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 nerozchází – 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 s1 a s2
* 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 $Δl=l\_{2}-l\_{1}$

*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:
	+ Vlnění se setkávají se stejnou fází
		- V místě vznikne **INTEFERENČNÍ MAXIMUM** (mezní situace)
		- Na stínítku pozorujeme maxima jako světlá místa
		- Dráhový rozdíl vlnění: $Δl=kλ$
	+ Vlnění se setkávají s opačnou fází
		- V místě vznikne **INTEFERENČNÍ MINIMUM** (mezní situace)
		- Na stínítku pozorujeme minima jako tmavá místa
		- Dráhový rozdíl je: $Δl=(2k+1)\frac{λ}{2}$

λ vlnová délka koherentního světelného vlnění

k řád interferenčního maxima / minima (k = 0, ±1, ±2…)

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
* Předpokládejme, že vlna monofrekvenčního světla dopadá kolmo na vrstvu o indexu lomu n a tloušťce d, která je umístěná v prostředí s indexem lomu n1 splňující podmínku n1 < 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 → 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:
	+ Odraz světla na rozhraní opticky řidšího a hustšího prostředí
		- **Fáze** světelného vlnění **se mění na opačnou**
		- Vzniká dráhový rozdíl o velikosti poloviny vlnové délky:

$$\frac{λ}{2}$$

* + - Např. průchod světla ze vzduchu do vody
		- *Analogie s odrazem mechanického vlnění od pevného konce*
	+ Odrazu 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:

$$2nd=2k\frac{λ}{2}$$

* + Podmínku pro interferenční maxima:

$$2nd=(2k-1)\frac{λ}{2}$$

*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 N1 a širší je maximum M0 (**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 $Δl=kλ$
* Pro interferenční maxima platí podmínka:

$$\sin(a)=k\frac{λ}{b}$$

$k$ řád maxima (k = 0, ±1, ±2…)

α směr, v němž vzniká interferenční maxim

* 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 maximu je fialová část, dále od něj část červená (mezi nimi jsou maxima ostatních barev)
* Mřížkový spektroskop
	+ Založen na ohybu světla optickou mřížkou
	+ Používaný ke zkoumání spekter látek ve spektroskopii
	+ K tomu se používá hlavně maximum 1. řádu (spektra vyšších řádů mají menší intenzitu a navzájem se překrývají)

Polarizace světla

* Světlo je postupné příčné elektromagnetické vlnění popsané (vektorem el. intenzity) E→ a (vektorem mag. indukce) B→
* Vektor elektrické intenzity je přitom vždy kolmý na směr šíření vlnění

*Směr kmitání vektoru magnetické indukce je kolmý jak na směr šíření vlnění, tak na vektor  → vektory a tedy leží v rovině, která je kolmá na směr šíření světla.*

* **v případě **nepolarizovaného světla** mění **nahodile** svůj **směr**
* ** v případě **lineárně polarizovaného světla** kmitá neustále **v jedné rovin**ě (rovině kmitů)
* Rozdíl mezi polarizovaným a nepolarizovaným světlem okem nepoznáme
* Světlo nepolarizované lze přeměnit na polarizované několika způsoby:
	+ **Polarizací odrazem a lomem**
		- Světlo se částečně polarizuje při odrazu
		- Při Brewsterovu úhlu je odražené světlo zcela lineárně polarizované

$$\tan(α\_{B}=\frac{n\_{2}}{n\_{1}})$$

* + - * Vektor E→ kmitá v rovině kolmé k rovině dopadu (rovnoběžně s rozhraním)
		- Při lomu světla dochází k částečné polarizaci a E→ 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 směr
		- Vložíme-li do světlu do cesty druhý filtr (analyzátor), při určitém natočení analyzátoru, světlo neprochází:
		- Využití: polarizační brýle