

## Optika – úvod

### **Světlo a jeho vlastnosti**

**Nauka o světle** je velmi důležitý fyzikální obor - ve fyzikálních teoriích i v technických aplikacích.

**Světlo** je oblast vlnových délek 380 – 780 nm elektromagnetického vlnění, vnímaná lidským zrakem

### Trocha historie

Základní poznatky o světle jsou velmi staré, v době vzniku **fyziky jako vědy** (ve 2. pol. 17. století) již bylo známo:

- šíří se přímočaře, tj. podél přímek ..... **světelné paprsky**
- světelné paprsky se navzájem neovlivňují
- jejich účinky se sčítají (při dopadu na jedno místo)
- při dopadu paprsku na rozhraní dvou prostředí nastává současně jeho odraz a lom

Dopátrat se podstaty světla na základě těchto znalostí bylo ovšem obtížné, v této době vznikly dva názory:

- **korpuskulární teorie** (světlo jsou hmotné částice, různé velikosti - barvy)

Newton, 1704 ..... „Optika“

- **vlnová teorie** (světlo je vlnění)

Huygens, 1690 ..... „Traité de la lumiere“

Newtonova autorita, vznikla pod dojmem úspěchů jeho mechaniky, a také že Huygensova teorie nebyla tak detailně propracována, způsobily **všeobecné přijetí korpuskulární teorie** světla.

(Pojem vlnění se však udržel a rozvinul pro popis mechanického vlnění hmotného prostředí.)

Na počátku 19. století se objevily nové jevy (**ohyb světla, interference, polarizace**), které jsou typické pouze pro vlnění (mechanické) – vlnová teorie světla ožívá (Fresnel, příčné vlnění).

V analogii s mechanickým vlněním se uvažovalo, v jakém prostředí světelné vlnění probíhá ..... byl zaveden pojem **ether** – (zatím) neznámá nehmotná látka s mechanickými vlastnostmi.

Nauka o elektřině a magnetismu byla dovršena r. 1864 tzv. **Maxwellovými rovnicemi**:

$$\boxed{\operatorname{div} \vec{D} = \rho \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0 \quad \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{i} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}}$$

Z těchto rovnic byla předpovězena možnost existence dosud neznámých dějů v elektromagnetickém poli, které by měly charakter vlnění – tzv. **elektromagnetické vlnění** :

Pro homogenní izotropní nevodivé prostředí (dielektrikum) bez proudů a volných nábojů lze velmi jednoduše z těchto rovnic odvodit vztahy:

$$\Delta \vec{E} = \varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad \Delta \vec{B} = \varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

které jsou analogické (formálně shodné) s tzv. **vlňovou rovnicí** mechanického vlnění:

$$\Delta \vec{u} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}$$

Porovnáním koeficientů pravých stran byl získán výraz pro rychlost předpokládaného elektromagnetického vlnění:

$$\frac{1}{c^2} = \varepsilon \cdot \mu \quad , \text{tedy:}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon \cdot \mu}}$$

**fázová rychlost elektromagnetického vlnění**

Jestliže do tohoto vztahu dosadíme parametry nejjednoduššího prostředí – vakua

$$\varepsilon_0 \cong 8,854188 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$$

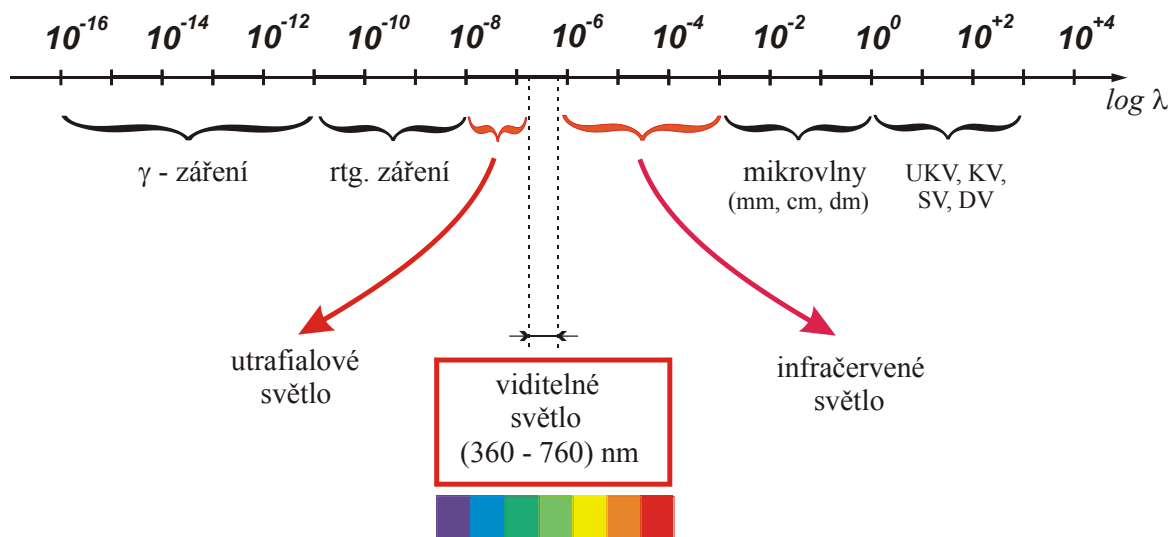
dostaneme :

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon \cdot \mu}} = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \approx 2,998 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$$

což se již tenkrát dosti přesně shodovalo se změřenou rychlostí světla ve vakuu (viz Foucault 1850)

.....to bylo podnětem ke znovu vzniku **elektromagnetické teorie světla**

Tato teorie se skvěle potvrdila a dnes víme, že nejen světlo je elektromagnetické vlnění – v přírodě se setkáváme s tímto druhem vlnění o různých vlnových délkách - od  $10^{-16} \text{ m}$  do prakticky nekonečna :



Světlo je tedy elektromagnetické vlnění, které charakterizuje relativně úzký interval vlnových délek, stanovený pro „průměrné“ lidské oko intervalem (380 – 780) nm (1nm = 10<sup>-9</sup> m)

Používá se také pojem **optické záření** :

Interval 10 nm – až 1 mm (= 1000 μm) .....	optické záření, světlo v širším smyslu .....	UV – VIS - IR
Interval 10 nm – až 380 nm .....	ultrafialové záření (světlo) .....	UV (UV A-320 nm, UV B-280, UV C-pod 280)
Interval 380 nm – až 780 nm .....	viditelné záření (světlo) .....	VIS
Interval 780 nm – až 1 mm .....	infrachervené záření (světlo) .....	IR (IR A.1400 nm, IR B-2500, IR C-nad 2500)

Historie fyzikálních objevů ovšem nekončila – na přelomu 19 a 20 století se objevily jevy (záření zahřátých těles, fotoelektrický a Comptonův jev), které se vlnovou teorií nedaly vysvětlit, naopak byl nutný návrat k představě částic:

1900 – Planck .....elmg. vlnění se vyzařuje (vzniká) po energetických kvantech

1905 – Einstein .....elmg. vlnění se také prostorem **pohybují po kvantech**,

kteřé mají vlastnosti jako malé hmotné částice - **fotony**

Vzniká tak syntéza vlnové a částicové představy elektromagnetického vlnění, která také byla experimentálně potvrzená ..... tzv. **korpuskulárně – vlnový dualismus**

Na druhé straně - tyto duální vlastnosti byly potvrzeny i u malých stavebních částic hmoty (například jev difrakce elektronů na krystalu) a v současné moderní (kvantové) fyzice jsou považovány za vlastnost všech tzv. mikročástic.

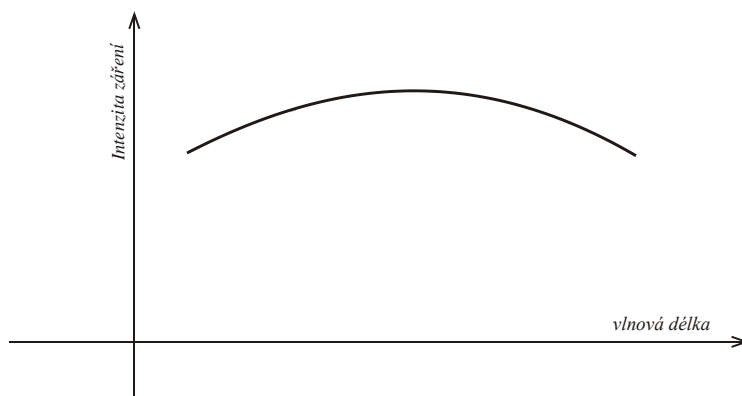
Kromě speciálních zdrojů (lasery,...) vyzařují světlo každá zahřátá látka - pevná, kapalná i plynná.

Jejich záření je charakterizováno různým zastoupením vlnových délek ..... **světelným spektrem** .

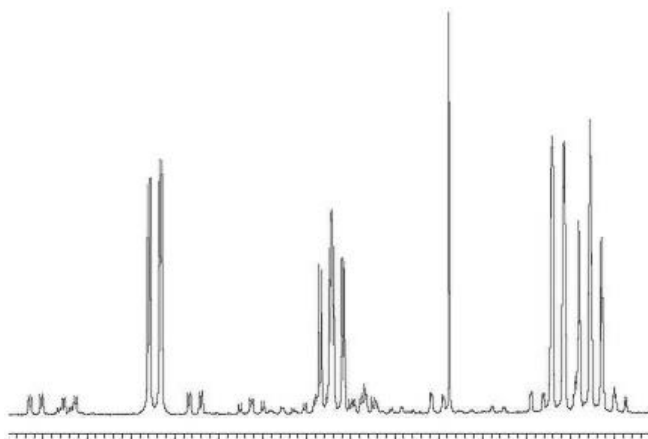
Změříme ho optickým **spektrometrem**, který pomocí disperzního prvku (hranol, mřížka) rozloží světlo na jednotlivé vlnové délky (viz další kapitola).

Existují **dva typické druhy** spekter:

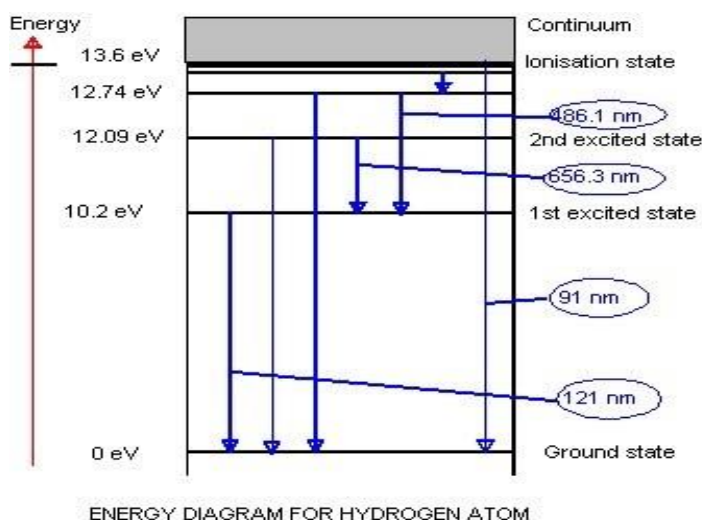
a) **spojité spektrum** ..... je typické pro zahřátá tělesa (Slunce)



b) **čarové spektrum** ..... vyzařují látky v plynném stavu (plazma)



**Vlnové délky** spektrálních čar (i jejich uskupení – pásů, větví) jsou **charakteristické** pro konkrétní atom (molekulu, iont), neboť vznikají přechody mezi jeho energetickými hladinami (viz obr. níže pro vodíkový atom) ..... lze je proto využít pro **identifikaci** látek i pro určení jejich **koncentrace** (je úměrná intenzitě spektrálních čar).



I ve spojitém slunečním spektru existují spektrální čáry ..... jsou to „tmavé“ absorpční čáry (světlo chybí) .....tzv. **Fraunhoferovy čáry** (označují se písmeny A, B, C, ...) .....**používají se v praktické optice**, například:

čára C .....  $\lambda = 656,3 \text{ nm}$  .....čára  $H_{\alpha}$  vodíku

čára D .....  $\lambda = 589,3 \text{ nm}$  .....čára Na - dublet

čára e .....  $\lambda = 546,1 \text{ nm}$  .....čára Hg

čára F .....  $\lambda = 486,1 \text{ nm}$  .....čára  $H_{\beta}$  vodíku

## Měření rychlosti světla

Již Newton předpokládal ve své Optice, že rychlost světla je konečná.

První pokusy o její stanovení (Galileo, 1607, lucerny na dvou kopcích) naznačovaly, že je obrovská .... vymyká se běžnému měření rychlostí v mechanice z dráhy a času ..... vzdálenosti by musely být velmi dlouhé - astronomické - proto také první použitelné hodnoty získali hvězdáři:

1675 Olaf Römer ..... pozorování různé doby mezi zákryty Jupiterových měsíců (220 tis. km/s)

1728 James Bradley .... pozorování aberace hvězd (301 tis. km/s)

Až 1849 Armand Fizeau provedl první měření na Zemi, pomocí rotujícího ozubeného kola (315 tis. km/s)

1850 Jean Foucault .... obdobné měření s využitím rotujícího zrcátka ( $298\,000 \pm 500$  km/s)

Nejpřesnější měření prováděl **Albert Michelson** pomocí zdokonalené Foucaultovy metody, s využitím interferometru v letech 1879 – 81,

..... naposledy pak 1926 ( $299\,796 \pm 4$  km/s)

*Ve druhé polovině 20. století bylo dosaženo značného pokroku při zvyšování přesnosti měření rychlosti světla, nejprve s využitím dutinových rezonátorů, později technikami laserové interference:*

1972 K.M.Evenson et.al., National Bureau of Standards (NBS), Boulder, Colorado ( $299\,792\,456,2 \pm 1,1$  m/s)

1975 ...15. CGPM (Conférence Générale des Poids et Mesures )

..... doporučila definovat rychlosti světla jako explicitní, absolutně přesnou konstantu:

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

1983 ...17. CGPM ..... využití přesné rychlosti světla pro novou definici metru

*1 metr je roven délce dráhy, kterou urazí světlo ve vakuu za časový interval 1/299 792 458 sekundy.*

**Pozn.:** Mezi 1960 a 1983 byl metr definován jako délka rovnající se 1 650 763,73 násobku vlnové délky záření

odpovídající přechodu mezi stavy 2p10 a 5d5 atomu Krypton 86