

T É M A : INTERFERENCE A POLARIZACE SVĚTLA

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

Datum:

ANOTACE:

Cílem tohoto dvouhodinového cvičení je zopakovat žákům fyzikálního semináře interferenci a polarizaci světla. Nejprve po teoretické stránce připomeneme důležité poznatky vlnové optiky. V druhé části této prezentace se žáci naučí, jak řešit úlohy vyžadující výpočty pomocí vztahů odvozených z teorie.

TEORIE:

INTERFERENCE SVĚTLA

Při **interferenci světla** se výrazně projevují jeho vlnové vlastnosti. Popíšeme jevy, které se projevují při skládání světelných vln.

Vlnění, která přicházejí do určitého bodu prostoru z různých zdrojů, se v tomto bodě skládají. Projevem interference světla je jeho zesilování a zeslabování v různých bodech prostoru. Abychom mohli tyto projevy pozorovat, musí být skládaná vlnění **koherentní**.

Koherence světelných vln znamená současné splnění následujících dvou podmínek:

- světelná vlnění mají stejnou frekvenci;
- vzájemný fázový rozdíl světelných vln v daném bodě prostoru se s časem nemění.

Při použití běžných zdrojů světla, jako je např. žárovka, plamen nebo elektrický výboj, je interference nepozorovatelná. Je to způsobeno tím, že vlnění nejsou koherentní. Doba, po kterou je fázový rozdíl vln v daném místě konstantní, je totiž velmi krátká.

Mezi nejznámější projevy interference světla patří duhové barvy na mýdlových bublinách nebo na velmi tenkých vrstvách oleje na vodě.

Otázkou zůstává, jak tedy docílit koherence vln. Světlo z jediného zdroje rozdělíme na dva svazky paprsků, které se po proběhnutí různé dráhy setkají s určitým **dráhovým rozdílem** Δd . Pokud použijeme běžné zdroje světla, pak pro pozorovatelnou interferenci je nutné, aby tento dráhový rozdíl byl velmi malý, řádově setiny milimetru. Jestliže použijeme laser, je možné pozorovat interferenci světla i při daleko větších dráhových rozdílech (řádově decimetry nebo i metry).

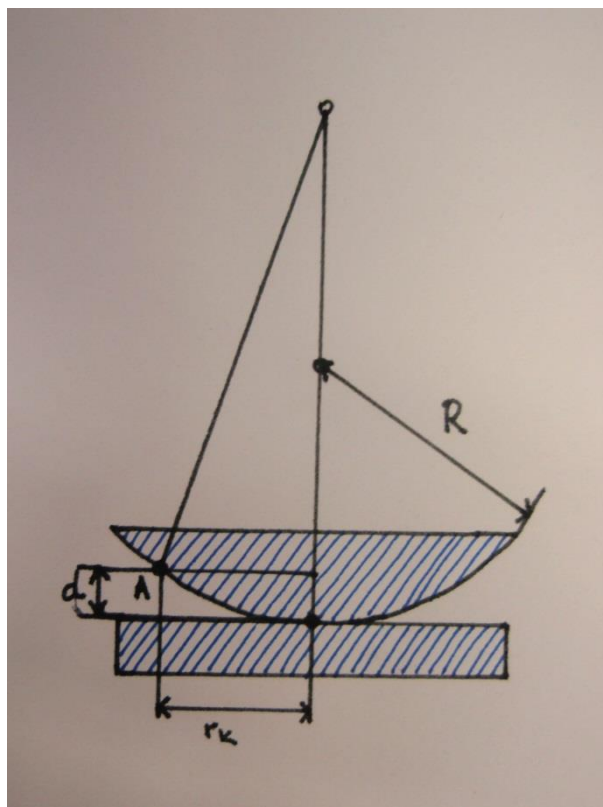
Výsledkem interference je zesílení a zeslabení světla. V daných místech vzniká **interferenční maximum** – zesílení světla a **interferenční minimum** – zeslabení světla.

Interferenční maximum vzniká při interferenci koherentního světelného vlnění, právě když je dráhový rozdíl vln roven sudému počtu půlvln. Platí tedy: $\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$, kde k nabývá hodnot 0, 1, 2, ... a λ je vlnová délka vlnění. Světelná vlnění se v těchto místech setkala se stejnou fází.

Interferenční minimum vzniká při interferenci koherentního světelného vlnění, právě když je dráhový rozdíl vln roven lichému počtu půlvln. Platí tedy: $\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, kde k nabývá hodnot 0, 1, 2, ... a λ je vlnová délka vlnění. Světelná vlnění se v těchto místech setkala s opačnou fází.

Interferenci světla zkoumal jako první Angličan **Thomas Young**. Navrhl postup, jak lze získat koherentní světlo. Do zatemněné místnosti nechal přicházet sluneční světlo úzkou štěrbinou a takto vymezeným svazkem paprsků světla osvětlil dvojici štěrbin v malé vzájemné vzdálenosti. Po dopadu světla ze štěrbin na stínítko ve větší vzdálenosti pozoroval barevné proužky rovnoběžné se štěrbinami. Young tak jednoznačně prokázal, že světlo je vlnění.

Další přesvědčivé výsledky interference lze získat také pomocí tzv. **Newtonových skel**.



Základem je planoparalelní deska, ke které je přiložena ploskovypuklá čočka o značném poloměru křivosti. Mezi čočkou a deskou vzniká tenká vrstva vzduchu a při dopadu monofrekvenčního světla dochází k interferenci světla odraženého od obou rozhraní tenké vrstvy vzduchu. Interferenční obrazec má podobu tmavých a světlých kroužků.

Newtonova skla lze využít k jednoduchému měření vlnové délky světla. Při odrazu světla představuje světlý kroužek body, v nichž vzniká interferenční maximum. Pro poloměr kroužku r_k platí: $r_k^2 = d(2R - d)$, kde d je tloušťka vzduchové vrstvy a R je poloměr křivosti optické plochy ploskovypuklé čočky. Protože d je mnohem menší než $2R$, můžeme po roznásobení pravé strany předešlé rovnice druhý člen vynechat: $r_k^2 = 2dR$.

Interferenční maximum nastane, právě když je dráhový rozdíl odražených paprsků roven sudému počtu půlvln. Při odrazu na skleněné desce se ale fáze odraženého vlnění mění na opačnou. Proto je potřeba dráhový rozdíl zvětšit o jednu půlvlnu. Platí: $2d + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}$

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

$$\lambda = \frac{4d}{2k-1}$$

$$\lambda = \frac{4}{2k-1} \frac{r_k^2}{2R}$$

$$\lambda = \frac{2r_k^2}{R(2k-1)}$$

Newtonova skla jsou tedy jednoduché zařízení, které umožňuje pozorovat interferenci na tenké vrstvě v odraženém i prošlém světle. Pokud tedy známe poloměr křivosti ploskovypuklé čočky, můžeme určit vlnovou délku světla pomocí měření poloměru Newtonova kroužku s určitým pořadovým číslem.

POLARIZACE SVĚTLA

Světelné vlnění, jehož vektor intenzity elektrického pole kmitá stále v jednom směru, nazýváme lineárně polarizované. Přirozené nepolarizované světlo můžeme přeměnit na polarizované světlo. Nejčastějšími způsoby polarizace světla jsou odraz a lom, dvojlom a absorpce.

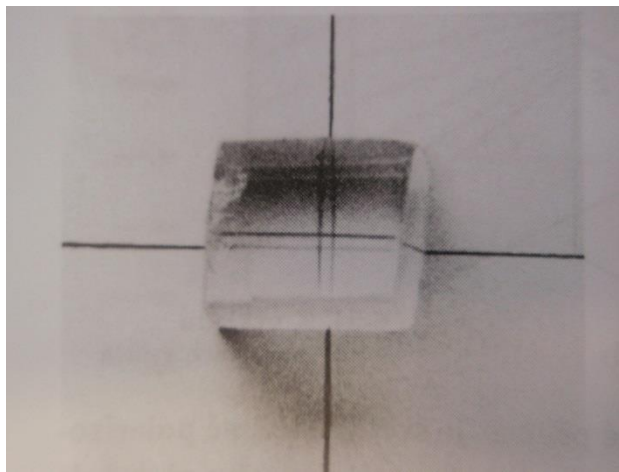
Polarizace světla odrazem a lomem

Nechme dopadnout nepolarizované světlo pod určitým úhlem na skleněnou desku. Dochází k odrazu a lomu světla. V odraženém světle kmitá vektor intenzity elektrického pole kolmo k rovině dopadu. Při lomu světla kmitá tento vektor rovnoběžně s rovinou dopadu. V obou případech tedy došlo k polarizaci světla. Ta je ale pouze částečná a závisí na úhlu dopadu světla.

Odražené světlo může být polarizované i úplně, ale pouze při určité hodnotě úhlu dopadu. Tento úhel závisí na indexu lomu rozhraní, na němž se světlo odráží. Nazýváme jej Brewsterův polarizační úhel.

Polarizace světla dvojlomem

K tomuto druhu polarizace dochází v anizotropních krystalech (islandský vápenec). Rychlost světla je v nich v různých směrech různá. Při dopadu světla na anizotropní krystal nastává dvojlom. Světelný paprsek se na rozhraní s krystalem rozdělí na dva paprsky: řádný – ordinární a mimořádný – extraordinární. Oba paprsky jsou lineárně polarizované a vektory intenzity elektrického pole obou paprsků kmitají v rovinách navzájem kolmých.



Polarizace světla absorpcí

K tomuto účelu používáme **polarizační filtry**, označované také jako **polaroidy**. Jestliže polaroidem prochází světlo, pak se elektrická složka světelného vlnění v jednom směru pohlcuje a část světla, jejíž vektor intenzity elektrického pole je na tento směr kolmý, polaroidem prochází. Procházející světlo je tedy zeslabeno.

Zařízení, pomocí kterého se přirozené nepolarizované světlo mění na polarizované, se nazývá **polarizátor**. Abychom mohli určit orientaci roviny, v níž leží polarizovaná světelná vlna, potřebujeme ještě další zařízení zvané **analyzátor**. Ten propouští polarizované světlo jen s určitou orientací této tzv. kmitové roviny.

Jako polarizátor a analyzátor lze použít dva polaroidy. Jedním z nich získáme polarizované světlo, které necháme procházet druhým polaroidem ve funkci analyzátoru. Tímto druhým polaroidem otáčíme a zjišťujeme, že při některých polohách analyzátoru světlo prochází a při jiných polohách světlo neprochází.

PŘÍKLAD Č. 1

Povrch skleněné čočky, která je vyrobena ze skla o indexu lomu $\frac{9}{5}$, je pokrytý tenkou antireflexní vrstvou o indexu lomu 1,34. Na čočku dopadá kolmo bílé světlo. Určete nejmenší tloušťku tenké vrstvy pokrývající čočku, při které se maximálně zeslabí světlo o vlnové délce 590 nm.

PŘÍKLAD Č. 2

Dvě rovnoběžné štěrby vzdálené od sebe 0,4 mm jsou zdroji koherentního bílého světla, jehož vlnová délka má hodnoty v rozmezí od 380 nm do 760 nm. Ve vzdálenosti 2,5 m od štěrbin je umístěno stínítko. Vypočítejte, jaká je šířka spektra prvního řádu.

PŘÍKLAD Č. 3

Na dvojici štěrbin ve vzájemné vzdálenosti 0,6 mm dopadá světlo o vlnové délce 580 nm. Ve vzdálenosti 2,5 m od štěrbin je umístěno stínítko, na kterém vzniká interferenční obrazec. Vypočítejte vzdálenost maxima prvního řádu od maxima nultého řádu.

PŘÍKLAD Č. 4

Dva koherentní paprsky o vlnové délce $0,8\mu\text{m}$ se setkávají v jednom bodě s dráhovým rozdílem 0,4 mm. Nastane interferenční maximum nebo minimum? (Zdůvodněte výpočtem)

PŘÍKLAD Č. 5

Dráhový rozdíl dvou koherentních paprsků bílého světla je $2,7 \mu\text{m}$. Pro které vlnové délky viditelného světla z intervalu od 380 nm do 760 nm nastane interferenční maximum?

PŘÍKLAD Č. 6

Mýdlová blána o indexu lomu 1,33 se při kolmém dopadu světla jevila v odraženém světle modrá. Určete její tloušťku. Vlnová délka modrého světla je 450 nm.

PŘÍKLAD Č. 7

Při osvětlení Newtonových skel monofrekvenčním světlem má třetí tmavý kroužek poloměr 2 mm. Poloměr křivosti ploskovypuklé čočky Newtonových skel je 180 cm. Určete vlnovou délku monofrekvenčního světla.

PŘÍKLAD Č. 8

Vypočtete, která barva se interferencí zruší při kolmém osvětlení tenké skleněné destičky o tloušťce $0,125 \mu\text{m}$, je-li index lomu skla, ze kterého je destička vyrobena, 1,5.

DALŠÍ PŘÍKLADY NA PROCVIČENÍ:

1. Na dvojici štěrbin ve vzdálenosti 1,0 mm dopadá světlo o vlnové délce 500 nm. Ve vzdálenosti 6 m od štěrbin je umístěno stínítko, na kterém vzniká interferenční obrazec. Určete vzdálenost maxima prvního řádu od nultého maxima. [3 mm]
2. Dva koherentní paprsky o vlnové délce $0,6\mu\text{m}$ se setkávají v jednom bodě s dráhovým rozdílem $2,1\mu\text{m}$. Nastane interferenční maximum nebo minimum? (Zdůvodněte výpočtem) [minimum]
3. Na mýdlovou bublinu o indexu lomu 1,33 dopadá kolmo paprsek bílého světla. Vypočtete tloušťku bubliny, jestliže maximum prvního řádu nastane pro zelenou barvu o vlnové délce 530 nm. [$0,1\mu\text{m}$]
4. Vypočtete, která barva se interferencí zesílí při kolmém dopadu světla na tenkou skleněnou destičku o tloušťce $0,125\mu\text{m}$, je-li index lomu skleněné destičky 1,5. [oranžová $0,75\mu\text{m}$]

SEZNAM ZDROJŮ:

- [01] Svoboda Emanuel a kol.: Přehled středoškolské fyziky, 3. vydání. Prometheus Praha, 1996
ISBN 80-7196-116-7
- [02] Bartuška Karel: Sbírka řešených úloh z fyziky pro střední školy 4. část, 1. vydání. Prometheus Praha, 1997
ISBN 80-7196-034-9
- [03] Nahodil Josef: Fyzika v běžném životě, 1. vydání. Prometheus Praha, 1996
ISBN 80-7196-005-5
- [04] Kubínek Roman, Kolářová Hana: Fyzika v příkladech a testových otázkách pro uchazeče o studium na VŠ, 1. vydání. Rubico Olomouc, 1996
ISBN 80-85839-07-5
- [05] Lepil Oldřich: Optika pro gymnázia, 3. vydání. Prometheus Praha, 2002
ISBN 80-7196-237-6

METODICKÝ LIST

Název školy	Gymnázium a Jazyková škola s právem státní jazykové zkoušky Zlín
Autor	Mgr. Petr Zezulka
Vzdělávací oblast	Optika
Vzdělávací obor	Fyzika
Tematický okruh	Vlnová optika
Druh učebního materiálu	Laboratorní cvičení – žák
Cílová skupina	Žák, 18 let
Anotace	Pracovní list určen do výuky studentům, podklad pro vlastní poznámky/sešit, náplň: Interference světla – užití v příkladech, úlohy týkající se vzniku interferenčních maxim a minim.