

# SCATTERING OF POLARIZED LIGHT IN IMAGERY OF ANISOTROPIC BIOLOGICAL SAMPLES

**Jan Mikláš**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xmikla05@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Tománek

E-mail: tomanek@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

The imaging of anisotropic biological media is scrambled by presence of scattering. To ensure a good quality of image, it is necessary to provide an advantageous control of matter composition. Optical method using a measurement of a degree of polarization vs. particle concentration and/or scattering length is described and first results are presented..

## 1. ÚVOD

V posledním letech vzrůstá zájem o zobrazení anizotropních látkových prostředí, která se vyznačují mírným či vysokým stupněm rozptylu. Tyto aplikace zahrnují dálkový průzkum Země, astronomii, mikroskopii, kontrolu znečištěné vody, či zkoumání biologických tkání, ať již v biomedicíně nebo při kontrole potravin [1]. Kromě vlastního studia rozptylu jsou zkoumány také polarizační vlastnosti rozptýleného světla. Stav polarizace světla vystupujícího z rozptylujícího prostředí může být použit k rozlišení délek drah fotonů v materiálu a vzhledem k faktu, že si nerozptýlené a slabě rozptýlené světlo podrží své původní polarizace, také ke zlepšení rozlišení ve výsledném obrazu.

Každý optický materiál je možné charakterizovat jeho polarizačními vlastnostmi. Je známo, že stupeň polarizace rozptýleného světla značně závisí na optických vlastnostech prostředí. Navíc, polarizační paměť světla umožní zkoumat rozptylující prostředí, protože lineárně polarizované světlo je citlivější k povrchu prostředí. Rozlišovací schopnost zobrazení v těchto látkách je však velmi silně zhoršena rozptylem polarizovaného světla.

## 2. POLARIZACE A ANIZOTROPNÍ PROSTŘEDÍ

Biologické materiály, jako reprezentanti náhodně nehomogenních prostředí, se velmi obtížně zobrazují, v důsledku náhodného mnohonásobného rozptylu světla. Nehomogenity materiálu generují rozptyl, který může způsobit změnu šíření, polarizace a fáze procházejícího světla. V neprůhledném prostředí vznikají agregáty rozptylových center, které zavádějí do prostředí anizotropii, a dopadající foton v něm podstupuje řadu postupných srážek, tedy opakovaný mnohonásobný rozptyl. Proto je neprůhledné, ale transparentní, prostředí charakterizováno střední volnou dráhou rozptylu  $l_s$ , což je průměrná dráha, kterou foton urazí, dříve než se odchýlí (rozptýlí) od původního směru, a střední volnou dráhou přenosu  $l^*$ , což je průměrná vzdálenost, kterou foton urazí předtím, než směr jeho dráhy začne mít

statisticky náhodný charakter. Protože je dosti pravděpodobné, aby fotony byly jen jednou odchýlené a pohybovaly se stále směrem vpřed, je  $l^* > l_s$ . Pro viditelné a infračervené záření procházející tělesnou tkání je typická hodnota střední volné dráhy přenosu  $l^* = 1-2$  mm. Neodchýlené fotony vystupují jako první. Ponechávají si všechny charakteristiky dopadajícího světla, zejména směr šíření, polarizaci a hodí se proto nejlépe pro zobrazení [2].

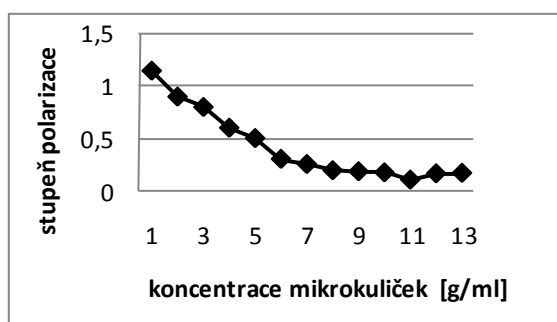
Bohužel je těchto fotonů málo, protože jejich intenzita na výstupu z prostředí se řídí Beerovým zákonem  $I(z) = I_0 \exp(-z/l^*)$ , kde  $I_0$  je intenzita dopadajícího světla a  $z$  tloušťka vrstvy prostředí.

### 3. VÝSLEDKY

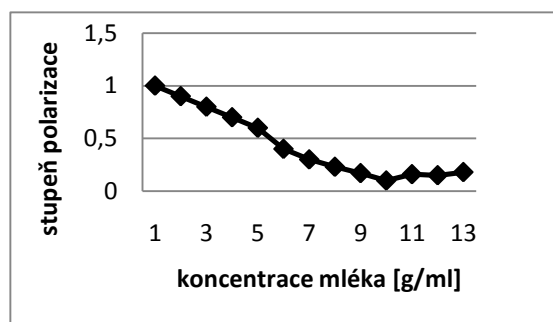
V této práci jsme analyzovali, pomocí lineárně polarizovaného světla z He-Ne laseru ( $\lambda = 632,8$  nm), Rayleighův a Mieův rozptyl dvou typů nehomogenních předmětů:

- vzorky polystyrénových mikrokuliček o průměru  $1,5 \mu\text{m}$
- vzorky polotučného mléka.

Vzorek obsahující polystyrénové mikrokuličky ve vodě byl osvětlen lineárně polarizovaným světlem z He-Ne laseru při dvou ortogonálních polarizacích – v horizontálním a vertikálním směru. Výstupní výkon laseru  $P_0 = 5$  mW, minimální detekovaný výkon detektoru  $0,1$  nW. Skleněná kyveta s roztokem a vzorkem má rozměry  $1 \times 1 \times 2$  cm.



Obr.1: Závislost stupně polarizace na koncentraci rozptylu mikrokuliček ve vodě.

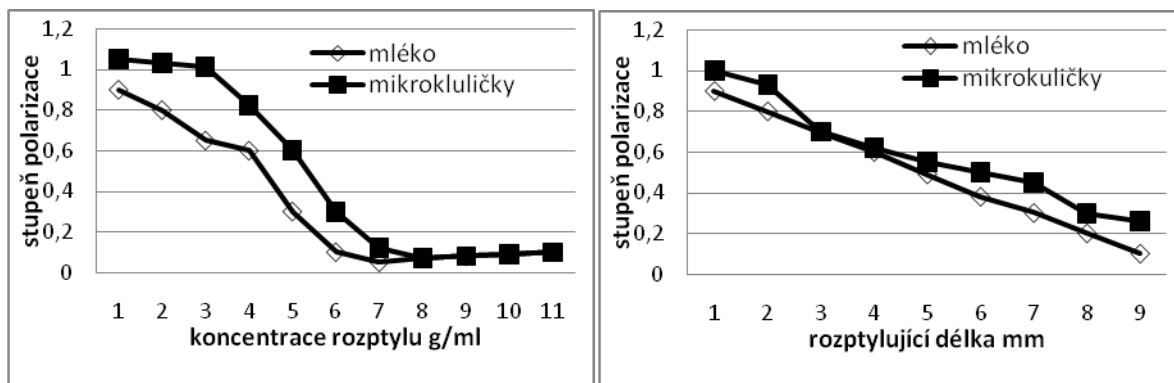


Obr.2: Závislost stupně polarizace na koncentraci rozptylu roztoku 1,5% polotučného mléka ve vodě.

Obr. 1. ukazuje závislost stupně polarizace a rozptylu na koncentraci polystyrénových mikrokuliček o průměru  $80$  nm ve vodním roztoku. Obr. 2 poté představuje závislost stupně polarizace pro roztok  $1,5\%$  polotučného mléka ve vodě. Při nízkých koncentracích je výstupní intenzita vyšší, protože větší část detekovaného světla pochází z nerozptýleného průchodu světla. Navíc méně rozptýlené světlo si podržuje svůj původní stav polarizace. Křivky mají podobný tvar a liší se v podstatě jen při koncentraci mléka ve vodě  $7-9$  g/ml, dokonce i když je možné detekovat nerozptýlené světlo.

K tomu, aby bylo možné oddělit nerozptýlené světlo od rozptýleného pozadí, je třeba použít buď malou aperturu a malý bodový otvor (pinhole) nebo elektronickou extrakční metodu. Potom je možné použít Beerův zákon, kde  $I_0 = 5$  mW, což dá koeficient rozptylu  $\mu_s = 1,6 \text{ mm}^{-1}$  při limitní detekci rozptýleného světla, která je nezávislá na velikosti částice. Tzn., že podíl depolarizace rozptýleného světla závisí na velikosti částic [3].

Obr. 3. vyjadřuje závislost koncentrace rozptylu pro mikrokuličky i mléko na koncentraci rozptylových center, která roste pro roztok s malými částicemi. Obr. 4. zobrazuje závislost stupně polarizace detekovaného světla na střední volné dráze rozptylu.



Obr.3: Závislost stupně polarizace na koncentraci rozptylu mikrokuliček a mléka ve vodě při lineární polarizaci světla.

Obr.4: Závislost stupně polarizace na délce rozptylu.

#### 4. ZÁVĚR

Výsledky ukazují, že polarizované světlo rozptýlené na rozptylových centrech anizotropního prostředí závisí na stavu původní polarizace a na optických vlastnostech a tloušťce prostředí. Obr. 1 a 3 také určují, že polarizační vlastnosti vystupujícího světla závisejí na vlastnostech nosného prostředí (vody). Větší rozdíly jsou pozorovány při malých koncentracích, protože zde je větší pravděpodobnost, že se světlo rozptýlí od molekul vody zpět do detektoru. Je zajímavé konstatovat, že pro malé částice se lineární polarizace udrží déle pro většinu rozptylových situací. Proto je možné použít lineárně polarizované světlo pro zkoumání tloušťky materiálu. S rostoucí délkou rozptylu potom stupeň polarizace klesá.

#### PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek je součástí řešení výzkumného záměru MIKROSYN Nové trendy v mikroelektronických systémech a nanotechnologiích podporovaného MŠMT ČR pod registračním číslem MSM 0021630503 a grantu GAČR 102/08/1474 Lokální optická a elektrická charakterizace optoelektronických struktur s nanometrickým rozlišením.

#### REFERENCE

- [1] Alexander, M., Dalgleish, D. G. Dynamic light scattering techniques and their applications in food science, *Food Biophys.*, 2006, vol. 1. No. 1. pp. 2–13, ISSN 1557-1866 (Online)
- [2] Tománek, P., Mikláš, J., Bajgar, A., Grmela, L., Dobis, P., Brüstlová, J. Sensor of back-scattered light polarization in body cells, *Proc. SPIE*, 2009, paper 7356281, 9 p., ISSN 0277-786X.
- [3] Mikláš, J. Měření stárnutí biologických vzorků pomocí změny polarizačního stavu světla, In *Proc. of the 15th conference STUDENT EEICT 2009*, vol. 2, p. 137-139, Brno, Vysoké učení technické v Brně, ISBN 978-80-214-3868-2