

Protokol A12: Metoda temného pole & Určení indexu lomu

Petr Šafařík
Physics section of Faculty of Science
Masaryk Univerzity

Měřeno: 5. března 2007
Zkompilováno 9. dubna 2007 v systému L^AT_EX 2_ε^{*†}

Obsah

1	Temné pole	2
1.1	Popis experimentu	2
1.2	Schéma experimentu	2
2	Index lomu	3
2.1	Index lomu — trocha teorie	3
2.2	Příprava experimentu	4
2.3	Kolmý dopad	6
2.3.1	Problém	6
2.3.2	Řešení	6
2.4	Měření a výsledky	8
2.5	Závěr	8
3	Poznámky	8

*Připomínkováno Janou Jurmanovou, která se omlouvá za neschopnost sjednotit naše kódování, dne 2. dubna 2007

†Opraveno o připomínky a opět odevzdáno 9. dubna 2007

1 Temné pole

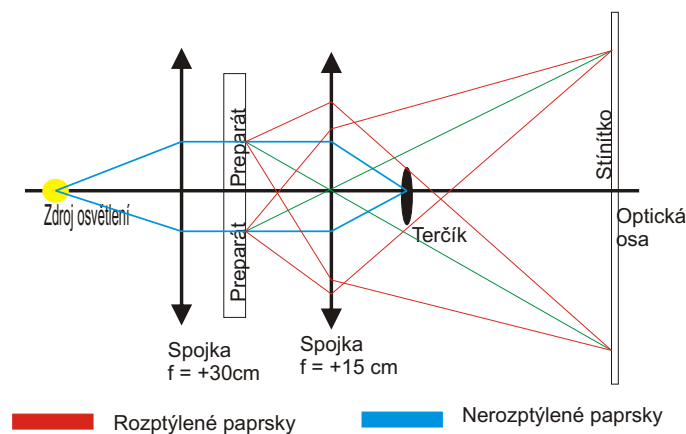
1.1 Popis experimentu

K experimentu jsme použili následující vybavení: Zdroj světla, čočky o ohniskové vzdálenosti +30 cm a +15 cm, preparát, stínítko a samozřejmě terčik.

Temné pole vzniká zacloněním paprsků, které soustavou procházejí bez rozptýlení (odklonu). Takto tedy projdou pouze paprsky, které jsou z důvodu např. jiné optické dráhy či ohybu odkloněny a neprocházejí tedy ohniskem ^{1 2}, jak je vidět na obrázku (1) na stránce (2).

1.2 Schéma experimentu

Obrázek 1: Schéma experimentu



¹Je místo, ve kterém je terčik, opravdu ohniskem druhé čočky?

²Ano. Viz. strana 43 resp. 22 v [2] bod 3:

Vložením terčiku do ohniska vznikne kontrastní obraz preparátu v temném poli. Vytvoření jej jen rozptýlené paprsky, které prošly čočkou.

2 Index lomu Fresnelova dvojhnanolu

2.1 Index lomu — trocha teorie

Index lomu je definován jako druhá odmocnina součinu relativní permeability a relativní permitivity prostředí (1)

$$n = \sqrt{\varepsilon_r \cdot \mu_r}. \quad (1)$$

Pro ne-feromagnetika je μ_r velmi blízká jedné, proto se dá vztah (1) přepsat do jednodušší verze (2)

$$n = \sqrt{\varepsilon_r}. \quad (2)$$

V nejjednodušším případě — pro průhledné a čiré látky — lze index lomu n považovat za konstantu, vztahující se k celému rozsahu viditelného světla. v tom případě je možné index lomu takovéto látky napsat jako

$$n = \frac{c}{v} \quad (3)$$

kde c je rychlost světla ve vakuu, běžně $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$. Na rovinném rozhraní dvou látek s různými indexy lomu dochází k lomu světla dle Snellova zákona.

V případě hranolu se dá situace lehce vyřešit pomocí Snelliova zákona. Z obrázku (3) na stránce (5) plyne následující rovnost (4)

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin(\beta - \omega) \\ \sin \delta &= \sin \beta \cos \omega - \cos \beta \sin \omega \\ \sin \delta &= n \sin \omega \cos \omega - \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \omega} \sin \omega \end{aligned} \quad (4)$$

Provedeme aproximaci pro malé úhly:

$$\sin \delta \doteq \delta$$

$$\sin \omega \doteq \omega$$

$$\cos \omega \doteq 1$$

Následně tedy po jistých úpravách lze při aproximaci pro malé úhly z rovnic pro $\sin \delta$ odvodit vztah pro index lomu:

$$n = \frac{x}{\omega \cdot L} + 1 \quad (5)$$

2.2 Příprava experimentu

K experimentu jsme potřebovali laser — my používali He-Ne laser (normál délky pro He-Ne laser je dán jako $\lambda_0 = 632,99141nm$), irisová clona, Fresnelův dvojhranol a stínítko. K tomu, abychom zjistili index lomu tohoto hranolu, jsme dle výše uvedené teorie potřebovali následující hodnoty:

- Úhel sklonu hranolu
- Deviaci

Úhel sklonu nám dodal Martin Sedlár³ ve svém protokolu [1] a na základě jeho měření⁴ a našem přepočítání úhlu jsme pracovali s hodnotou pro úhel sklonu hranolu

$$\omega = 0,0207 \text{ rad}$$

My měli za úkol zjistit deviaci hranolu a ze vztahu (5) určit index lomu.

Základní idea byla následovná: Deviace je úhel mezi paprskem, který by prošel bez lomu (změny indexu lomu) a paprskem, který nakonec opouští hranol (viz. obrázek (2)). Vzhledem k tomu, že část paprsku prochází hranolem bez ohnutí a část se lomí, je nejjednodušší způsob svítit kolmo na hranol (o tom, jak zařídit kolmý dopad a jaké jsou nevýhody tohoto provedení se rozepíšu v části (2.3) na straně (6)) a změřit právě vzdálenost mezi oběma takto vzniklými body a geometrickou dráhu paprsku, který nezměnil svůj směr.

³Nutno dosazovat hodnotu v radiánech

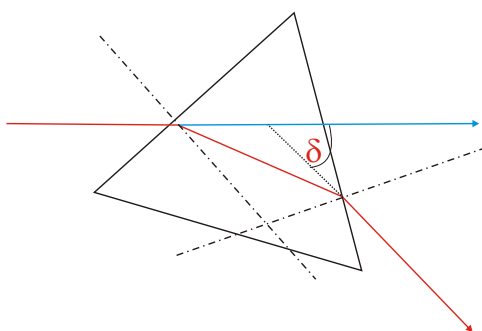
⁴Na odraz:

$d_1 = 7 \text{ mm}$

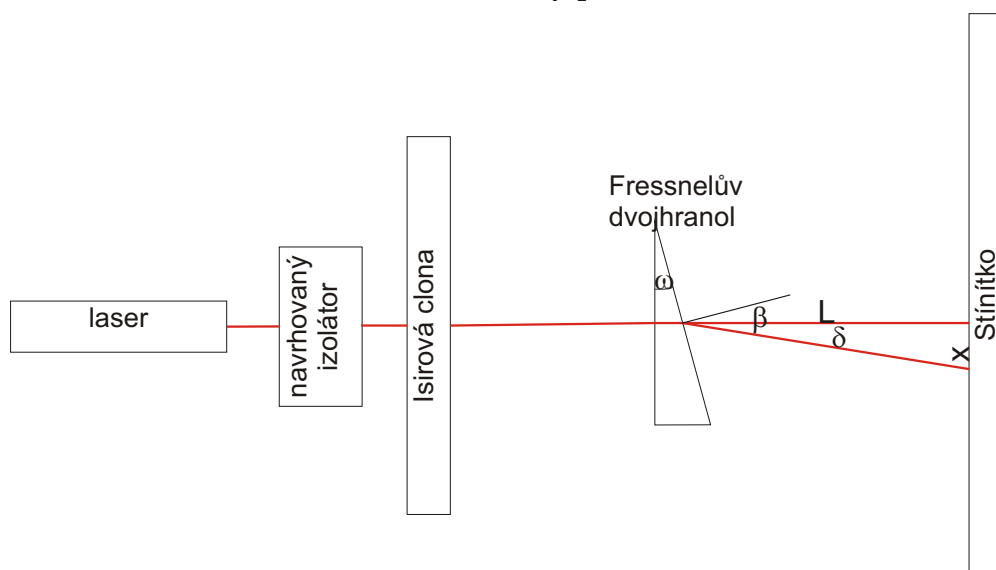
$L_1 = 338 \text{ mm}$

$\omega = 0,0207 \text{ rad}$

Obrázek 2: Nákres pro vysvětlení pojmu deviace



Obrázek 3: Schéma sestavy pro měření deviace



2.3 Vsuvka: Jak zařídit kolmý dopad a úskalí námi používané metody

2.3.1 Problém

Kolmý dopad na stěnu hranolu zařídíme kontrolou přímého odrazu: justací hranolu zařídíme, aby světelná stopa z odrazu mířila zpět přímo do laseru, resp. do irisové clony.

Zásadním problémem při jakékoli práci s lasery je vyvarování se jakýchkoli "neřiditelných" odrazů, aby některý odražený paprsek nezasáhl nechráněné oko – při laserech s vyšším výkonem či pracujících na vysokých frekvencích (mimo viditelnou oblast) hrozí trvalé a nevratné vypálení světločivných buněk. My naštěstí pracovali s laserem o nízkém výkonu a navíc ve viditelné oblasti ($\lambda_0 = 632,99 \text{ nm}$ — červená barva).

Druhým podstatným záporem takového uspořádání je to, že kolmost dopadu zajišťujeme zpětným odrazem, který v plné síle prochází až do laseru, což narušuje jak časovou koherenci paprsku.

Řešením by bylo použít izolátor mezi laser a clonku.

2.3.2 Řešení

Na obrázku (4) je schéma optického izolátoru. Celý izolátor využívá tzv. Faradayova jevu⁵.

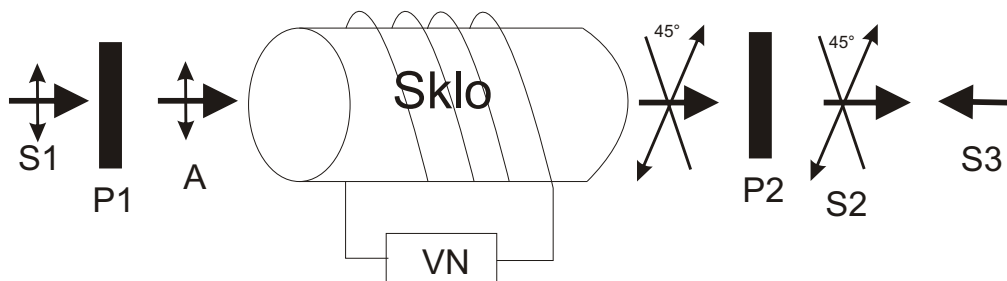
Skládá se ze skleněné tyče s velkou Verdeovou konstantou a ze dvou a ze dvou polarizátorů, vzájemně otočených o úhel $\Phi = 45^\circ$. Polarizátor P1 umožňuje rovině polarizovaného monochromatického světla projít sklem, umístěným podél osy solenoidu. Proud v solenoidu indukuje magnetické pole takové intenzity, aby se rovina polarizace procházejícího záření otočila při průchodu sklem o úhel 45° . Světlo s rovinou polarizace otočenou o úhel 45° projde polarizátorem P2 nezeslabené. Světelné elektromagnetické záření projde sklem a jeho rovina polarizace bude otočena

⁵Faradayův jev — otáčení roviny polarizace elektromagnetického záření šřícího se látkou a nevykazující přirozenou optickou aktivitu, způsobené vnějším magnetickým pole působícím ve směru šíření záření.

Je-li opticky neaktivní látka umístěna do silného magnetického pole, stává se *opticky aktivní* a indexy lomu látky (n^+ a n^-) pro kruhově pravotočivé a levotočivé polarizované záření se stávají rozdílnými. Důsledkem toho je, že se směr polarizace lin. polarizovaného monochromatického záření o vlnové délce λ šířícího se látkou ve směru pole otočí o úhel $\Phi = \frac{\pi l(n^+ - n^-)}{\lambda}$, kde l je délka prošlé dráhy záření v látce.

Na rozdíl od přirozeně opticky aktivních látek dochází v případě Faradayova jevu při zpětném průchodu (např. po odrazu od zrcadla) k dalšímu otáčení roviny polarizace *ve stejném smyslu*.

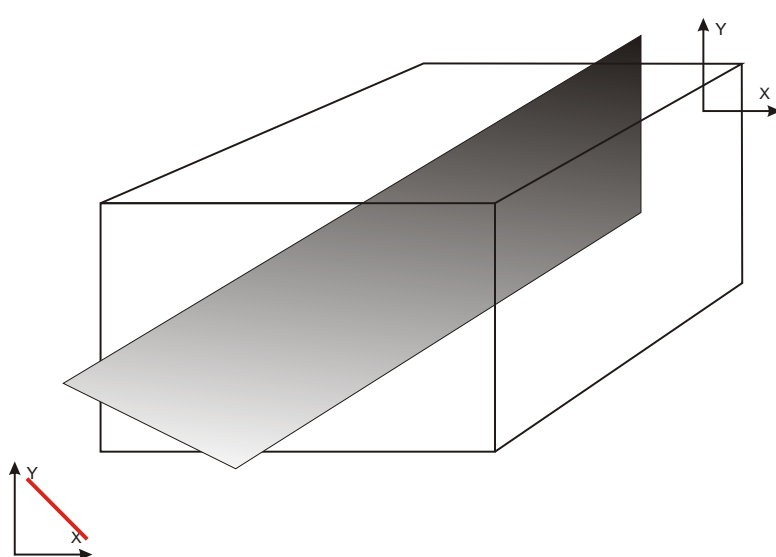
Obrázek 4: Schéma optického izolátoru



opět o 45° , tzn. že v bodě A otočena o 90° vzhledem k rovině polarizace vstupujícího záření. Proto tento svazek neprojde polarizátorem $P1$ zpět.

Vlastní natočení by se dalo shrnout asi tak: V osách x a y je jiný index lomu v každé ose. Když se pohybuje obecně polarizovaný svazek, tak se po rozložení do obou os v každé pohybuje jinou rychlostí. Čelo vlny se tedy stočí, jak jsem se pokusil ukázat na obrázku (5). Pokusil jsem se o to, aby barevný gradient vystihl stočení roviny. Na dvou malých obrázcích se systémem os x, y jsem se pokusil nakreslit rovinu polarizace vstupujícího a vystupujícího paprsku.

Obrázek 5: Otočení čela vlnoplochy



2.4 Měření a výsledky

Naměřili jsme následující hodnoty pro x a L do vztahu (5). Výsledek jsem sepsal do tabulky (1) na straně (8).

Tabulka 1: Tabulka s výsledky měření

L	x	ω	n
1160	11	0,0207 rad	1,458

2.5 Závěr

Vyzkoušel jsem si metodu temného pole a s Vítkem Doležalem jsme na základě dat dodaných Martinem Sedlářem [1] spočetli index lomu skla použitého pro Fresnelův dvojhrot. Index lomu jsme spočetli na

$$n = 1,458$$

3 Poznámky

Reference

- [1] M. Sedlář: Demonstrace moderních optických zobrazovacích metod; Svazek A; Oddíl 4 - Určení úhlu sklonu hranolu; Editor&Korektor: Mgr. Jana Jurmanová, Ph.D.; Vydavatelství HimSelf Press; Brno; 2007
- [2] J. Kuběna: Principy moderních optických zobrazovacích metod Učební pomůcka zaměřená pro posluchače experimentálního oboru Výber témat pro podzim 2006, verze 61 <http://www.physics.muni.cz/~kubena/PDF/ModMetv61.pdf>
- [3] Wolker, Texas–Ranger: Fyzika; díl 1-5.