

# T É M A : INTERFERENCE A POLARIZACE SVĚTLA

Vypracoval/a:

Třída:

Spolupracoval/a:

Datum:

## ANOTACE:

Cílem tohoto dvouhodinového laboratorního cvičení je zopakovat žákům interferenci a polarizaci světla. Nejprve po teoretické stránce připomeneme důležité poznatky vlnové optiky. V druhé části této prezentace si žáci prakticky vyzkoušejí, jak mohou polarizovat světlo a jaké optické jevy přitom mohou pozorovat.

## 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**  $\Delta d$ . 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).

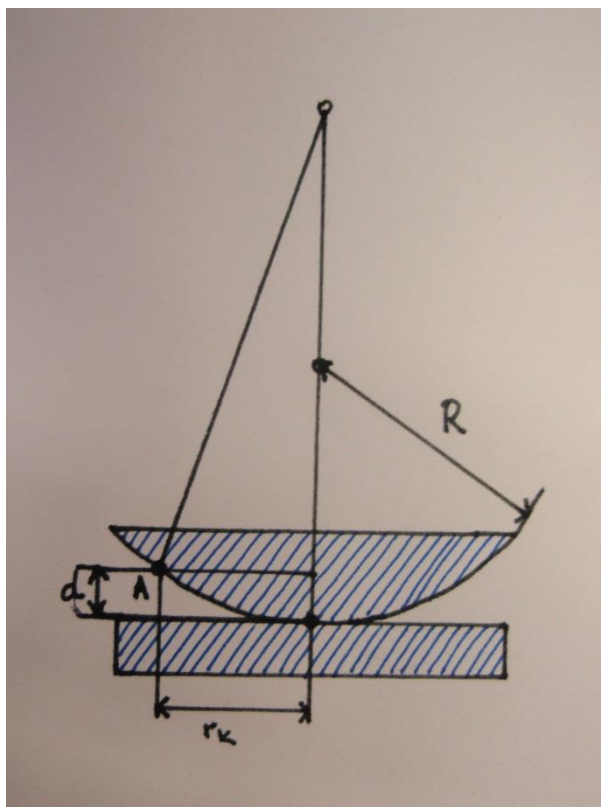
Výsledkem interference je zesílení a zeslabení světla. V daných místech vzniká **interferenční maximum** – zesílení světla a **interferenční minimum** – zeslabení světla.

**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  $\lambda$  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  $\lambda$  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.

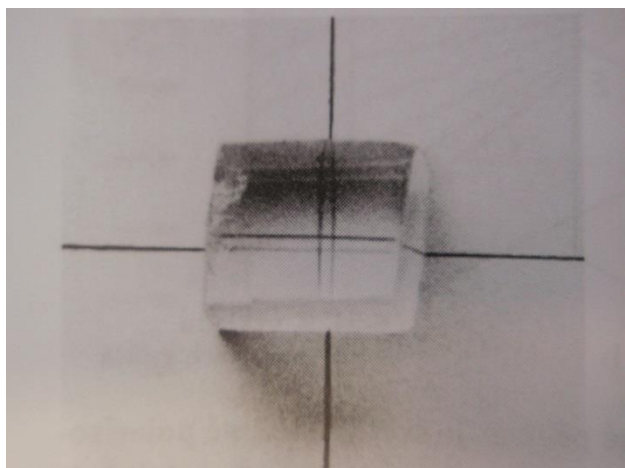
### Polarizace světla odrazem a lomem

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 velmi často používanému 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.

Vstupující paprsek se tedy rozdělí na dvě k sobě kolmé polarizované složky. Aby vycházelo z látky světlo polarizované jen v jednom směru, musíme jednu složku odstranit. To lze provést buď pomocí speciálního polarizačního hranolu, kterému říkáme **nikol**, nebo pomocí látky označované jako herapatit, která jeden z paprsků úplně absorbuje. Nikol se zhotovuje z islandského vápence zbrúšením jeho štěpného tvaru, dále rozříznutím a slepením pomocí kanadského balzámu. Řádný a mimořádný paprsek - vzniklé dvojlomem – mají v anizotropním

krystalu jinou rychlost a tedy i index lomu. Na vrstvičce kanadského balzámu je řádný paprsek odražen a absorbován. Mimořádný paprsek vychází díky zbrúšení na druhé straně ven jako lineárně polarizované světlo.

## 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.

Polarizační filtr je tvořen dlouhými rovnoběžnými řetězovými spoji molekul uhlíku a vodíku. Můžeme ho srovnat s tyčovou mřížkou. Pokud na filtr dopadne světlo, které není polarizované, způsobí vektor elektrického pole rovnoběžný s řetězci posuny jejich elektronů. Proto za filtrem vystupuje pouze kolmá složka světla. Filtr tedy světlo lineárně polarizuje, což znamená, že vektor intenzity elektrického pole světelné vlny kmitá pořád jen v jedné rovině.

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.

## **PŘÍPRAVA:**

1. Zopakujte si, co je polarizované a nepolarizované světlo.
2. Prostudujte si způsoby, jak lze nepolarizované světlo polarizovat částečně a úplně.

# ÚKOL Č. 1: POMOCÍ POLARIZAČNÍCH FILTRŮ ZKOUMEJTE NEPOLARIZOVANÉ SVĚTLO

## POMŮCKY:

Dva polarizační filtry – získané ze speciálních brýlí (např. rybářské brýle nebo brýle určené pro sledování prostorových projekcí pomocí počítače



## POSTUP: (MOŽNOST VYCHÁZKY S ŽÁKY DO OKOLÍ ŠKOLY)

1. Podívejte se zvenku do oken nějakého domu, budovy nebo výkladní skříně. Podíváte-li se pod úhlem, jehož velikost budete postupně měnit, zjistíte, že nemůžete vidět nic z toho, co je uvnitř. Vysvětlete.
2. Podívejte se znovu pod různě velkými úhly do oken přes polarizační filtr.
3. Popište, co pozorujete při různých polohách polarizačního filtru, když jím budete postupně pomalu otáčet.
4. Podívejte se ještě jednou do oken, ale použijte tentokrát dva takové polarizační filtry. Popište, co můžete při různých polohách filtrů pozorovat.
5. Vysvětlete, který způsob polarizace světla jsme takto demonstrovali.

## VYPRACOVÁNÍ:

## ÚKOL Č. 2: POZORUJTE PAPRSKY SVĚTLA PŘI POLARIZACI SVĚTLA DVOJLOMEM

### POMŮCKY:

Polarizační filtr - nikol, polarizační hranol, meotar, stínítko

### POSTUP:

1. Připravte si polarizační hranol – nikol a nechte jím projít svazek paprsků světla.
2. Ve vhodné vzdálenosti za nikolem umístěte kolmo stínítko.
3. Popište, co pozorujete na stínítku.
4. Nikolem pomalu opatrně otáčejte a popište, zda na stínítku pozorujete nějaké změny. Nezapomeňte, že po průchodu světla nikolem došlo k dvojlomu. Všímejte si tedy řádných i mimořádných paprsků.
5. Za krystalem umístěte polarizační filtr s tyčinkou.
6. Otáčejte tímto filtrem a pozorujte, co se děje s řádným i mimořádným paprskem.

### VYPRACOVÁNÍ:

## ÚKOL Č. 3: POZORUJTE A POPIŠTE POLARIZACI LASEROVÉHO PAPRSKU

### POMŮCKY:

Stínítko, laser a polaroid

### POSTUP:

1. Připravíme si laser a posvítíme jím na stínítko přes polaroid.
2. Tento polaroid zde vystupuje ve funkci analyzátoru polarizovaného laserového světla.
3. Pomalu otáčejte polaroidem okolo laserového paprsku v rovině, která je k němu kolmá. Popište, zda pozorujete nějaké změny na stínítku.

### VYPRACOVÁNÍ:

### ZÁVĚR:

Toto laboratorní cvičení bylo zaměřeno na pozorování jevů spojených s polarizací světla. Žáci by si měli vyzkoušet základní metody, jak polarizovat světlo. Měli by také umět vysvětlit rozdíly mezi nimi.

### SHRNUTÍ:

Odpovězte na následující otázky:

1. Jak se liší polarizované světlo od nepolarizovaného a jak je rozlišíme pouhým okem?
2. Co je to Brewsterův polarizační úhel?
3. Porovnejte polarizaci lomem a dvojlomem.
4. Zjistěte v literatuře, zda existují i jiné typy polarizace světla než lineární.

## 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, 17 let
Anotace	Pracovní list určen do výuky studentům, podklad pro vlastní poznámky/sešit, náplň: Interference světla – opakování teorie, polarizace světla – opakování teorie a praktická pozorování optických jevů během různým způsobů polarizace světla