

Jméno: Datum:
Spolupracoval(a): Třída:

Pracovní list: Polarizace světla a Malusův zákon

Polarizátory mají široké využití – od slunečních brýlí a fotoaparátů, přes 3D kino až po optická zařízení v laboratořích a průmyslu. V této laboratorní práci si sami vyzkoušíte, jak polarizace světla funguje, a zjistíte, jak lze pouhou změnou orientace polarizátorů ovlivnit intenzitu světla.

Cesta k Malusovu zákonu

Úkol 1.1 Vezměte polarizátor (popř. polarizační fólii, se kterou se manipuluje lépe) do ruky a prozkoumejte, jak se chová. Co skrz něj vidíte? Je to, co vidíte, stále stejné i když jím otáčíte, nebo se to mění? Popište svá pozorování.

Pozorování 1.1:
.....
.....

Úkol 1.2 Umístěte dva polarizátory (popř. dvě polarizační fólie, s nimiž se manipuluje lépe) za sebe, měňte úhel jejich vzájemného natočení a popište, co skrze ně vidíte. Postupujte stejně jako v předchozím úkolu. Popište svá pozorování.

Pozorování 1.2:
.....
.....



Obrázek 1 Fotografie sestavené aparatury

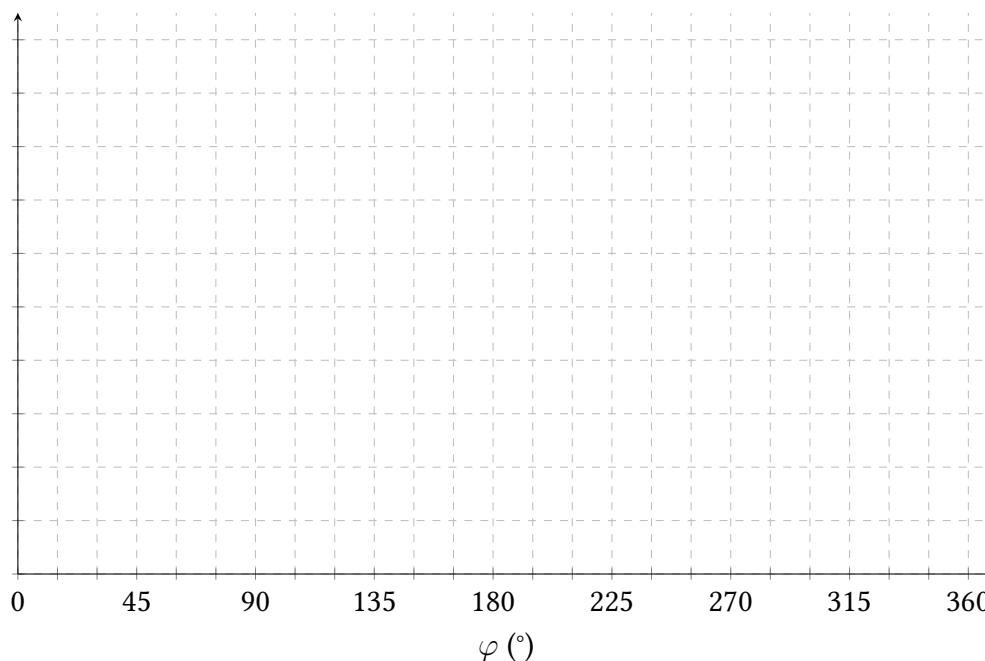
Úkol 1.3 Změřte, jak se mění intenzita světla prošlého dvojicí polarizátorů v závislosti na jejich natočení.

Jak na to?

1. Sestavte aparaturu podle obrázku 1, použijte pouze dva polarizátory (místo čtyř na obrázku), které budeme **označovat** P_1 a P_2 v pořadí, jakým jimi prochází světlo z LED.
2. Otočte červeným kolečkem u polarizátoru P_1 tak, aby na něm bylo nastaveno 0° , tj. $P_1 = 0^\circ$.
3. Polarizátor P_2 nastavte na $P_2 = 0^\circ$ a zapište do tabulky na listu 2 údaj o intenzitě, který naměřil luxmetr.
4. Polarizátor P_2 přenastavte do další pozice, jejíž úhel dovede určit, zatímco polarizátorem P_1 **už nehýbejte** (stále by mělo platit $P_1 = 0^\circ$) a zapište do tabulky další údaj o intenzitě, který naměřil luxmetr.
5. Pokračujte dál přenastavováním polarizátoru P_2 a údaje zapisujte do tabulky.

φ ($^\circ$)	0	15	30	45	60	75	90	105	120
I (lx)									
φ ($^\circ$)	135	150	165	180	195	210	225	240	255
I (lx)									
φ ($^\circ$)	270	285	300	315	330	345	360		
I (lx)									

Úkol 1.4 Zvolte vhodné měřítko y -ové osy grafu na základě naměřených hodnot intenzit světla. Osu náležitě popište (nezapomeňte na popis veličiny a její jednotku). Vyznačte změřené údaje do grafu.



Co jsme doposud vypořizovali?

Jsou-li roviny polarizátorů kolmo k sobě, tj. svírají-li polarizátory úhel 90° nebo 270° , říkáme, že jsou zkřížené; svírají-li úhel 0° nebo 180° , říkáme, že jsou spolu rovnoběžné. Máme-li nejprve polarizátory rovnoběžné a otáčíme jedním tak, že se dostanou do polohy, v níž jsou zkřížené, pak intenzita světla:

Vzniká tedy přirozeně otázka, jak spočítat přesně intenzitu světla, které projde v obecné poloze polarizačních filtrů, tj. když jejich polarizační roviny svírají úhel φ . Na ni našel odpověď francouzský fyzik Étienne Malus (1775–1812).

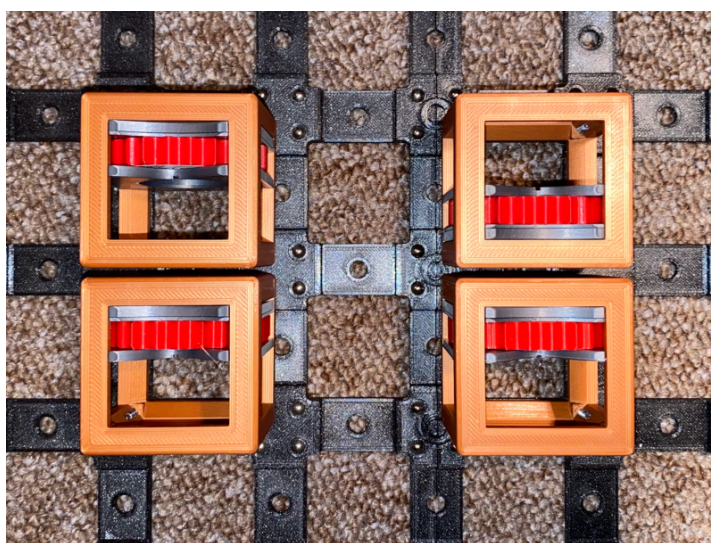
Malusův zákon Označíme-li I_0 intenzitu světla, které projde při rovnoběžných rovinách dvou polarizátorů, tj. 0° , pak intenzita I světla při libovolně nastavených rovinách polarizátorů s odchylkou φ je

$$I = I_0 \cos^2 \varphi.$$

Úkol 1.5 Určete z naměřených hodnot I_0 (pozor, je možné, že jste I_0 přímo nenaměřili a je ho třeba dopočítat) a dosazením do výše uvedeného vztahu ukažte, že vaše předchozí měření odpovídá Malusovu zákonu. Vypočtené hodnoty vynesete do grafu (jinou barvou).

Úkol 1.6 Diskutujte, proč některé z naměřených hodnot neodpovídají Malusovu zákonu (pokud takové hodnoty naměřeny byly). Kde mohla být do měření vnesena chyba?

Diskuse 1.6:
.....
.....



Obrázek 2 Polohy polarizátorů

Hrátky s polarizátory

Na základě vašich zkušeností s polarizátory a toho, co jste se dozvěděli o Malusově zákonu, řešte následující úkoly.

Úkol 2.1 Prozkoumejte, zda by se měření změnilo, pokud by byly polarizátory na aparaturu umístěny dvěma způsoby, viz obrázek 2. Mění se intenzita prošlého světla, nebo zůstává stejná (pozor, úhel mezi natočením polarizátorů musí být stále φ)?

Pozorování 2.1:
.....
.....

Soustava o 3 polarizátorech

K plnění těchto úkolů budete potřebovat trojici polarizátorů, které budeme označovat P_1 , P_2 a P_3 v pořadí, jakým jimi prochází světlo z LED svítidly.

Úkol 2.2 Prozkoumejte jak se chová světlo v soustavě **tří** polarizátorů (popř. tří polarizačních fólií, s nimiž se manipuluje lépe). Postupujte stejně jako v úkolu 1.2. Popište svá pozorování.

Pozorování 2.2:
.....
.....

Úkol 2.3 Na chvíli odstraňte polarizátor P_2 a nastavte polarizátory P_1 a P_3 zkříženě, tj. jeden je vzhledem k druhému otočen o 90° . Diskutujte, zda je možné, aby s přidáním polarizátoru P_2 mezi první dva polarizátory procházelo soustavou nějaké světlo. Proč tomu tak je? Po diskuzi svou hypotézu ověřte.

Diskuze 2.3:
.....
.....

Úkol 2.4 Navrhněte a poté ověřte, jak musí být nastaven polarizátor, jehož hodnota není uvedena, aby luxmetr naměřil co **nejvyšší** hodnotu, když jsou už dva polarizátory nastavené:

- (a) $P_1 = 0^\circ$, $P_2 = ?$, $P_3 = 0^\circ$,
- (b) $P_1 = 45^\circ$, $P_2 = ?$, $P_3 = 135^\circ$,
- (c) $P_1 = 270^\circ$, $P_2 = 180^\circ$, $P_3 = ?$.

Návrh 2.4(a):.....

 Ověření 2.4(a):.....

 Návrh 2.4(b):

 Ověření 2.4(b):.....

 Návrh 2.4(c):.....

 Ověření 2.4(c):.....

Soustava o 4 polarizátorech

K plnění těchto úkolů budete potřebovat čtveřici polarizátorů, které budeme označovat P_1 , P_2 , P_3 a P_4 v pořadí, jakým jimi prochází světlo z LED svítilny.

Úkol 2.5 Dva polarizátory nastavte na $P_1 = 0^\circ$, $P_4 = 225^\circ$. Přidejte mezi tyto polarizátory dva zbývající tak, aby:

- (a) luxmetr naměřil co **nejvyšší** hodnotu,
- (b) luxmetr nejprve naměřil co **nejnižší** hodnotu, ale následně, když polarizátory P_2 a P_3 **prohodíte**, byla hodnota změřená luxmetrem co **nejvyšší**.

Existuje více možností?

Nastavení 2.5(a):.....

 Nastavení 2.5(b):.....

Výzva na závěr

Světlo, jakožto elektromagnetické záření, které je viditelné lidským okem, lze charakterizovat např. vektorem elektrické intenzity \vec{E} , který je kolmý ke směru šíření tohoto záření a leží obecně v rovině kolmé ke směru šíření.

Pokud vektor \vec{E} ležící v této rovině má v čase nahodilý směr, pak hovoříme o nepolarizovaném světle.

V případě, že se však směr vektoru \vec{E} nemění (tento směr nazýváme směr polarizace) a dochází jen ke změně jeho velikosti, nazýváme toto světlo lineárně polarizované. Právě pomocí polarizátoru lze světlo lineárně polarizovat, což jste si již několikrát vyzkoušeli při plnění předchozích úkolů.

Výzva Odhadněte a poté i ověřte, jak by šlo otočit směr polarizace světla o 45° tak, aby výsledné světlo mělo co **nejvyšší** intenzitu. Bylo by výhodnější použít jen jeden polarizátor, nebo více polarizátorů? Pokud více, pak kolik?

Odhad výzvy:

.....
.....

Ověření výzvy:

.....
.....