

27. Vlnové vlastnosti světla

Základní vlastnosti světla (rychlost světla, šíření světla v různých prostředích, barva tělesa)

Jevy potvrzující vlnovou povahu světla

Ohyb a polarizace světla (ohyb světla obecně, na štěrbině, na mřížce, užití ohybu)

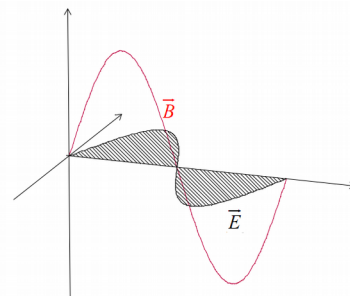
Základní vlastnosti světla

Světlo je elektromagnetické vlnění charakterizované vlnovou délkou a frekvencí. Tyto veličiny určují barvu světla a vymezují interval viditelného světla. Viditelné světlo = elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami od 380 nm do 780 nm. Světlo s nižší vlnovou délkou nazýváme ultrafialové, světlo s vyšší vlnovou délkou nazýváme infračervené. Frekvence udává barvu světla, přechodem do jiného prostředí se barva světla nemění.

Vjem světla v našem oku způsobuje elektrická složka vlnění.

Bílé světlo je složeno z jednobarevných (monochromatických) světél (duha)

Pozn.: oční sítnice je nejcitlivější na žlutozelenou barvu (vlnová délka asi 550 nm)



Mezi rychlostí světla, vlnovou délkou a frekvencí i zde platí známý vztah:

λ - vlnová délka světla (v metrech)

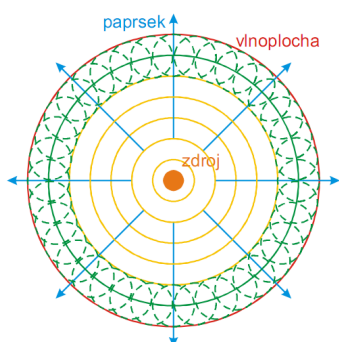
f - frekvence světelného vlnění (v hertzech; určuje barvu světla)

c - rychlost světla ve vakuu ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Potřebné opakování:

Šíření světla



a) Světlo – je příčné elektromagnetické vlnění

Šíření na základě **Huygensova principu**

- každý bod vlnoplochy, do něhož dospělo vlnění v určitém časovém okamžiku, lze pokládat za zdroj elementárního vlnění, které se od něho šíří v elementárních vlnoplochách. Výsledná vlnoplocha (ve všech jejích bodech má vlnění v každém určitém časovém okamžiku stejnou fázi) je vnější obalová plocha všech elementárních vlnoploch.

Optická prostředí :

Optickým prostředím nazýváme prostředí, ve kterém se světlo šíří. Může být:

- **průhledné** – nedochází v něm k rozptylu (sklo)
- **průsvitné** – světlo prostředím prochází, ale jen zčásti se v něm rozptyluje (voda, mléčné sklo)
- **neprůhledné** – světlo se v něm silně pohlcuje nebo se na povrchu odráží (kov, dřevo)
- **izotropní** – šíření světla zde nezáleží na směru (voda)
- **anizotropní** - šíření světla zde záleží na směru (islandský vápenec)

Pozn.: Při přechodu světla z jednoho prostředí do druhého se světlo odráží a láme. Zákon odrazu a lomu lze popsat pomocí Huygensova principu. O odrazu a lomu světla jsme již hovořili v kapitole o elektromagnetickém záření, zde se těmito jevy znovu zabývat nebudeme.

Vlnové vlastnosti světla dokazují

a) Interference světla

1. Na tenké vrstvě
2. Na dvojštěrbíně

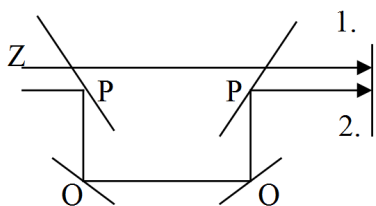
b) Ohyb světla (difrakce)

c) Polarizace světla

Interference světla - je skládání světelného vlnění (jak je možno odvodit z kapitoly o mechanickém vlnění). Je pozorovatelná pouze pro **koherentní vlnění** (interferující světelné

vlňení, které mají stejné frekvence a mají konstantní fázový rozdíl). Toho se dá docílit např. rozdělením světelného vlňení z téhož zdroje (odrazem, lomem,...).

Například:



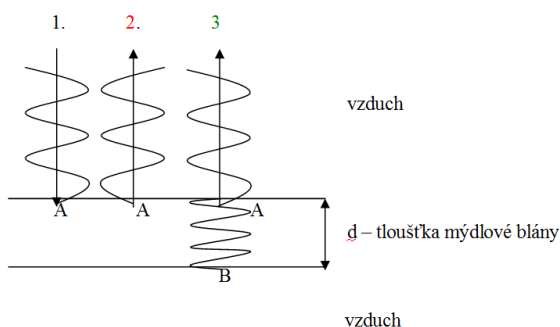
- P ... polopropustné zrcadlo
- S ... stínítko
- 1., 2. ... koherentní paprsky
- O ... zrcadlo (odraz)

Mohou nastat dva význačné případy:

<p>a) interferenční maximum interferující paprsky mají stejnou fázi</p> <p>$\Delta x = 2k \frac{\lambda}{2}$</p>	<p>b) interferenční minimum interferující paprsky mají opačnou fázi</p> <p>$\Delta x = 2(k+1) \frac{\lambda}{2}$</p>
--	--

Interference světla na tenké vrstvě

- vysvětlíme tak barevné skvrny na mýdlových bublinách, na olejových skvrnách na kalužích apod. Bílé světlo obsahuje světelná vlňení různých vlnových délek (různých barev), které se při



dopadu na vrstvu oleje odráží od jejího horního rozhraní a po průchodu vrstvou i od dolního rozhraní, vzniká dráhový rozdíl a podle tloušťky vrstvy se světlo některých vlnových délek zesiluje a některé zeslabuje, vzniká barevnost skvrny.

- 1. - dopadající světlo
- 2. - světlo odražené od prvního rozhraní – bod A (vzduch – mýdlová brána)

3. - světlo odražené od druhého rozhraní (mýdlová bublině v bodě B)

Interference v odraženém světle vzniká složením paprsků 2 a 3, mezi nimiž vznikl dráhový rozdíl Δx . Ten vznikne jednak průchodem světla bublinou tam a zpět a dále odrazem světla na rozhraní vzduch – bublina (bod A), kde ovšem obrací fázi: $\Delta x = \lambda/2 + 2dn$

<p>a) Pro interferenční maximum v odraženém světle platí:</p> $\Delta x = 2k \frac{\lambda}{2} \longrightarrow \frac{\lambda}{2} + 2nd = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$ $2nd = k\lambda - \frac{\lambda}{2} \longrightarrow 2nd = \frac{\lambda}{2}(2k - 1)$	<p>b) Pro interferenční minimum v odraženém světle platí:</p> $\Delta x = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \longrightarrow \frac{\lambda}{2} + 2nd = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$ $\frac{\lambda}{2} + 2nd = k\lambda + \frac{\lambda}{2} \longrightarrow 2nd = k\lambda$
--	---

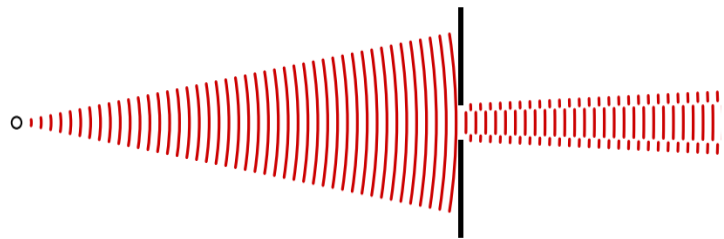
Pozn.: pokud se světlo odráží od opticky hustšího prostředí, mění se fáze na opačnou, pokud se odráží od prostředí opticky řidšího, pak se fáze nemění.

Uvedené podmínky pro interferenční maximum a minimum platí pro **odražené světlo**! Pro světlo prošlé platí podmínky opačně, protože žádné ze světel interferující jako prošlé, se neodrazí na „pevném konci“ tedy na rozhraní vzduch – mýdlová blána. Uvedeného principu se užívá například při kontrole správného vybroušení čoček nebo pro vytvoření antireflexních vrstev na čočkách optických přístrojů.

Interference se dále projevuje u ohybových jevů popsaných níže.

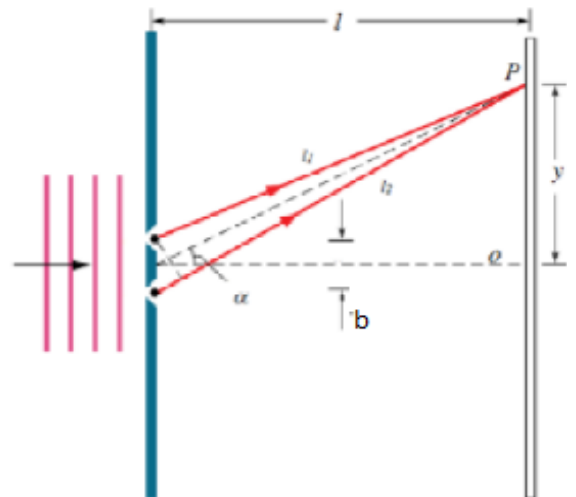
Ohyb světla – difrakce

- jestliže vlna dopadá na překážku s otvorem, jehož rozměry jsou srovnatelné s vlnovou délkou, část vlny, která otvorem projde, se rozšíří—bude difraktovat (ohýbat se) — do oblasti za stínítkem. Její šíření odpovídá šíření dílčích vlnoploch v Huygensově konstrukci



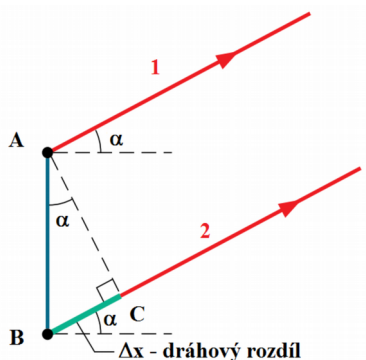
Interference světla na dvojštěrbině (optické mřížce)

Jedná se vlastně o důsledek difrakce. Světlo přichází k dvojštěrbině z bodového zdroje. Podle Huygensova principu se každá ze štěrbin stává zdrojem sekundárního vlnění a šíří se v elementárních vlnoplochách za štěrbinu. Jelikož všechny tyto vlnoplochy vznikly z původního – bodového zdroje, jsou koherentní a mohou spolu interferovat. K tomu dochází a je možné to pozorovat právě na stínítku, které je umístěno naproti dvojštěrbině. Vzdálenost dvojštěrbiny a stínítka bývá řádově v metrech, vzdálenost otvorů v setinách milimetru.



b – vzdálenost sousedních štěrbin. V případě, že namísto dvojštěrbiny použijeme difrakční mřížku, udává se častěji počet otvorů na jednotku délky (např. mřížka s konstantou 686 mm^{-1} má

na sobě 686 vrypů na 1 mm širokém pásku, tedy vzdálenost otvorů je $\frac{1}{686} \text{ mm}$)



Dá se odvodit podmínka interference v bodě P:

ΔABC (pravoúhlý s pravým úhlem při vrcholu C):

Δx ...dráhový rozdíl mezi dvěma odpovídajícími paprsky 1 a 2.

$$|AB| = b \quad \Delta x = b \cdot \sin \alpha$$

Interferenční maximum	Interferenční minimum
$\Delta x = k \cdot \lambda$	$\Delta x = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$
$\beta \cdot \sin \alpha = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}$	$\beta \cdot \sin \alpha = 2(k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$

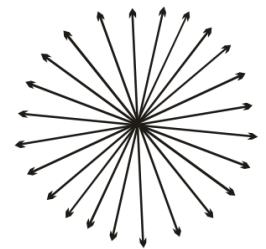
Z výše uvedené tabulky vyplývá, že bude-li dráhový rozdíl mezi paprsky 1 a 2 roven sudému počtu půlvln, nastane interferenční maximum a tedy na stínítku bude světlý proužek. Bude-li dráhový rozdíl roven lichému počtu půlvln, nastane interferenční minimum a tedy na stínítku bude temný proužek.

Ohybové jevy znemožňují pozorování objektů menších než je vlnová délka viditelného světla. Proto pozorujeme atomy pomocí elektronového mikroskopu. Blíže v kapitole 28.

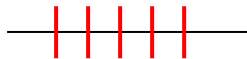
Polarizace světla

- jev dokazující, že světlo je příčné vlnění

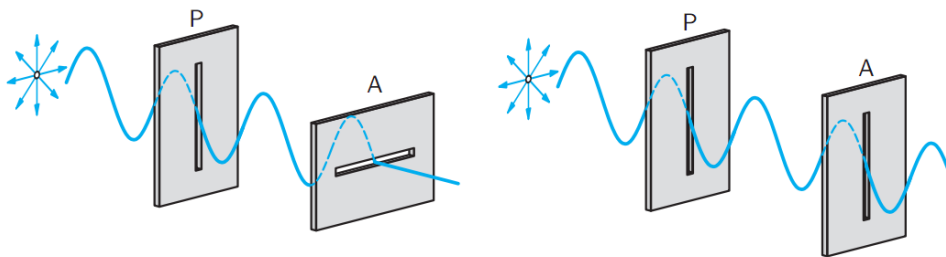
- obyčejné – nepolarizované světlo má kmity vektorů \vec{E} a \vec{B} probíhající nahodile ve všech směrech kolmých na směr šíření světla.



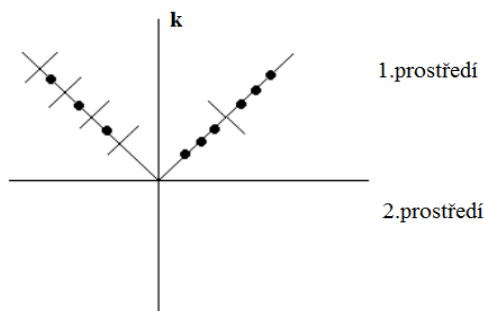
Polarizované světlo – kmity \vec{E} a \vec{B} probíhají pouze v jedné rovině:



Mechanický model polarizace světla:



Způsoby získávání polarizovaného světla:



1. odrazem

Pozn.: Dokonalá polarizace při Brewsterově úhlu **Brewsterův úhel** je pro každý materiál jiný a dá se spočítat podle vzorce:

$$\theta_B = \arctg \frac{n_2}{n_1},$$

θ_B je Brewsterův úhel, n_2 je index lomu materiálu, od kterého se světlo odráží, n_1 je index lomu materiálu, kterým se světlo šíří; např. pro odraz od skla s $n_2 = 1,5$ zpět do vzduchu s $n_1 = 1$ je $\theta_B = 56^\circ$). Dopadá-li světlo na rozhraní pod Brewsterovým úhlem, jsou odražený a lomený paprsek na sebe kolmé.

2. lomem

3. absorpcí

Užití polarizovaného světla :

1. **fotoelasticimetrie** – užití pro měření zatížení a namáhání modelů stavebních prvků

2. **měření koncentrace opticky aktivních roztoků** (využívá se skutečnosti, že různě koncentrované roztoky různě stáčí rovinu polarizovaného světla)

3. **polarizační filtry** – např. při fotografování lesklých předmětů – odražené světlo se vždy částečně polarizuje. Dá se proto snadno odstranit nebo aspoň částečně potlačit vhodně orientovaným analyzátozem – polarizačním filtrem na

objektivu fotoaparátu (při přímém pozorování lze použít polarizační brýle, přední sklo automobilu lze opatřit polarizačním filtrem, ...).

4. polarizační brýle – pro 3D obrázky a filmy, popř. pro rybáře (odstraní lesky od vodní hladiny a je vidět pod vodu)

Pozn: Metody určení rychlosti světla :

První byl dánský astronom **Römer** – v letech 1675 – 1676 prováděl na hvězdárně v Paříži pozorování zákrytů Jupiterova měsíce Io. Na jejich základě vypočítal $c = 230\,000 \text{ km/s}$. Tento výpočet je sice nepřesný, ale Römer první ukázal, že rychlost světla je konečná.

Fizeův princip (1849) – první laboratorní měření rychlosti světla. Princip měření na obrázku:

