

23) Vlnová optika

INTERFERENCE (= SKLÁDÁNÍ)

- Vlnění, která přicházejí do určitého bodu z různých zdrojů, se v daném bodě vzájemně skládají
- Např. duhové zabarvení mýdlových bublin
- K nejvýraznější interferenci nastane, pokud mají všechna interferující vlnění stejnou vlnovou délku (resp. frekvenci)
- **Koherentní vlnění** = světelná vlnění **stejné frekvence**, jejichž **fázový rozdíl** v uvažovaném bodě **se s časem nemění** (vlny se nerozcházejí – je mezi nimi stejná vzdálenost a vlny se nedeformují)

INTERFERENCE NA DVOJŠTĚRBINĚ

- Otvor S má vlastnost bodového zdroje – světlo se z něho šíří všemi směry a dopadá na dvojici štěrbin s_1 a s_2
- Je-li vzájemná vzdálenost štěrbin malá, lze světelné záření za štěrbinami považovat za koherentní a lze pozorovat jeho interferenci
- Interferenční obrazec vzniká na stínítku, na které dopadá světlo z obou štěrbin s dráhovým rozdílem $\Delta l = l_2 - l_1$
Dráhový rozdíl si lze představit tak, že na hladinu rybníka dopadnou ve stejný časový okamžik do různých bodů dva kameny. Vzdálenost bodů dopadu kamenů je dráhový rozdíl vln.
- Interferenční obrazec v podobě světlých a tmavých proužků vzniká vzájemným skládáním světelných vlnění z obou štěrbin:
 - o Vlnění se setkávají se stejnou fází
 - V místě vznikne **INTERFERENCE MNIMUM** (mezní situace)
 - Na stínítku pozorujeme maxima jako světlá místa
 - Dráhový rozdíl vlnění: $\Delta l = k\lambda$
 - o Vlnění se setkávají s opačnou fází
 - V místě vznikne **INTERFERENCE MAXIMUM** (mezní situace)
 - Na stínítku pozorujeme minima jako tmavá místa
 - Dráhový rozdíl je: $\Delta l = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$

λ vlnová délka koherentního světelného vlnění

k řád interferenčního maxima / minima ($k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$)

INTERFERENCE NA TENKÉ VRSTVĚ

- Dráhový rozdíl světelných vlnění vzniká také při odrazu světla na tenké vrstvě
- Z hlediska interference je tenkou vrstvou např. mýdlová bublina nebo tenká vrstvička oleje na vodní hladině
- **Předpokládáme**, že vlna monofrekvenčního světla dopadá kolmo na vrstvu o indexu lomu n a tloušťce d , která je umístěná v prostředí s indexem lomu n_1 splňující podmínku **$n_1 < n$**
Světelné vlnění určité frekvence se nazývá monofrekvenční (odpovídá mu určitá barva).

- Na rozhraní obou prostředí **se vlna částečně odráží a částečně prochází vrstvou a odráží se až na druhém rozhraní** (mezi dvěma vlnami vzniká dráhový rozdíl)
- Interference se projeví zesílením nebo zeslabením odraženého světla
- Při výpočtu dráhového rozdílu paprsků uvažujeme dráhu optickou (l) (= dráhu, kterou by světlo urazilo ve vakuu), která je větší než skutečná dráha

$$l = 2nd \rightarrow \text{protože se světlo šíří tam a zpátky}$$
- Při odrazu světla na rozhraní různých optických prostředí je nutné vzít v úvahu, na jakém rozhraní se světlo odráží:
 - Odráz světla na rozhraní opticky řidšího a hustšího prostředí
 - **Fáze světelného vlnění se mění na opačnou**
 - Vzniká dráhový rozdíl o velikosti poloviny vlnové délky:

$$\frac{\lambda}{2}$$
 - Např. průchod světla ze vzduchu do vody
 - *Analogie s odrazem mechanického vlnění od pevného konce*
 - Odrázu světla na rozhraní opticky hustšího a řidšího prostředí
 - **Fáze se nemění**
 - Např.: průchod světla z vody do vzduchu, z oleje do vody
 - *Analogie s odrazem mechanického vlnění od volného konce*
- V odraženém světle dostáváme:
 - Podmínku pro interferenční minima:

$$2nd = 2k \frac{\lambda}{2}$$
 - Podmínku pro interferenční maxima:

$$2nd = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

Za k dosazujeme přirozená čísla nebo nulu podle konkrétní fyzikální úlohy.

- V případě, že bude na tenkou vrstvu tvořenou dokonale rovinnými rovnoběžnými plochami (planparalelní) dopadat monofrekvenční světlo (například zelené), budeme vidět:
 - Pokud dojde k interferenci na maximum, v odraženém světle horní část intenzivně zelenou
 - Pokud dojde k interferenci na minimum, budeme ji vidět černou
- Není-li rozhraní dokonale rovinné, pozorujeme na povrchu (např.) zeleno – černé proužky
 - V místě, kde nastala interference na maximum, je zelený proužek
 - V místě, kde nastala interference na minimum, je černý proužek
 - Jedná se např. o vznik barevných pruhů na olejové skvrně na mokré vozovce
- Při **osvětlení bílým světlem je tenká vrstva duhově zbarvená** (např. mýdlové bubliny s barevnými proužky)

INTERFERENCE V PRAXI

- Newtonova skla
 - Zkonstruoval Newton

- Umožňují pozorovat interferenci na tenkých vrstvách a měřit vlnovou délku světla
- Tvořena skleněnou deskou, k níž je přiložena ploskovypuklá čočka (tj. čočka, jejíž jedna plocha je rovinná, druhá kulová)
- Mezi čočkou a skleněnou deskou je vrstva vzduchu proměnné tloušťky, na níž dochází k interferenci světla odraženého od obou rozhraní tenké vrstvy
- Interferenční obrazec pro monofrekvenční světlo tvoří tmavé a světlé kroužky (Newtonovy kroužky)
- *Při použití bílého světla vznikají Newtonovy kroužky duhových barev*
- Kontrola povrchů (optických hranolů, rovinných a kulových ploch čoček)
- Antireflexní skla (brýle)
- Holografie (metoda záznamu a trojrozměrného vybavování obrazu)

OHYB (DIFRAKCE) SVĚTLA

- Vlnění se dostává i do oblasti geometrického stínu (za překážkou se paprsky světla ohýbají)
- Ohyb můžeme například pozorovat při průchodu světla štěrbinou, jejíž šířka je srovnatelná s vlnovou délkou světla
- Za štěrbinou se na stínítku objeví difrakční (ohybové) obrazce – světlé a tmavé proužky různé šířky

OHYB SVĚTLA NA ŠTĚRBINĚ

- Dopadne-li světlo na štěrbinu, bude se šířit za ní na základě Huygensova principu
- Za štěrbinou můžeme pozorovat difrakční obrazce (*výsledek interference vln*)
- Čím **užší** je **štěrbina**, tím vzdálenější jsou od sebe minima N_1 a širší je maximum M_0 (**ohyb je výraznější**)
- Je-li výška štěrbiny větší než její šířka, je příslušný difrakční obrazec naopak širší ve směru vodorovném

OHYB SVĚTLA NA DVOU ŠTĚRBINÁCH

- Na každé štěrbině nastává ohyb světla a za štěrbinami se světlo šíří různými směry
- Vlny (které se od původního směru odklonily o úhel α a které vycházejí z odpovídajících si bodů obou štěrbin) interferují v bodě A na stínítku ve vzdálenosti d od mřížky
- Na stínítku pozorujeme ohybový obrazec
 - Široká maxima a minima jsou způsobena ohybem na štěrbině
 - V každém širokém maximu lze pozorovat soustavu dalších užších maxim a minim, která jsou způsobena interferencí světla ze dvou štěrbin

DIFRAKCE NA MŘÍŽCE

- Optická mřížka je tvořena soustavou **velkého počtu stejně širokých rovnoběžných štěrbin**
- Štěrbiny jsou v malé vzdálenosti od sebe

- b vzdálenost štěrbin = mřížková konstanta (perioda mřížky)
- Ohybový obrazec vytvořený optickou mřížkou má velmi úzká interferenční maxima
 - **Interferenční maxima jsou od sebe vzdálena tím více, čím menší je perioda mřížky**
 - Při kolmém dopadu světla na mřížku ke každé vlně, která prochází jednou štěrbinou optické mřížky, existuje ve vzdálenosti b vlna, která se šíří ve směru rovnoběžném se směrem šíření vlny procházející sousední štěrbinou
 - Štěrbiny lze považovat za bodové zdroje světla (z nichž se světlo šíří podle Huygensova principu)
 - **Vlny, které budou společně interferovat v jednom bodu na stínítku, se šíří pod úhlem α**
 - Při vzniku interferenčního maxima musí být dráhový rozdíl vln roven $\Delta l = k\lambda$
 - Pro interferenční maxima platí podmínka:

$$\sin \alpha = k \frac{\lambda}{b}$$

- k řád maxima ($k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$)
- α směr, v němž vzniká interferenční maximum
- Dopadá-li na mřížku **bílé světlo**, je **nulté maximum bílé**, ale v **dalších** interferenčních maximech lze pozorovat **rozklad světla**
 - Vznikají zde spektra symetricky rozložená na obě strany od nultého maxima
 - Blíže k nultému maximumu je fialová část, dále od něj část červená (mezi nimi jsou maxima ostatních barev)
 - Mřížkový spektroskop
 - o Založen na ohybu světla optickou mřížkou
 - o Používán ke zkoumání spekter látek ve spektroskopii
 - o K tomu se používá hlavně maximum 1. řádu (spektra vyšších řádů mají menší intenzitu a navzájem se překrývají)

POLARIZACE SVĚTLA

- Světlo je postupně příčné elektromagnetické vlnění popsané (vektorem el. intenzity) \vec{E} a (vektorem mag. indukce) \vec{B}
 - Vektor elektrické intenzity \vec{E} je přitom vždy kolmý na směr šíření vlnění
Směr kmitání vektoru magnetické indukce \vec{B} je kolmý jak na směr šíření vlnění, tak na vektor \vec{E} → vektory \vec{E} a \vec{B} tedy leží v rovině, která je kolmá na směr šíření světla.
 - \vec{E} v případě **nepolarizovaného světla** mění **nahodile svůj směr**
 - \vec{E} v případě **lineárně polarizovaného světla** kmitá neustále **v jedné rovině** (rovině kmitů)
 - Rozdíl mezi polarizovaným a nepolarizovaným světlem okem nepoznáme
 - Světlo nepolarizované lze přeměnit na polarizované několika způsoby:
 - o **Polarizací odrazem a lomem**
 - Světlo se částečně polarizuje při odrazu
 - Při Brewsterovu úhlu je odražené světlo zcela lineárně polarizované
- $$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$$
- Vektor \vec{E} kmitá v rovině kolmé k rovině dopadu (rovnoběžně s rozhraním)

- Při lomu světla dochází k částečné polarizaci a E^{\rightarrow} kmitá v rovině rovnoběžné s rovinou dopadu
- **Polarizací dvojlomem**
 - Světelný paprsek se na rozhraní anizotropního krystalu rozdělí (dvojlomem) v důsledku anizotropie krystalu na:
 - Řádný (splňuje zákon odrazu a lomu)
 - Mimořádný paprsek (vzniká v důsledku anizotropie krystalu)
 - Oba jsou lineárně polarizované
 - Jejich směry polarizace jsou na sebe kolmé
anizotropie = odlišné fyzikální vlastnosti látky v různých směrech
- **Polarizací polaroidem**
 - V praxi se používají polarizační filtry (tvořeny rovnoběžnými dlouhými molekulami v průhledné umělé hmotě)
 - Polaroid propouští pouze světlo polarizované v určitém směru
 - Vložíme-li do světla do cesty druhý filtr (analyzátor), při určitém natočení analyzátoru, světlo neprochází:
 - Využití: polarizační brýle