

Polarizace světla

- Úkol:**
1. Pozorovat různé polarizační stavy světla.
 2. Seznámit se s funkcí optického polarizátoru.
 3. Experimentálně prověřit zákon Maluse.

Potřeby: Viz seznam v deskách u úlohy na pracovním stole.

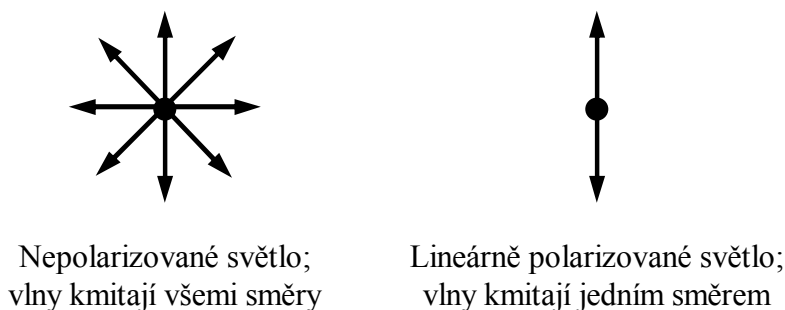
Obecná část

V případě elektromagnetických vln v oboru optických frekvencí (10^{15} Hz) generovaných klasickými (ne laserovými) zdroji optického záření, jako například rozžhavenými pevnými látkami (wolframové vlákno v žárovce) nebo excitovanými atomy plynů (výbojka). Světelné vlny, vycházející z takovýchto zdrojů záření, se vyznačují tím, že se směr kmitů vektoru E , v daném bodě prostoru, rychle a nahodile mění (obr. 1a). Časovou a prostorovou závislost světelného vektoru E potom nelze považovat v žádném smyslu jako uspořádanou. Takovéto světlo nazýváme přirozeným (vycházející z přirozených světelných zdrojů) nebo též nepolarizovaným.

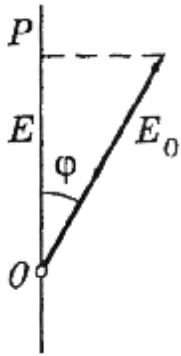
Elektromagnetickou vlnu, ve které jsou kmity vektoru elektrické intenzity E uspořádány (jakýmkoli způsobem), nazýváme vlnou polarizovanou. Přitom lidské oko nedokáže rozlišit polarizované světlo od nepolarizovaného.

Existují tyto druhy polarizace:

1. **lineárně polarizované světlo** - vektor E kmitá stále v jednom směru během šíření paprsku (viz obr. 1b). Rovina, v níž leží kmity vektoru E , se dohodou nazývá **rovina polarizace** (ve starší literatuře se můžeme setkat s označením kmitová rovina)
2. **kruhově polarizované světlo** - konce vektoru E opisují kruh, tj. velikost tohoto vektoru je konstantní, ale mění se jeho směr
3. **elipticky polarizované světlo** - konce vektoru E opisují v rovině kolmé na směr šíření **elipsu**, která ovšem může být libovolně skloněná vzhledem k souřadné soustavě (jedná se o obecný typ polarizace). V tomto případě mění vektor E jak svojí velikost, tak i směr



Obr. 1. Směr kmitání elektrické složky nepolarizovaného a lineárně polarizovaného světla (pohled ve směru šíření světla)



Obr. 1

Z přirozeného světla můžeme získat světlo lineárně polarizované pomocí optických elementů nazývaných **polarizátory**. Tyto elementy volně propouštějí kmity světelného vektoru E paralelní s rovinou, která se označuje jako rovina propustnosti polarizátoru. Kmity vektoru E kolmé k této rovině polarizátor nepropouští.

Nechť na polarizátor dopadá lineárně polarizovaná vlna jejíž vektor E_0 svírá úhel φ s rovinou propustnosti polarizátoru P (viz Obr. 1, ve kterém je směr šíření vlny kolmý k nákresně). Polarizátor propouští pouze tu komponentu vektoru E_0 , která je paralelní rovině P, tedy

$$E = E_0 \cos(\varphi). \quad (1)$$

Měřená intenzita světla je úměrná kvadrátu absolutní velikosti E , a proto je intenzita prošlého světla dána výrazem

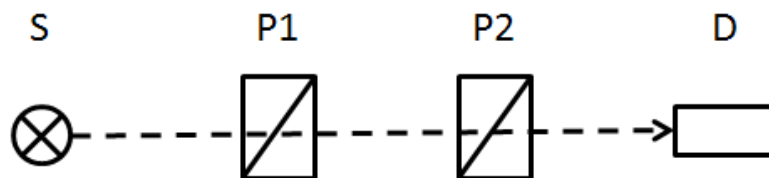
$$I = I_0 \cos^2(\varphi), \quad (2)$$

kde I_0 je intenzita lineárně polarizovaného dopadajícího světla. Tento vztah vyjadřuje zákon Maluse (Malyho, Malyův). Je zřejmé, že pro $j = 0^\circ$ světlo druhým polarizátorem, který se často označuje jako analyzátor, prochází (tzv. rovnoběžné polarizátory) zatímco pro $j = 90^\circ$ světlo druhým polarizátorem neprochází (tzv. zkřížené polarizátory).

Paprsek nepolarizovaného světla lze chápat jako složený z lineárně polarizovaných paprsků v různých směrech, přičemž žádný ze směrů není privilegovaný. Vzhledem k tomu, že průměrná hodnota $\cos^2 j$ je rovna $1/2$, bude platit $I = I_0/2$. Lineární polarizací se tedy intenzita přirozeného světla sníží na polovinu.

PRINCIP MĚŘENÍ

Malusův zákon budeme ověřovat na optické lavici, jejíž schéma je naznačeno na Obr. 2.



Obr. 2

Na schématu značí S světelný zdroj, P1 je polarizátor s pevnou rovinou propustnosti a P2 je polarizátor, jehož rovina propustnosti, a tedy i úhel φ , lze kontinuálně měnit. Detektorem D potom prověříme Malusův vztah (2).

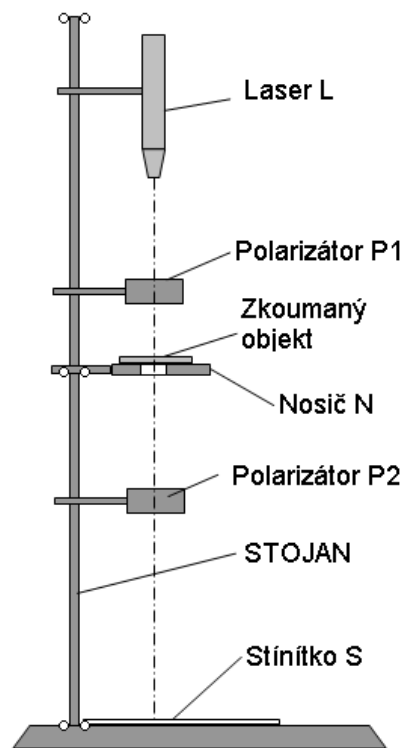
POSTUP MĚŘENÍ

A) Kvalitativní pozorování vlivu vzájemné orientace lineárních polarizátorů na intenzitu procházejícího světla.

Pozorování provedeme na zařízení podle obr. 3.

Pracovní postup

- 1) Zapněte laserovou diodu L zasunutím napájecího adaptéru do zásuvky
- 2) Pootočením svorky držící spodní polarizátor P2 odstraňte tento polarizátor z cesty laserového paprsku
- 3) Pootáčejte horním polarizátorem P1 a sledujte jak se mění **intenzita** světelné stopy na stínítku S. Pozorování запиšte a rozmyslete, jaký **polarizační stav** má světelná vlna vycházející z laserové diody (lineární, kruhový nebo eliptický). Pozorujte a posuzujte jen změny intenzity světelné stopy, ne její tvar !!
- 4) Nastavte polarizátor P1 tak, aby intenzita světelné stopy byla maximální.
- 5) Pootočením svorky držící spodní polarizátor P2 přemístěte tento polarizátor (analyzátor) do dráhy laserového paprsku
- 6) Natočte polarizátor P2 do polohy, ve které je intenzita světelné stopy minimální a запиšte úhly nastavení obou polarizátorů
- 7) Pootáčejte polarizátorem P2, sledujte změny intenzity světelné stopy a odhadněte úhel, při které je intenzita stopy maximální.
Uvědomte si, že tento experiment demonstruje Malusův zákon podle něhož při otáčení jednoho z polarizátorů osciluje výsledná intenzita světelné stopy na stínítku mezi nulovou a maximální hodnotou.
- 8) Natočte polarizátor P2 do „zkřížené polohy“ tj. tak, aby intenzita světelné stopy byla minimální
- 9) Položte na nosič N zkoumaný objekt obyčejné sklo (např. podložní mikroskopické sklíčko) a pozorujte jak se změni intenzita světelné stopy. Pozorování запиšte a rozmyslete jakým způsobem účinkuje zkoumaný objekt na procházející polarizované světlo.
- 10) Položte na nosič N zkoumaný objekt (skleněnou mikrokyvetu s kapalným krystalem) a pozorujte jak se změni intenzita světelné stopy. Pozorování запиšte a rozmyslete jakým způsobem účinkuje zkoumaný objekt na procházející polarizované světlo.
- 11) Vložte do dráhy laserového paprsku mezi zkřížené polarizátory válcovou kyvetu naplněnou roztokem cukru a pozorujte jak se změni intenzita světelné stopy. Otáčením analyzátoru obnovte původní stav a запиšte k tomu potřebný úhel. Pozorování запиšte a rozmyslete jak působí zkoumaný roztok na procházející lineárně polarizované světlo



Obr. 3.

!!! Vždy pozorujte a posuzujte jen změny intenzity světelné stopy, ne její tvar !!!

B) Kvantitativní pozorování vlivu vzájemné orientace lineárních polarizátorů na intenzitu procházejícího světla.

Měření závislosti intenzity na úhlu φ provedeme na optické lavici od firmy PASCO (Obr. 4 na následující straně), kde je (v pořadí zleva) umístěna laseová dioda, polarizátor, otočný polarizátor a detektor optického záření jehož signál je pomocí rozhraní ScienceWorkshop500 vyveden do počítače společně s informací o poloze otočného polarizátoru P2 (pomocí polohového čidla).

Pracovní uspořádání výsledné sestavy bude mít kompaktní tvar, jak je naznačeno na Obr. 5 (rovněž na následující straně), abychom eliminovali vliv okolního světla



Obr. 4



Obr. 5

Pracovní postup

1. Zapněte **interface** Science Workshop 500 (na zadní straně). Jeho aktivní stav se zobrazí svítící zelenou LED diodou na předním panelu. Přepínač na světelném čidle musí být v poloze 1.
2. Zapněte laserovou diodu (na zadní straně)
3. Zapněte **počítač** (heslo zadá učitel) a spusťte program **DataStudio**.
4. Kliknutím vyberte „**Create Experiment**“
5. Výběr potřebných senzorů (Rotary Motion Sensor a Light Sensor)
 - v okně **Experiment setup** klikněte do oblasti levých dvou konektorů na **senzor č. 1** na zobrazeném panelu interface. V seznamu, který se objeví na obrazovce vyberte **Rotary Motion Sensor**.
 - dále klikněte do oblasti tří pravých konektorů na **senzor A** na zobrazeném panelu interface. V seznamu, který se objeví na obrazovce vyberte **Light Sensor**.Vybrané sensory (jejich ikony) se objeví pod obrázkem interface. Zavřete okno Experiment Setup.
6. Tvorba grafu
 - Klikněte na **Graph** a v nabídnuté tabulce vyberte **Light Intensity** (objeví se na ose y).
 - V grafu klikněte na **Time** (na ose x) a vyberte **Angular Position**. Začátek osy posuňte doleva. Graf zvětšete na celou obrazovku.
7. Měření spustíte kliknutím na ikonu **Start** (na horní liště). Začněte pomalu **otáčet polarizátorem P2** (směrem od sebe). Předem zkontrolujte je-li spojen pryžovou řemeničkou s rotačním čidlem.

Zaznamenejte několik period oscilující intenzity světla a následně záznam ukončete kliknutím na ikonu **Stop**.

8. Vyhodnocení měření

Kliknutím na ikonu **Fit** otevřete tabulku, ve které vyberte funkci **User-Defined Fit** a kliknutím do jejího pole otevřete menu **Curve Fit**

Zvolte **Manual**, zadejte závislost ve tvaru $A \cdot \cos(B \cdot x - C)^2$ a aktivujte ji kliknutím na **Accept**. (před zadáváním funkce je vhodné přepnout klávesnici na anglickou verzi)

9. Manuálními iteracemi nastavte počáteční parametry A, B a C tak, aby jste se v teoretické předpovědi dostatečně přiblížili proměřené závislosti. Jako jednotku úhlu zvolte **deg**.

A volte podle amplitudy naměřené závislosti

$B = 1$

C volte podle fázového zpoždění

Funkci se zvolenými parametry aktivujte vždy kliknutím na **Accept**.

Po dostatečném přiblížení nadefinované závislosti k naměřené dokončete fitování použitím režimu **Automatic + Accept**.

10. Získanou závislost zaznamenejte na externí paměť společně s proměřenými daty.

11. Diskutujte význam hodnoty nadefinovaných koeficientů A, B a C a vysvětlete, zdali jste daným postupem opravdu prověřili Malusův zákon

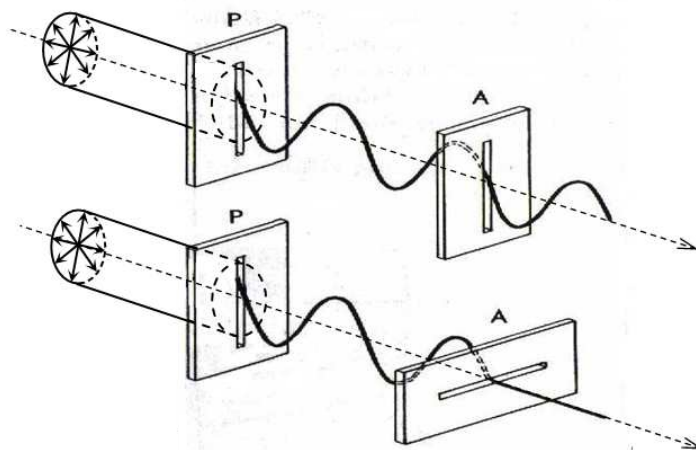
Po skončení měření vypněte počítač, interface i laserovou diodu !!!

znak česká klávesnice Fn+Alt+94 (zadávat modré číslice)

Příloha

Mechanický model lineární polarizace

Podstatu funkce lineárního polarizátoru a analyzátoru lze ozřejmit na mechanickém modelu v němž je (světelné) vlnění modelováno rozkmitaným pružným lankem. Blíže ke zdroji nepolarizovaného vlnění je štěrbina ve funkci polarizátoru P, kterou projde jen příčné vlnění, jehož kmitová rovina je orientována stejně jako štěrbina. Z polarizátoru vychází lineárně polarizované vlnění, které projde analyzátozem A (tvořený opět lineárním polarizátorem) jen v případě, že obě štěrby jsou rovnoběžné.



Optická aktivita (rotační polarizace)

Některé látky (např. křemenná destička vyříznutá kolmo k optické ose, roztok třtinového cukru, kyseliny vinné atd.) mají schopnost stáčet rovinu polarizace. Jedná se tzv. **látky opticky aktivní**. Vložíme-li vzorek takové látky mezi zkřížený polarizátor a analyzátor, zorné pole se vyjasní. Aby světlo opět zhaslo, je nutno analyzátozem otočit o určitý úhel. Otáčíme-li ve směru hodinových ručiček, mluvíme o látce pravotočivé, otáčíme-li proti směru hodinových ručiček, látka je levotočivá. Tento jev využívá např. **polarimetrie** k určování koncentrace opticky aktivní látky v roztoku.