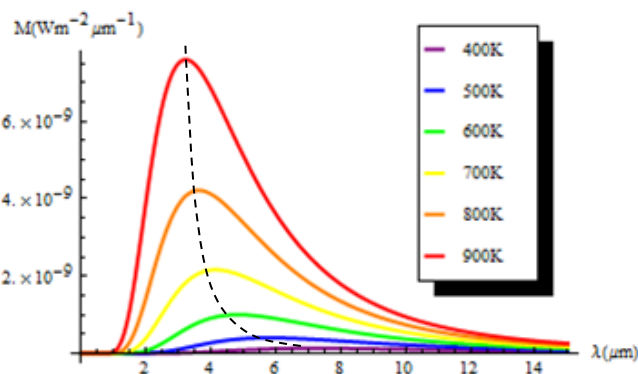
Těleso vydává záření o různých vlnových délkách s **různou** intenzitou, ale záření o vlnové délce λ_{\max} vysílá **nejsilněji**.

Řešením rovnice $\frac{\partial M_{0\lambda}}{\partial \lambda} = 0$ dostaneme:

$$\lambda_{\max} = b$$

S **rostoucí** teplotou se maximum spektrální intenzity vyzařování posouvá ke **kratším** vlnovým délkám.

Spojnice maxim má tvar hyperboly $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$.



FOTOELEKTRICKÝ JEV = Fyzikální jev, při němž jsou elektrony (fotolektrony) **uvolňovány** z látky v důsledku absorpce EMG záření látkou, což se označuje jako **fotoefekt**.



- VNĚJŠÍ - dopad fotonů na těleso způsobí uvolnění elektronů do prostoru vně.
- VNITŘNÍ – elektron, který absorboval foton, zůstane uvnitř látky, takže se zvýší elektrická vodivost látky (fotovodivost, ionizace)

(pozn. nejčastěji u kovů, méně často u plynů)

NASYCENÝ FOTOELEKTRICKÝ PROUD I_n : Nastává, když všechny elektrony uvolněné z fotokatody K zářením dospějí na anodu A.

Experimentálně bylo zjištěno že:

- Nasycený proud i počet uvolněných elektronů je přímo úměrný intenzitě monochromatického světla dopadajícího na fotokatodu, jejich energie je ale stále stejná.
- Kinetická energie uvolněných elektronů závisí pouze na frekvenci, ne na intenzitě.
- Fotoelektrický jev nastane pouze při frekvenci vyšší než je určitá charakteristická frekvence.
- Fotoefekt trvá řádově 10^{-18} s.

(pozn.: poslední 3 poznatky jsou v rozporu s klasickou fyzikou)

Podle Einsteina dojde k pohlcení kvanta energie vždy jen jediným fotonem.

VÝSTUPNÍ PRÁCE W_v [J, eV] = je rovna práci, která je potřeba vykonat k překonání odporu prostředí (srážky částic) a elektrické síly a k následnému uvolnění elektronu z kovu.

$$W_v = h \frac{c}{\lambda_m}, \quad \lambda_m = \text{mezni vlnová délka pro daný materiál}$$

Mezní frekvenci lze určit podle vztahu: $W_v = E_0 = hf_0$

EINSTEINOVA ROVNICE PRO VNĚJŠÍ FOTOELEKTRICKÝ JEJ = Přebytek energie fotonu v kinetické energii ($W_v < hf$) se projeví jako hmotnost m_e .

$$hf = W_v + \frac{1}{2} m_e v^2 = hf_0 + \frac{1}{2} m_e v^2$$

MAXIMÁLNÍ KINETICKÁ ENERGIE FOTOELEKTRONŮ:

$$eU_B = \frac{1}{2} m_e v^2 = hf - hf_0 = h(f - f_0)$$

(pozn.: fotoelektrický se využívá u fotometrů, expozimetrů, zabezpečovacích zařízení, dálkových ovládaní, televizních kamer, digitálních hodinek, kalkulaček, fotočlánků, solárních baterií, fotovoltaičských článků (polovodičová dioda s jedním přechodem PN, křemíková destička) ...)

FOTON = Polní částice (zprostředkovává interakci pole). Lze ho přeměnit na některé látkové částice (elektron, proton, ...) a naopak. Má nulovou klidovou hmotnost. Pohybuje se rychlostí světla ve vakuu. Efektivní hmotnost je rovna:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{hf}{c^2}$$

a hybnost je rovna:

$$p = mc = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

V látkovém prostředí je bržděn srážkami s ostatními částicemi.

COMPTONŮV JEJ = pružný rozptyl fotonů na volných nebo slabě vázaných elektronech. Rozdíl vlnových délek $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ (Comptonův posuv) je tím větší, čím je větší úhlová odchylka θ rozptýleného záření od p úvodního směru a nezávisí na druhu látky.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta), \quad \frac{h}{m_e c} \dots \text{Compt. vln. délka}$$

Oproti fotoelektrickému jevu ztratí foton jen část energie a ne veškerou.

RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ = EMG záření o vlnové délce 10^{-7} až 10^{-11} m, jehož zdrojem je vakuová trubice, v níž se nachází katoda (wolframová spirála - termoemise) a anoda, mezi nimiž je anodové napětí o velikosti řádově 10^4 až 10^6 V vytvořené zdrojem stejnosměrného napětí. V trubici vzniká anodový proud. V anodě vyrobené z těžko tavitelného kovu se mění energie elektronů v energii RTG záření. 99,9% energie se však mění v teplo. Záření má vysokou pronikavost a silně ionizační účinky.

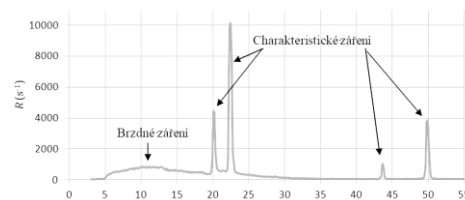
- **PRONIKAVOST** = Schopnost procházet neprůhlednými látkami bez lomu. Roste s rostoucí energií elektronů. Dělí záření na měkké a tvrdé. Využití: lékařská diagnostika, defektoskopie, zjišťování příměsí, trhlin, bublin v látkách.
- **IONIZACE LÁTEK** = Přeměna původně neutrálních atomů a molekul plynu na ionty průchodem RTG záření.
- **SPEKTRUM RTG ZÁŘENÍ:**

- **BRZDNÉ ZÁŘENÍ** = Vzniká při interakci dopadajících elektronů s atomy anody. Vlivem silného elektrostatického pole dojde ke zakřivení trajektorie elektronu a jeho zbrzdění. Elektron ztratí část energie a může vyzářit foton. Při dopadu takto rozptýleného elektronu na anodu vyzáří také foton, ale s jinou energií. Tento proces se opakuje, dokud se nespoteřebuje všechna energie a takto vyzářené fotony spolu tvoří spojité spektrum.

$$E_{\max} = eU = hf_{\max} = h \frac{c}{\lambda_{\min}} \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}$$

Minimální vlnová délka RTG spektra závisí na anodovém napětí a vlnové délky menší, než tato, nemůže pro dané napětí toto spektrum obsahovat.

- **CHARAKTERISTICKÉ ZÁŘENÍ** = Vzniká v elektronovém obalu atomů anody při přechodu elektronu o energii E_2 na vnitřní hladinu o energii E_1 . Tyto hladiny bývají však zaplněné, proto je nutné je ostřelovat urychlenými elektromy. Přitom se vyzáří foton o energii: $E = hf = E_2 - E_1$. Protože elektrony v el. obalech mohou mít jen diskrétní hodnoty energie, označují se jednotlivé hladiny K, L, M, N, ... směrem od jádra. (pozn.: u nepatrně rozštěpených vrstev se přidávají indexy $\alpha, \beta, \gamma, \dots$). Podle čárového spektra lze následně jednoznačně určit materiál anody. Vlnové délky nemohou být kratší, než u brzdného záření.



DIFRAKCE RTG ZÁŘENÍ = Viz. difrakce v optice. Potřeba optická mřížka se mřížkovou konstantou srovnatelnou s vlnovou délkou RTG záření, jenže vzdálenosti na úrovni atomů jsou nevyrobitelné. Používá se tedy krystal s pevnou krystalickou mřížkou. Podmínka maxima má tvar:

$$\delta = 2d \sin\theta = k\lambda, \quad k \in \mathbb{N} \quad - \text{Braggova rovnice}$$



Využití: **Spektrální** analýze (určování vln. délky podle mřížkové konstanty), **strukturální** analýza (určování struktury krystalu z vlnové délky).

VLNOVÁ MECHANIKA – Vychází z předpokladu, že každou hmotnou částici s hybností a energií je možné charakterizovat i vlnovou délkou a frekvencí:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}, \quad f = \frac{E}{h}$$

DE BROGLIEOVA VLNA = Popisuje chování částice o hmotnosti m , pohybující se rychlostí $v \ll c$ u monochromatického záření o vlnové délce λ . Nezáleží na tom, zda je vlna elektricky nabitá či ne,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{E}{h} = \frac{E}{\hbar}, \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{p}{\hbar}$$

(pozn.: $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ = redukovaná Planckova konstanta)

Svazek elektronů prolétajících dvojštěrbinou nevytvoří na stínítku dvě stopy (jako prolétající částice), ale **interferenční obrazec**. Rozložení registrovaných elektronů odpovídá rozložení **intenzity** u EMG záření (Youngův exp.). Interferenční obrazec vzniká **postupným** dopadem elektronů.

ELEKTRONOVÝ MIKROSKOP = Podobný optickému. Místo světelných paprsků používá **svazek elektronových paprsků**. Místo skleněných čoček má čočku **elektrostatickou** a **magnetickou**. Rozlišovací schopnost je cca 10 000x větší než u optického mikroskopu. Využití zejména u materiálového výzkumu.

- SEM = řádkovací = scanning - povrchy
- TEM = transmisní = transmission – vnitřní struktury

VLNOVÁ FUNKCE = Míra **pravděpodobnosti** že částici ve kvantovém stavu nalezneme v čase t v elementárním objemu dV opsaném bodu s polohovým vektorem \mathbf{r} . Musí být **spojitá** a mít **spojité první parciální derivace** podle všech prostorových souřadnic.

$$A \sin(\omega t - kx), \quad B \cos(\omega t - kx)$$

V komplexním tvaru:

$$\Psi(\mathbf{r}, t) = \Psi_0 e^{i(kx - \omega t)} = \Psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(p\mathbf{r} - Et)}$$

V prostoru:

$$\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{x}) = \Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, t) = \Psi_0 e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} - \omega t)} = \Psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(\mathbf{p}\mathbf{r} - Et)}$$

Pro velikost amplitudy vlnové funkce platí:

$$|\Psi_0|^2 \sim \frac{dP}{dV} - \text{ hustota pravděpodobnosti výskytu}$$

Normovací podmínka:

$$\int_V d\mathbf{P} = \int_V \frac{dP}{dV} dV = \int_V |\Psi_0|^2 dV = 1$$

(pozn.: vlna, která tuto podmínku splňuje se nazývá normovaná vlnová funkce)

HEISENBERGŮV PRINCIP NEURČITOSTI = Vzhledem k vlnové povaze částic **neexistuje** ve kvantové mechanice stav, v němž by částice měla **současně přesně definovanou polohu i hybnost**. Lze ho zapsat jako:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \quad \begin{array}{l} \text{Neurčitost stanovení polohy} \\ \text{Neurčitost stanovení hybnosti} \end{array}$$

$$\Delta y \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$\Delta z \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2}$$

(pozn.: platí i pro jiné dvojice veličin, jejichž součin má stejnou jednotku jako Planckova konstanta a které jsou z hlediska klasické fyziky nezávislé, např.: $\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$)

SCHRÖDINGEROVA ROVNICE = Vlnová funkce popisuje stav částice a vlnovou rovnici, kterou **splňuje**, nazýváme Schrödingerova rovnice. Jedná se o diferenciální rovnici 2. řádu a jejím **řešením** je požadovaná vlnová funkce.

Vlnovou funkci lze zapsat:

$$\Psi(\mathbf{x}, t) = \Psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}(p\mathbf{x} - Et)} = \Psi_0 e^{\frac{i}{\hbar}p\mathbf{x}} e^{-\frac{i}{\hbar}Et} = f(\mathbf{x}) \cdot g(t) = \Psi(\mathbf{x}) e^{-\frac{i}{\hbar}Et}$$

ČASOVĚ ZÁVISLÁ SCHRÖDINGEROVA ROVNICE:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = E - E_p \Rightarrow$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} = \Psi_0 e^{-\frac{i}{\hbar}Et} \cdot \frac{\partial}{\partial x} e^{\frac{i}{\hbar}p\mathbf{x}} = \Psi_0 e^{-\frac{i}{\hbar}Et} \cdot e^{\frac{i}{\hbar}p\mathbf{x}} \left(\frac{i}{\hbar}p \right) = \frac{i}{\hbar}p \Rightarrow$$

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} = -\frac{p^2}{\hbar^2} \Psi \Rightarrow p^2 = -\frac{\hbar^2}{\Psi} \cdot \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2}$$

Parciální derivace vlnové funkce podle času je rovna:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar}E\Psi \Rightarrow E = \frac{1}{\Psi} \left(i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} \right)$$

Dostaneme rovnici ve tvaru:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + E_p(\mathbf{x})\Psi(\mathbf{x}, t)$$

Pohybuje-li se částice v obecném směru:

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + E_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})\Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}, t)$$

(pozn.: $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ = Laplaceův operátor)

ČASOVĚ NEZÁVISLÁ SCHRÖDINGEROVA ROVNICE: Pro energii a stav částice nebo více částic popsaných vlnovou funkcí a nacházející se v **konzervativním** silovém poli, v němž je celková energie částice **konstantní**.

$$\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 \Psi(\mathbf{x})}{dx^2} + (E - E_p)\Psi(\mathbf{x}) = 0$$

Pohybuje-li se částice v obecném směru:

$$\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) + (E - E_p)\Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = 0$$

Hamiltonian (Hamiltonův operátor) $\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + E_p(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) \Rightarrow$

$$\hat{H}\Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = E\Psi(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})$$

$$E = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{L^2 2m} = \frac{h^2}{8mL^2} n^2$$

(pozn.: energetické spektrum je **diskrétní** – násobky n^2)

- $n = 1 \dots$ **základní** stav
- $n > 1 \dots$ **excitovaný** stav

$n \neq 0$, kdyby toto neplatilo, byla by energie elektronu nulová, kinetická energie by byla nulová, hybnost by byla nulová, neurčitost v určení hybnosti by byla nulová, což nesmí.

Energie je nepřímo úměrná šířce potenciálové jámy, protože více prostoru znamená snížení neurčitosti polohy, což způsobí navýšení neurčitosti hybnosti a kinetické energie.

- Spojité spektrum** – pokud je **energie elektronu větší než hloubka jámy**, elektron z ní unikne a může se volně pohybovat prostorem a nabývat **všech** hodnot energie větších, než je hloubka jámy



- **Diskrétní spektrum** – pokud je **energie elektronu menší než hloubka jámy**, elektron může nabývat **některých** hodnot energie, které odpovídají jeho možným vlnovým funkcím.
(pozn.: elektron se může nacházet mimo jámu, i když nemá dostatečnou energii k tomu ji opustit = **TUNELOVÁNÍ**)

LINEÁRNÍ HARMONICKÝ OSCILÁTOR – Jeho kvantový popis vysvětluje mnoho fyzikálních jevů, např.: závislost tepelných kapacit, chování EMG pole, vibrace molekul, ... Jeho **energie** se spočítá podle vzorce:

$$E_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) h f = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega, \quad n \in \mathbb{Z}^+$$

Rozdíl mezi energiemi dvou **sousedních** hladin je roven $E_{n+1} - E_n = h f = \varepsilon$

Před měřením má částice ve kvantovém stavu vlnovou funkci $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$, kde Ψ_1 a Ψ_2 jsou dva různé stavy, kterých může částice nabývat. Při měření (resp. pozorování) dojde ke zkolabování (zhroucení) její vlnové funkce a částice nabyde jeden ze stavů Ψ_1 nebo Ψ_2 .

KODAŇSKÁ INTERPRETACE = Reálné jsou částice, které mají **určitou** polohu a hybnost, ale **nemá smysl** o jejich poloze a hybnosti mluvit, protože je každým měřením **hned změním**, nemůžeme je kvůli relacím neurčitosti naměřit přesně. Vlnová funkce **není reálná** a její neurčitost je důsledkem nemožnosti současného měření některých dvojic veličin.

PARADOX EPR = Pokud vezmeme v potaz dvě **kvantově provázané** částice a pošleme každou z nich na **opačnou** stranu vesmíru, pozorováním **jedné** z nich zjistíme okamžitě i **kvantový stav** té **druhé**. To znamená, že by se informace o stavu druhé částice přenesla přes celý vesmír za **nulový čas**, což **není** z hlediska teorie relativity možné (nejvyšší rychlost je **konečná** rychlost světla). Pokus byl prakticky realizován v roce 1972 J.S. **Bellem**. Bylo dokázáno, že kvantové vlastnosti částice nejsou pevně určeny ve chvíli jejího zrodu, ale nastaví se až **při měření** u jedné z částic.

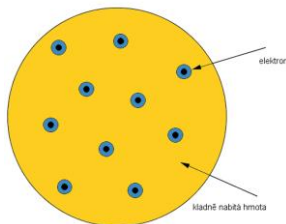
7. ATOMOVÁ FYZIKA

ATOM ze slova Atomos = „dále nedělitelný“

MODELY ATOMŮ:

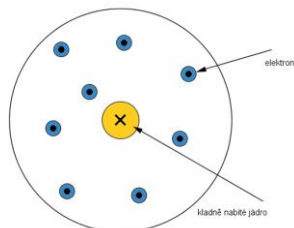
▪ THOMSONŮV PUDINGOVÝ MODEL

- J. J. Thomson, 1898
- atom jako **kladně nabitá koule** s uvnitř **rovnoměrně** rozptýlenými záporně nabitými elektrony



▪ RUTHERFORDŮV MODEL

- E. Rutherford, 1911
- ostřeloval jádru helia tenkou zlatou folií a došel k závěru, že atom se skládá z **velmi hmotného jádra** a **lehkých elektronů**
- neřikal nic o spektroskopických vlastnostech atomu



▪ BOHRŮV MODEL ATOMU VODÍKU

- N. Bohr, 1913
- předpokládá stabilní kruhové trajektorie elektronů a řeší nespojitě spektrum vyzařované atomem
- BOHROVY POSTULÁTY:

- Elektron2y mohou existovat jen na **kruhových** trajektoriích, pro které je splněna podmínka:
 $2\pi m_e v = nh, \quad n \in \mathbb{N}$
- Pokud je elektron na drahách určených touto podmínkou, atom **nevyzařuje** energii
- Atom vyzařuje zářivou energii, jen když elektron prochází **skokem** ze stavu s větší energií E_1 do stavu s menší energií $E_2 < E_1$, přičemž rozdíl těchto energií vyzáří atom ve formě fotonu o frekvenci f , takže platí:

$$hf = E_1 - E_2$$

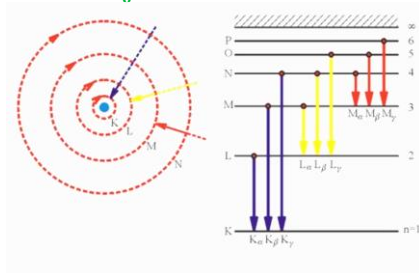
- v **rozporu** s Heisenbergovým principem neurčitosti

$$r = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} n^2, \quad v = \frac{e^2}{2 \epsilon_0 h} \frac{1}{n}$$

$$E_p = -e\phi = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}, \quad E_k = \frac{1}{2} m_e v^2 = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

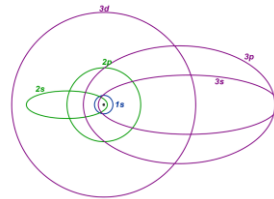
$$E = hf = E_n - E_s = \frac{m_e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \left(-\frac{1}{n^2} + \frac{1}{s^2}\right), \quad \lambda f = c \Rightarrow$$

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{s^2} - \frac{1}{n^2}\right) = R \left(\frac{1}{s^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$



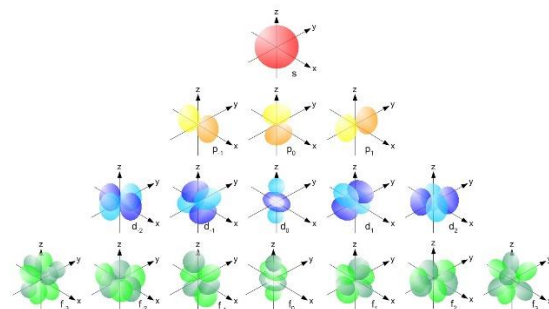
▪ PLANETÁRNÍ SOMMERFELDŮV MODEL

- Místo jen kruhových trajektorií předpokládá i trajektorie **eliptické**
- 4 kvantová čísla: **n** – hlavní, **l** – vedlejší, **m** – magnetické, **s** – spinové



▪ KVANTOVĚ MECHANICKÝ MODEL

- L. de Broglie, E. Schrödinger, 1926
- elektrony mají **duální charakter**



- Přejchod elektronu z vyšší kvantové dráhy – vyzáření fotonu.
- Přejchod elektronu do vyšší kvantové dráhy – absorpce fotonu.
- Pro atomy s větším počtem elektronů je Bohrov model nepoužitelný.
- Elektron ve skutečnosti také přitahuje jádro, takže společně obíhají okolo jednoho těžiště (pozn.: hmotnost protonu >> hmotnost elektronu)

EMISNÍ SPEKTRUM ATOMU VODÍKU = Série spektrálních čar. Každá z nich je soubor spektrálních čar, které odpovídají přechodu elektronu z libovolné vyšší dráhy na stabilní dráhu s kvantovým číslem s.

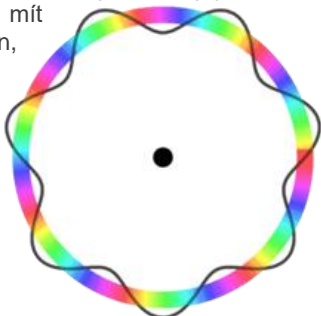
$$\sigma_1 = \frac{1}{\lambda_{\max}} = R_H \left(\frac{1}{s^2} - \frac{1}{(s+1)^2} \right), \quad \sigma_{\infty} = \frac{1}{\lambda_{\min}} = R_H \frac{1}{s^2}$$

SCHRÖDINGEROVA-BORNOVA TEORIE ATOMU VODÍKU = Elektron uvnitř centrálního silového pole jádra s kladným nábojem. Potenciální energie určena Schrödingerovou rovnicí:

$$\Delta \Psi + \frac{2m_e}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \right) \Psi = 0$$

Z toho plyne:

- Vlnová funkce je charakterizována trojicí kvantových čísel n, l, m_l
- Energie – obdoba Bohrova modelu, kvantování energie plyne ze Schrödingerovy rovnice. V jednoduchých systémech není možné, aby se hustota pravděpodobnosti výskytu elektronu měnila skokově. Musí se měnit spojitě. Spojitý průběh vlnové funkce může mít pouze takový elektron, který se nachází na energetické hladině ve vzdálenosti r od jádra takové, že na tuto energetickou hladinu se vejde přesně celočíselný násobek příslušné de Broglieho vlny.



KVANTOVÁ ČÍSLA = Čísla popisující kvantový stav elektronu. Mohou popisovat i jiné částice, než elektrony.

- **HLAVNÍ KVANTOVÉ ČÍSLO n** = Určuje energii elektronů v atomu (vzdálenost od jádra). Elektrony se stejným n vytvářejí elektronovou slupku (K(n=1), L(n=2), M(n=3), ...) (pozn.: významné jsou také podslupky s, p, d, f, g, které hrají roli v elektronové konfiguraci).
- **ORBITÁLNÍ KVANTOVÉ ČÍSLO l** = S každým kvantovým stavem elektronu v atomu je spojen orbitální moment hybnosti a jemu odpovídající orbitální magnetický dipólový moment. Velikost L orbitálního momentu hybnosti \vec{L} elektronu v atomu je kvantována – nabývá jen určitých diskretních hodnot. $L = \sqrt{l(l+1)}\hbar$, $l \in \{0, 1, 2, \dots, (n-1)\}$.
- **MAGNETICKÉ KVANTOVÉ ČÍSLO m_l** = Elektron obíhající okolo jádra lze považovat za proudovou smyčku, která má kvantovanou potenciální energii závislou na své orientaci. $\vec{\mu} = I\vec{S} = I\vec{n} = -ef\pi r^2 \vec{n}$.
 $L = rm_e v = rm_e 2\pi r f = 2\pi r^2 m_e f \Rightarrow$
 $\vec{\mu} = -\frac{e}{2m_e} \vec{L}$
 $m_l \in \{-l, \dots, 0, \dots, l\}$
- **SPINOVÉ MAGNETICKÉ KVANTOVÉ ČÍSLO m_s** = $\pm \frac{1}{2}$

BOHRŮV MAGNETON μ_B = Přibližně vyjadřuje magnetický moment elektronu.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$$

SPIN = Vlastní moment hybnosti elektronu. Je to vektorová veličina, jehož velikost je dána vztahem:

$$S = \hbar \sqrt{s(s+1)}, \quad s = \text{spinové kvantové číslo} = 1/2$$

Průmět do osy (mající směr mag. pole):

$$S_z = m_s \hbar = \pm \frac{1}{2}$$

Objeven pomocí Sternova-Gerlachova experimentu.

PAULIHO VYLUČOVACÍ PRINCIP = V jednom atomu může v určitém kvantovém stavu existovat jen jeden elektron. V jednom atomu nemohou mít dva elektrony současně všechna kvantová čísla stejná.

W. Pauli, 1925.

V základním stavu má atom nejnižší energii ze všech stavů dovolených vylučovacím principem.

Počet energetických stavů:

$$\sum_{l=0}^{l=n-1} 2(2l+1) = 2(1+3+5+\dots+(2n-1)) = 2n^2$$

VÝBĚROVÁ PRAVIDLA = Pravidla, podle kterých se může atom excitovat. Nejsou možné libovolné přechody, ale pouze takové, při nichž:

- $\Delta l = \pm 1$
- $\Delta m_l = \pm 1$ v $\Delta m_l = 0$

z důvodu zachování energie, hybnosti, momentu hybnosti a nenulové pravděpodobnosti přechodu. Přechodem z nestabilního excitovaného stavu dojde k vyzáření fotonů, čímž vzniká emisní spektrum.

SPEKTRÁLNÍ ČÁRA = Představuje monochromatické záření. Různé prvky a molekuly mají charakteristické rozložení spektrálních čar, typické pro daný prvek.

ABSORBČNÍ SPEKTRUM = Vzniká při průchodu EMG záření látkou. Fotony s frekvencí, na které tato látka vyzařuje, jsou látkou pohlceny k excitaci jejích atomů. Toto spektrum je spojitě s tmavými čarami na místech, kde v emisním spektru procházené látky jsou světlé čáry.

LASER = Kvantový generátor světla. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Je to rezonanční optický zesilovač EMG záření.

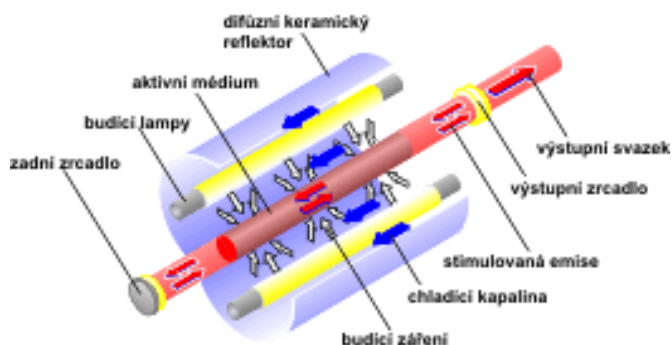
- **ABSORPCE A EMISE ZÁŘENÍ** = při absorpci fotonu může elektron přejít do vyšší energetické vrstvy.

$$E_n - E_m = hf$$

- **SPONTÁNNÍ EMISE** = Z vyšší energetické hladiny může elektron samovolně přejít do nižší hladiny E_m a vyzářit při tom foton o frekvenci $f = \frac{E_n - E_m}{h}$. Fáze, polarizace i směr vyzářeného vlnění jsou náhodné, čili je záření nekoherentní.
- **STIMULOVANÁ EMISE** = Vyvolána vnějším EMG polem stejné frekvence, jako má vyzářený foton. Fáze, polarizace i směr jsou shodné, čili je záření koherentní. Foton vyzářený vzbuzeným atomem má stejné vlastnosti, jako prvotní atom, takže výsledkem jsou 2 stejné fotony. Dochází k lavinovitému vzrůstu počtu fotonů.



- **INVERZE POPULACE** = Stav kvantového systému, při němž obsazení některé z vyšších energetických hladin je **větší**, než obsazení některé z hladin nižších.
- **ENERGIE K BUZENÍ** – Lze ji dodat např. intenzivním osvětlením, elektrickým výbojem, chemickou reakcí, ...
- **AKTIVNÍ PROSTŘEDÍ** = Zóna laseru uvnitř resonátoru ohraničená 2 rovnoběžnými **zrcadly**, mezi kterými se odráží fotony, které **navyšují populaci** a nabírají potřebný **výkon**. Jedno ze zrcadel je **polopropustné** a při dosažení určitého výkonu záření **projde** skrz.
- **VLASTNOSTI ZÁŘENÍ LASERU:**
 - Monochromatické
 - Koherentní
 - Směrové
 - Fokusatelné (pozn.: menší stopa ~ vyšší intenzita)
- **DRUHY LASERŮ:**
 - Plynové
 - Pevnolátkové
 - Polovodičové
 - Lasery pracující s kovovými parami
- **VYUŽITÍ:**
 - Lékařství
 - Strojírenství (vrtání, tváření, leštění, svařování, soustružení, kalení)
 - Čtení čárových kódů
 - Výroba a čtení kompaktních disků
 - Výroba hologramů



8. FYZIKA ATOMOVÉHO JÁDRA

NUKLEONOVÉ ČÍSLO A = Udává celkový počet částic v jádře a je roven součtu protonového a neutronového čísla.

$$A = Z + N$$

Je-li možné **zanedbat** hmotnostní schodek, je přibližně rovno **relativní atomové hmotnosti**.

PRVEK = Látka, jejíž všechny atomy mají **stejně** protonové číslo.

NUKLID = Látka, jejíž všechny atomy mají **stejně** protonové číslo a také **stejně** nukleonové číslo.

IZOTOPY = Nuklidy téhož prvku, které mají **stejně** protonové číslo, ale **různá** nukleonová čísla.

(pozn.: Lehké prvky mají přibližně vyrovnaný počet protonů a neutronů, u těžších prvku převládá počet neutronů)

VAZEBNÁ ENERGIE Δm = Energie, která by se **uvolnila** při vzniku jádra atomu **spojením** jednotlivých volných nukleonů. Je rovna **práci** potřebné k překonání vazebných sil při **rozložení** jádra na jednotlivé nukleony.

Rozdíl **celkové hmotnosti atomového jádra** a klidových hmotností **protonů** a **neutronů** se spočítá dle vzorce:

FYZIKA II

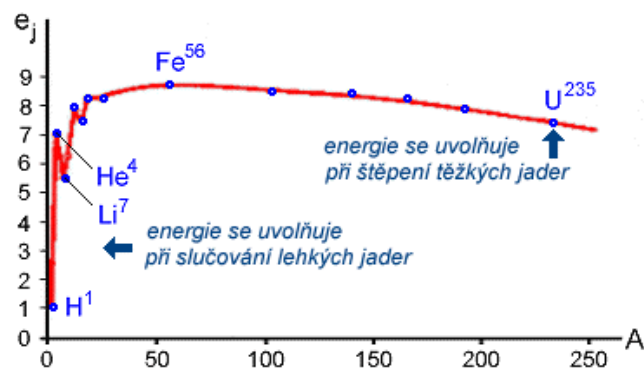
$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_j$$

Vazebná energie se následně určí jako:

$$E_v = \Delta m c^2$$

Po vydělení nukleonovým číslem získáme **vazebnou energii jádra připadající na jeden nukleon**.

Energii lze získávat **syntézou** lehkých, či **rozpadem** těžkých jader na jádra **středně těžká**.



JADERNÉ SÍLY:

- **Nejsou** centrální.
- Jsou **silnější**, než odpuzivé (**elektrostatické**) síly.
- Nejsou závislé na **náboji** nukleonů.
- Jsou **krátkodosahové** (velikost jádra).
- Průběh potenciální energie atomového jádra lze zobrazit jako potenciálovou **jámu** šířky odpovídající rozměru jádra.

SPIN A MAGNETICKÝ MOMENT JÁDRA = Složení **spinů** a **orbitálních momentů hybnosti** všech nukleonů.

JADERNÁ PŘEMĚNA = Proces, při němž samovolně nebo vnějším zásahem dochází ke **změně ve složení atomového jádra**. Může při ní docházet ke změně protonového čísla, neutronového čísla, obou těchto čísel nebo jen ke změně vnitřního pohybového stavu jádra, tedy jeho klidové energie.

RADIOAKTIVNÍ PŘEMĚNA = **Samovolně** probíhající **jednorázová** jaderná přeměna jádra nuklidu, při níž dochází k emisi radioaktivního záření. Tyto přeměny vedou ke **zvýšení stability** jádra. Mezi základní typy patří:

- α
 - ${}^4_2\text{He}$
 - ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}^4_2\text{He}$
 - 3 až 9 MeV
 - **čárové** spektrum
 - 5 až 7,5% rychlosti světla
 - opouští jádro pomocí **tunelového jevu**
 - odstínění listem papíru
- β^-, β^+
 - **elektron** či **pozitron** a **antineutrino** či **neutrino**
 - ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + e^- + \bar{\nu}$, ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + e^+ + \nu$
 - 0 až 16,6 MeV
 - **spojité** spektrum
 - 99% rychlosti světla
 - odstínění 1 cm vody či 1 mm hliníku
- γ
 - **foton o vysoké frekvenci**
 - **čárové** spektrum
 - odstínění silnou vrstvou olova či betonu

ROZPADOVÝ ZÁKON = Radioaktivní přeměna radionuklidu je **statistický** děj, při němž pravděpodobnost přeměny je pro každý radionuklid **konstantní**.



PŘEMĚNOVÁ KONSTANTA λ [s^{-1}] = Vyjadřuje pravděpodobnost přeměny jádra za daný časový interval.

$$dN = -N(t)\lambda dt, \quad N(t) = \text{počet nepřeměněných jader}$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N(t)} = \int_0^t -\lambda dt \Leftrightarrow \ln N - \ln N_0 = -\lambda t \Rightarrow$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

POLOČAS ROZPADU $T_{1/2}$ = Čas, za který se přemění právě polovina jader z daného počtu. Pro daný radionuklid je konstantní.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}} \Rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

AKTIVITA ZÁŘIČE A [$s^{-1} = Bq$] = Úbytek počtu dosud nepřeměněných jader za jednotku času.

$$A(t) = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

Udává:

- Rychlost přeměny radionuklidu ve výsledný nuklid.
- Míru radioaktivity radioaktivního zdroje, zářiče.
- Počet částic radioaktivního záření emitovaných zářičem za jednotku času.

Z poločasu rozpadu lze určovat časové intervaly.

OBECE ZÁKONY PRO PŘEMĚNY PRVKŮ:

- Zákon zachování energie
- Zákon zachování elektrického náboje: Algebraický součet el. nábojů všech částic účastnících se jaderné reakce se zachovává.
- Zákon zachování hybnosti
- Zákon zachování momentu hybnosti: Vektorový součet orbitálních i spinových momentů před reakcí je stejný, jako vektorový součet po reakci.

DÁVKA D [$J \cdot kg^{-1} = Gy$] = Veličina charakterizující účinky radioaktivního záření na látky, se kterými toto záření interaguje.

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

DÁVKOVÝ EKVIVALENT H [$J \cdot kg^{-1} = Sv$] = Zohledňuje také typ záření prostřednictvím jakostního faktoru Q .

$$H = QD$$

(pozn.: povolená dávka je 1 mSv ročně, smrtelná dávkách je v jednotkách Sv)

INTERAKCE ZÁŘENÍ S LÁTKOU = V důsledku pružného a nepružného rozptylu na elektronech a jádrech atomů dochází k ionizaci atomů, při které jsou uvolňovány elektrony z obalů.

- Přímou ionizující záření – elektrony, pozitrony, alfa částice – dostatečná energie pro ionizaci
- Nepřímou ionizující záření – fotony – uvolňují přímou ionizující částice (fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, tvorba páru elektron-pozitron)

INTERAKCE NABITÝCH ČÁSTIC S PROSTŘEDÍM:

- Při interakci lehkých částic vzniká brzdné záření.
- Ionizace – důsledek nepružného rozptylu v důsledku elektromagnetické interakce. Dojde k uvolnění elektronu z obalu. Díky pružnému rozptylu se mění směr pohybu ionizující částice. (pozn.: alfa, beta – přímky; elektrony, pozitrony - křivky)

- Excitace – dojde k přemístění atomu na vyšší energetickou hladinu.
- Interakce záření gama s prostředím – fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl, tvorba páru a následně předchozí interakce.

TVORBA PÁRU ELEKTRON-POZITRON: Při pohybu fotonu v EMG poli může dojít k jeho přeměně na pár částice-antičástice. Foton musí mít prahovou energii (součet energie částice a antičástice – pro elektron-pozitron 1,022 MeV). Pravděpodobnost přeměny roste s rostoucí energií a s druhou mocninou protonového čísla prostředí.

$$N = N_0 e^{-\mu x}, \quad \mu = \text{Lineární součinitel zeslabení}$$

POLOTLOUŠŤKA $d_{1/2}$ = Veličina určující tloušťku materiálu, která zeslabí dopadající proud fotonů na polovinu.

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

PLYNOVÉ DETEKTORY = Využívají ionizace.

- Ionizační komory
- Proporcionální detektory
- Geiger-Müllerovy detektory

SCINTILAČNÍ DETEKTORY = Využívají schopnost částic v některých látkách vyvolávat krátké záblesky (scintilace) v oblasti viditelného nebo UV světla. Fotony záblesku dopadají na fotonásobič, který využívá fotoelektrického jevu k převodu na el. proud.

POLOVODIČOVÉ DETEKTORY = Působením přímo ionizačního záření na polovodiče vede uvnitř polovodiče k vytvoření páru elektron-díra.

ZOBRAZOVACÍ DETEKTORY:

- Kamery
- Filmy

DRÁHOVÉ DETEKTORY = Měří, zviditelňují trajektorie částic v prostoru.

- Fotochemické reakce, kondenzace kapiček páry, vznik bublinek v přehřáté kapalině
- Velké množství prostorově rozmístěných detektorů, polovodičové nebo ionizační komory – trackery

POISSONOVO ROZDĚLENÍ = Poissonovým rozdělením se řídí ty jevy, jejichž pravděpodobnost realizace je v čase konstantní a malá. Pro t jdoucí k nule musí být pravděpodobnost dvou událostí mnohem menší, než pravděpodobnost jedné.

$$P(N = k) = e^{-z} \frac{z^k}{k!}$$

(pozn.: $P(N=k)$ udává pravděpodobnost, s jakou měříme za konstantní čas t počet k impulsů, z je parametr Poissonova rozdělení a je roven střední hodnotě počtu naměřených pulsů za čas t)

Směrodatná odchylka:

$$\sigma(N) = \sqrt{z}$$

