

Milesa Srećković<sup>1</sup>, Stanko Ostojčić<sup>2</sup>, Branka Kaluđerović<sup>3</sup>,  
Zoran Fidanovski<sup>4</sup>, Sanja Jevtić<sup>5</sup>, Svetlana Pelemiš<sup>6\*</sup>,  
Veljko Zarubica<sup>7</sup>, Zoran Latinović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Srbija,

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija,

<sup>3</sup>Univerzitet u Beogradu, Institut Vinča, Beograd, Srbija,

<sup>4</sup>Univerzitet Union, RAF, Beograd, Srbija, <sup>5</sup>Saobraćajni institut CIP,

Beograd, Srbija, <sup>6</sup>Univerzitet Istočno Sarajevo, Tehnički fakultet Zvornik,

Zvornik, BiH, <sup>7</sup>Analysis d.o.o., Beograd, Srbija

Scientific paper

ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585

UDC:620.184/185

doi: 10.5937/ZasMat1704503S



Zastita Materijala 58 (4)

503 - 508 (2017)

## Optička molekularna anizotropija materijala i Rayleighovo rasejanje

### IZVOD

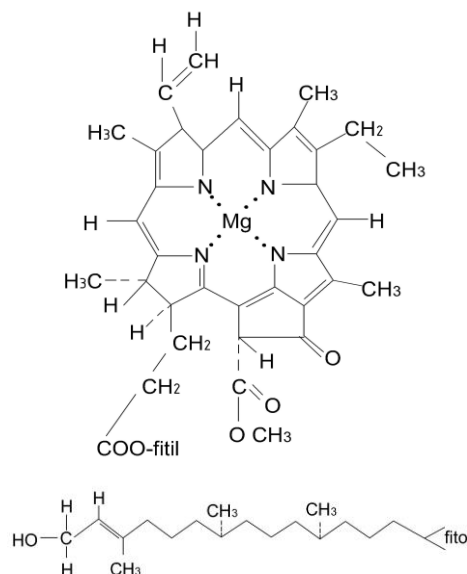
Rayleighovo rasejanje izraženo formalizmom depolarizovanih i polarizovanih komponenti pruža mogućnosti za analizu optičke molekularne anizotropije za tečne materijale (čiste, razblažene rastvore sa velikim i malim molekulima). Postoje razni uređaji za merenje rasejanja, ali se i sa aparaturama sa statičkim rasejanjem dobija dosta podataka. Primenom He Ne lasera na osnovnom prelazu 632,8nm na uređaju laboratorijskog tipa, mereno je rasejanje organskih rastvarača karakterističnih za etaloniranje. Ova merenja su poslužila i za poređenje karakteristika materijala dobijenih sa spontanim izvorima i kvantnim generatorima–laserima. Na osnovu potvrde, ocenjena su i merenja manje poznatih materijala i od interesa za biološke procese (fitola i srodnih jedinjenja za sticanja uvida u ponašanje fitil grupe).

**Ključne riječi:** laser, rasejanje, molekularna anizotropija, rastvori, biomaterijali.

### 1. UVOD

Molekularne reakcije između hlorofila i drugih membrana tilakoide, najviše su proučavane za komplekse tipa donori-akceptor elektron; interakcija spoljašnjih lanaca hlorofila: fitil grupe i drugi konstituenti membrane nisu mnogo analizirani. Zato je od interesa praćenje fitola u organskim rastvaračima sa različitim dužinama ugljenikovog lanca. Rasejanje svetlosti u obe varijante (statičkoj i dinamičkoj), može da bude jedna od korisnih metoda. Ovo posebno važi, ako se radi o poređenjima raznih ponašanja, a ne samo o apsolutnim vrednostima merenja.

Jedan od prilaza analize je putem formalizama za razdvajanje doprinosa različite prirode, različitih tipova fluktuacija. Tu se posmatraju prividne anizotropije materijala u rastvoru i čistih materijala. Cilj razmatranja je vezan za dalju primenu rasejanja u prisustvu konstituenata membrane / digalaktosidilnoleinski glicerid ili u karotenoidima. Dalje bi sledilo ispitivanje uticaja osvetljenja i doziranih ozračavanja koherentnom svetlošću i ispitivanje hlorofila u raznim jedinjenjima. Postepen tretman je potreban zbog kompleksnosti i krhkosti hlorofila, cena proizvoda i potrebe za specijalnim tehničkim podrškama [1-4], slika 1.



Slika 1. Hlorofil a i fitol

Figure 1. Chlorophyll a and phytol

Jedan prilaz rasejanju o tečnosti može da se koristi direktno za interpretaciju čistih jedinjenja, razblaženih rastvora, plazma sredina i aproksimativno za koncentrovane rastvore. Ovo je moguće, ako se uvedu korekcije na interno polje u izrazu, koji se dobijaju putem termodinamičkih i statističkih posmatranja rasejanja molekula (atoma). Anizotropija čistih tečnosti se računa po korekcijama, koje je godinama formirao niz autora [5-8],

\*Autor za korespondenciju: Svetlana Pelemiš

E-mail: alannica@gmail.com

Rad primljen: 28. 07. 2017.

Rad korigovan: 15. 09. 2017.

Rad prihvaćen: 26. 09. 2017.

Rad je dostupan na sajtu: www.idk.org.rs/casopis

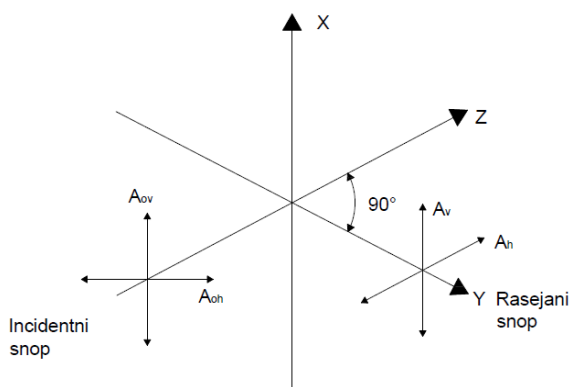
$$\gamma^2 = \frac{135\lambda^4}{165\pi^4} \frac{M}{N} \frac{1}{d} \frac{1}{(\mu^2 + 2)^2} \frac{i}{VF^2} \quad (1)$$

gde je M - molekularna masa, N - Avogadrov broj, d - gustina,  $\mu$  - indeks prelamanja, F - električno polje, V - zapremina rasejanja,  $\lambda$  - talasna dužina,  $i_d$  - depolarizovana komponenta (slika 2).

Depolarizovana komponenta Rayleighovog rasejanja mernog intenziteta  $I_h$  (ili  $i$ ) izražena kroz konstantu  $R_i$ , nalazi se u praktičnoj vezi sa anizotropijom  $\gamma^2$  i uključena je u odabrani standard za etaloniranje aparata,

$$\gamma^2 = K_{etalon} \frac{M}{d} \frac{\mu^2}{(\mu^2 + 2)^2} \left( \frac{i}{i_{etalon}} \right)_{meren}. \quad (2)$$

Kao etalon je primenjeno nekoliko tečnosti - organskih rastvarača (benzen i dr.) i u predlaserskoj eri. Primenom stimulisane svetlosti, razvojem elektronike, računarskih sistema, obrade signala i etaloni sa manjim intenzitetima rasejanja su postali od interesa za etaloniranje.



Slika 2. Geometrija rasejanja

Figure 2. Scattering geometry

Ovde je dat izbor merenja komponenti rasejanja o nekoliko poznatih tečnosti da bi se dobila realnija ocena za fitol i druge tečne materijale od interesa za biologiju. Za tečnosti čiste i u rastvorima, uključujući i prahove u rastvoru važi:

- intenzitet rasejanja (od X oblasti do vidljive) i njegova angularna zavisnost,
- depolarizacija pod  $90^\circ$  (danas proširena na ceo polukrug),
- dvojno prelamanje (polimera, koje nastupa i zbog savijanja - elastičnih deformacija lanca),
- dvojno prelamanje, vezano za električna i magnetna polja (efekte Kerra, Faradeya i dr.) Polja mogu biti spoljašnja, ali i asocirana sa samim snopom većeg intenziteta,
- cirkularni dihiroizam,

zavise od optičke polarizacije. Dobijanje tenzora optičke polarizabilnosti i anizotropije kvantitativno objašnjava i predviđa karakteristike i ponašanja materijala. Proračuni polarizabilnosti, uključuju i invarijante tenzora. Potrebno je da se komponente

veza ili grupacija atoma u molekulu usrednjavaju (ako postoje makromolekuli, usrednjavanje je prema konformacijama) za dobijanje invarijante tenzora. Svi radovi idu ka ideji ulazaka molekula u veze sa karakteristikama kolektiva sredine (termodinamičke, optičke, električne, fizičko-hemijske); nekoliko veličina iz teorije rasejanja dobijaju se iz merenja Rayleighovog rasejanja i pokazuju direktno molekularne performanse. Male depolarizacije tečne sredine znače da je materijal makroskopski izotropan, to znači da su molekuli čiste tečnosti i u rastvoru su slabo anizotropni i obrnuto.

Amplituda svetlosti rasejane pod  $90^\circ$  je [9]

$$A = \frac{4\pi^2}{a\lambda^2} \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 0 & \\ & & 1 \end{bmatrix} \alpha_L A_0 \quad (3)$$

$\alpha_L = R^T \alpha R$ ,  $R^T$  je ortogonalna matrica transformacije laboratorijskog sistema u sistemu tenzora polarizabilnosti  $\alpha$ , R-sadrži orijentaciju centra rasejanja u definisanom prostoru sa polarnim koordinatama ( $\Theta$ ,  $\phi$ ).

Za svetlost polarizovanu vertikalno:

$$A = \frac{4\pi^2}{a\lambda^2} \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 0 & \\ & & 1 \end{bmatrix} R^T \alpha R \begin{bmatrix} A_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4a)$$

$$A_v = \frac{4\pi^2}{a\lambda^2} A_0 \sum_{s,t} R_{st}^T R_{t1} \alpha_{st} \quad (4b)$$

s,t = 1,2,3 (vezano sa koordinatnim sistemom sa česticama). Rasejan intenzitet izračunat usrednjavanjem:

$$I_v = I_0 K \sum_{s,t,s',t'} \langle \overline{R_{st}^T R_{t1} R_{s't'} R_{t'1}} \rangle \alpha_{st} \alpha_{s't'} \quad (5)$$

Intenzitet totalnog rasejanja predstavljen sa komponentama  $I_v$  i  $I_h$ , odnosno komponenta polarizovanog rasejanja  $I_v \rightarrow I$  i depolarizovana komponenta  $I_h \rightarrow i$  su dobijeni prema usrednjavanjima po uglovima orijentacije molekula i dovode do praktičnih veza sa polarizabilnošću  $\alpha$  i anizotropijom  $\gamma^2$  [10].

$$I_v = I_0 K \left( \alpha^2 + \frac{4}{45} \gamma^2 \right), I_h = I_0 K \left( \frac{1}{15} \gamma^2 \right). \quad (6)$$

Pokazuje se da je polarizovana svetlost odgovorna za polarizabilnost, a molekularna anizotropija i Rayleighova depolarizovana komponenta je direktno proporcionalna anizotropiji  $\gamma^2$  [11-13].

Formule za rasejani intenzitet su korigovane pojavom internog polja u raznim teoretskim izvođenjima (korekcija prema Lorenz-Lorentzu i dr.), gde je uključen indeks prelamanja materijala. Postavlja se pitanje vezano sa fluktuacijama raznih tipova, odgovornih za rasejanje.  $\alpha$  i  $\gamma^2$  su invarijante tenzora  $\alpha$ . U literaturi se nalazi i definicija putem tenzora  $\beta$  [9]. To je invarijanta tenzora drugog ranga i uvek ima svoju posebnu ulogu. Za slučaj simetričnog  $\beta$ ,

$$\gamma^2 = \text{Sp}(\beta^T \beta), \text{ za } \gamma^2 \text{ je opštiji oblik [6]} \quad (7)$$

$$\gamma^2 = \frac{1}{2} [(\alpha_{11} - \alpha_{22})^2 + (\alpha_{22} - \alpha_{33})^2 + (\alpha_{33} - \alpha_{11})^2] + 3(\alpha_{12}^2 + \alpha_{13}^2 + \alpha_{23}^2). \quad (8)$$

Analogni izrazi su sa indeksima  $z_x, z_y, z_z$  i kombinacije, gde su  $\alpha_{xx}, \alpha_{yy}, \alpha_{zz}, \alpha_{xz}, \alpha_{xy}, \alpha_{yz}$  članovi tenzora optičke molekularne polarizabilnosti u pravougaonom koordinatnom sistemu. Za gas i razblažene rastvore za vertikalnu depolarizaciju [1,11] važi:

$$\rho_v = \frac{3\gamma^2}{45\alpha^2 + 4\gamma^2}, \quad (9)$$

a depolarizacija za prirodnu svetlost,

$$\rho_u = \frac{6\gamma^2}{45\alpha^2 + 7\gamma^2} \quad (10)$$

Proračuni  $\alpha$  prema šemi, gde važi optička valenca ne zavise od konfiguracije lanca molekula. Sumiraju se elementarni doprinosi vezani za karakteristične uglove molekula  $\{\phi\}$ . Postoje prirodne veze depolarizacije, Kerrovog efekta, dvojnog prelamanja, dinamika tečnosti i konstante fotoelastičnosti makromolekula u rastvaraču i uz njih se može dobiti opis polarizabilnosti i anizotropije. Teorija i eksperiment rasejanja svetlosti su sa mnogo mogućnosti za dobijanje raznih podataka, koje je teško objasniti, ako situacija nije optička čista. Aproximacije i greške, koje se ne mogu izbeći, a postoje u teoriji tečnog stanja su mnogobrojni.

## 2. EKSPERIMENT, REZULTATI I DISKUSIJA

Aparatura [7] je u odnosu na aparature za dinamičko rasejanje mnogo jednostavnija, ali za merenja sa dobrom repetitivnošću i sa sigurnim etalonom, kakav je benzen ili cikloheksan, uklapa se u merne skale drugih aparatura. Aparatura se bazira na laboratorijskom specifično konstruisanom fotogoniometriju [14] sa snopovima dva lasera He Ne sa polarizovanim i nepolarizovanim snopom,

*Tabela 1. Indeksi prelamanja i anizotropije za izabrane tečnosti*

*Table 1. Refraction indices and anisotropies for selected liquids*

Materijal (tečnost)	$n_{6328}$	$n_{5461}$	$i$ (a.u.)	$\gamma^2, **$ ( $\text{\AA}^6$ )	Polarizabilnost $\langle \alpha \rangle$ ( $10^{-24} \text{cm}^3$ )
Nitrobenzen	1,54864	1,54997	1,36358	230,152 (214,75) 215,75	12,941
Cikloheksan	1,42194	1,42354	0,008766 (0,093)	1,5713-3,2	10,95
benzen	1,49493	1,49792	0,19749 (0,0209)	29,009 28,616 (27,4769) 17,02	10,329
hlorobenzen	1,51864	1,52211	0,4262 (0,4232)	78,628 (67,764)	12,288
fitol	1,46928	1,62683* 1,62475* 1,5011* 1,4623* 1,4595( $n_D$ )*	0,003069 0,077889	42,18-72,66	38,530

\*razna literatura; \*\*dobijanje iz rastvora ili čiste tečnosti

koji rade na istom prelazu. Rasejanje se meri pod svim uglovima svakih  $15^\circ$ , od  $15^\circ$  do  $175^\circ$ , što odgovara i merenju transparentije. Merenje može biti diferencijalno ili integralno. Merenja su realizovana sa uzorcima optičke čistoće, polazeći od proizvoda spektroskopske čistoće. Uticaj popravki na geometriju ćelije zavisi od upotrebljene kivete.

Za kompletne interpretacije merenja komponenti rasejanja za polarisan snop i za laserski snop sa nepolarisanim izlazom, izvršeno je za talasnu dužinu He Ne lasera i Ar<sup>+</sup> jon lasera, niz merenja indeksa prelamanja putem Pulfrichovog refraktometra. Kao izvori su korišćeni snopovi, koji se koriste i za rasejanje uz primenu skretnog ogledala. Merenja su vršena u termostatiranim uslovima. Pored toga, korišćena su i merenja ili krajnje vrednosti za anizotropije dobijene podataka za zračenja Hg lampe i za  $5461\text{\AA}$  ( $1\text{\AA}=10^{-10}\text{ m}$ ). Gustine tečnosti su merene metodama baziranim na kapacitivnim transformacijama.

Prema podacima merenja depolarizovanog intenziteta, komponente  $i$ , naših merenja za indeksi prelamanja i gustine, izračunata je anizotropija čistih tečnosti i vršeno je poređenje sa literaturom i izabrane vrednosti su predstavljene u tabelama 1-3 (tab. 1-podaci, tab. 2. naše vrednosti za date tečnosti i poređenje sa lit. [7,11,15-23,29-31]). Promena etalona utiče i na apsolutne vrednosti i ako se vodi računa o lancu korekcija (tabela 3).

Promene za konstantu etalovanja za slučaj cikloheksana mogu da dovedu do varijacije u vrednosti anizotropije. Dati su rezultati za vrednosti dve serije merenja i ocena anizotropije za razne talasne dužine. Sa današnjim interpretacijama nesigurnosti ocene nesigurnosti merenja, [24] predstojao bi duži proračun za ocene rezultata i za mene etalona.

1 Å = 10<sup>-10</sup> m (i danas se koristi u stranoj literaturi). Jedinice za polarizabilnost su u SI jedinicama C·m<sup>2</sup>·V<sup>-1</sup>=A<sup>2</sup>·s<sup>4</sup>·kg<sup>-1</sup> a u CGS sistemu cm<sup>3</sup>, tj. 10<sup>-24</sup> cm<sup>3</sup>.

$$\alpha(\text{cm}^3) = \frac{10^6}{4\pi\epsilon_0} \alpha(\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1}) \quad (11)$$

Anizotropija je dimenziono vezana za kvadrat  $\alpha$ , pa važe iste relacije.

Tabela 2. Merenje raznih serija anizotropije i poređenje sa literaturom.

Table 2. Measurement of various series of anisotropy and comparison to references

Tečnost	$\gamma^2$ , (Å <sup>6</sup> ) A (n <sub>5461</sub> )	$\gamma^2$ , (Å <sup>6</sup> ) B (n <sub>5461</sub> )	$\gamma^2$ , (Å <sup>6</sup> ) [15] C	$\gamma^2$ , (Å <sup>6</sup> ) [29] C	Odstupanje % (AC)	Odstu- panje % (BC)	Odstu- panje % [25] (CD)
Cikloheksan M=84,162	1,565	1,57	1,5		7,93	0	
Benzen M=84,162	28,62	28,616	30,5			6,16	6,18
Hlorobenzen M=112,56	66,48	78,63					
Nitrobenzen M=123,12	215,8	230,15					
n-dodekan	18,02	18,28	18,2	15,29	0,98	7,6	16

Tabela 3. Uticaj promene etalona na anizotropiju

Table 3. Influence of etalon change to anisotropy

Materijal	$i_1$ (rel. jed)	$i_2$ (rel. jed)	$\gamma^2$ za 546,1nm	$\gamma^2$ za 632,8nm
CCl <sub>4</sub>	0,0092	0,0256	2,23	2,2368
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	0,209	0,185	14,72	14,723
Fitol	0,07789	0,1725	54,146	54,298
Cikloheksan	0,093	0,016	1,565	1,57
Hinoln	0,5694	0,848	58,7616	58,82

Za neke uzorke su merenja vršena samo pod 90°, a za druge je rađena angularna raspodela. Time se za preciznije apsolutne vrednosti treba da koriste merne vrednosti iz angularne raspodele. U literaturi se koristi bar dva metoda za dobijanje  $\gamma^2$ .

Koristi se i

$$\delta^2 = \frac{5\lambda^4 n'}{5\pi^2(n^2 - 1)} \frac{2\rho_u N}{1 + \rho_u} \quad (12)$$

ili izrazi tipa (1,2).

Rezultati ovog rada se za poznate tečnosti uglavnom slažu sa literaturom. Privedne anizo-

tropije mogu da mnogo variraju. U tabeli 4 su date Rayleighove konstante za hlorbenzen, nitrobenzen i fitol uz relativne vrednosti depolarisane komponente. Merenja laserom su mnogo preciznija s obzirom na širinu liniju lasera u odnosu na Hg luk u literaturi. Da bi se izračunalo  $\gamma^2$  prema  $\delta^2$  i polarizabilnosti  $\alpha$ , koristili smo merenja iz laboratorije, podatke iz literature, proračune  $\alpha$  iz molarne refrakcije. Često se koristi izraz, koji određuje dužinu lanca,

$$\left( \frac{\langle \gamma^2 \rangle}{n} \right)_\infty = 1,27(\Delta\alpha_{CC} - 1,95\Delta\alpha_{CH})^2. \quad (13)$$

Tabela 4. Intenziteti polarisane i depolarisane komponente i Rayleighovi faktori

Table 4. Intensity of polarized and depolarized components and Rayleigh factors

Materijal	$i$ (a.u.) (osetljivost 1mV)	$l$ (a.u.) (osetljivost 1mV)	$n_{6328}$	R 10 <sup>-6</sup> (cm <sup>1</sup> )
hlorbenzen	0,4232	1,212	1,522	13,66
nitrobenzen	1,3636	2,476	1,55	36,157
fitol	0,077889	0,6645	1,4515	4,693

Rayleighove konstante materijala se dobijaju u odnosu na izabrani etalon, korigovane za indekse prelamanja uzorka i etalona. Postojalo je korišćenje Rayleighovih faktora za benzen za polarisanu i nepolarisanu svetlost, a dalje se to prenosilo i na druge etalone po izboru laboratorije.

Tabela 5. Razlika u anizotropijama za 546,1nm i 632,8nm

Table 5. Difference in anisotropies for 546,1nm and 632,8nm

Supstanca	$\gamma^2$ , Å <sup>6</sup> korišćeno n <sub>5461</sub>	$\gamma^2$ , Å <sup>6</sup> korišćeno n <sub>6328</sub>
Cikloheksan	1,565	1,57
Benzen	28,62	28,616
hlorbenzen	63,743	64,765
nitrobenzen	215,718	215,75
fitol	42,062	42,1798

Biološka važnost za radikal fitila i dalje traži nastavak istraživanja. U literaturi je manje radova o konformaciji i ponašanju ovog radikala ili fitola, pa se i dalje traže metode za dobijanje strukture fitola u molekularnim interakcijama. Depolarizovano Rayleighovo rasejanje DRD je jedna od tehnika za konformacije normalnih alkana i za proučavanje korelacije translacije i orijentacije ovih jedinjenja u tečnom stanju. Ovo je rađeno i preko Rayleighovih R, F ili Coumoovih faktora i drugih definisanih veličina [7, 25].

Važan parametar, prividna optička molekularna  $\gamma^2$ , analizirana je za homologe heterociklične molekule, ugljovodonike – alkane (normalne i razgrnate).  $\gamma^2$  fitola i jednog njihovog derivata, fitilacetata prema dužini lanca upućuje da se pri interakcijama molekuli orijentišu paralelno (paratropizam), što odgovara tečnim alkanima. Fitol ima viši  $\gamma^2$  u odnosu na dosta drugih materijala. Tu postoje molekularne korelacije, što odgovara pojavi dimera vezanih vodikovim vezama i paratropizmu. Pri proučavanju hlorofila, važne su molekularne interakcije i čini se da dolazi do drugačijih strukturalnih ponašanja.

Ova su proučavanja važna za razumevanje primarnih akata fotosinteze, biomolekula i za razne druge procese [27-29], a proučavanja mogu da se prošire i na nelinearne efekte sa pojačavanjem intenziteta i uključenjem više snopova od kojih neki greju materijal a drugi samo služe kao sonde. Radikal fitil je važan i kao deo strukture vitamina. Sa ovakvim stavovima se slažu rezultati infra-crvenih - IC spektara. IC spektri se lakše mere u odnosu na pripremu uzoraka i više je podataka o njima, nego o kvazielastičnom rasejanju u slučaju fitola.

## ZAKLJUČAK

Statičko rasejanje svetlosti se i na proučavanjima materijala od interesa za biološke procese, pokazalo kao pogodna metoda za praćenje dina-

mike čistih tečnosti i rastvora. Služi i za komplementarnu tehniku pored elektrooptičkih efekata za definisanje polarizabilnosti i anizotropije. Kada se laboratorija odluči za rad za jednu veličinu, samo merenje depolarisane komponente apsolutnih i relativnih anizotropija, podaci su dosta reproducibilni, mešanje (tačnih teorijskih izraza i ubacivanje delimično u merne podatke, može da dovede do odstupanja, što je činjenica o kojoj se mora voditi računa pri tumačenjima prividnih anizotropija. Pored toga, za tečnosti sa velikim Kerrovim konstantama, koji se koriste za elektrooptičke efekte, sa velikim dipolnim momentima itd, dolazi do novih fluktuacija, koje dovode do devijacija. Merenja Rayleighovog rasejanja mogu da dovedu do zaključaka sličnih stavova, kao što su rezultati rasejanja Brillouinovih spektara ili akustičkih merenja. Tako je potvrđen paratropizam.

Povećava se interakcija fitol - fitol i pojačavaju se kooperativni efekti, što je važno za biološke efekte. Postoji slaba zavisnost anizotropije od talasne dužine.

## LITERATURA

- [1] M.V.Volkenstine (1963) Configuration Statistics of Polymer Chains, Intersc., New York.
- [2] S.Jevtić (2016) Primena laserskih tehnika za određivanje optičkih parametara materijala, dok. teza, Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet u Kragujevcu.
- [3] M.Srećković (1979) Teorije, tehnike i primene rasejanja laserske svetlosti za određivanje karakteristika materijala. Primena na termodinamičke i optičke osobine fitola – mikro i makroprirode, dok. teza, Elektrotehnički fakultet Beograd, Univerzitet u Beogradu.
- [4] S.D.Jevtić, M.Ž.Srećković, S.S.Pelemiš, Lj.M.Konstantinović, P.B.Jovanić, L.D.Petrović, M.D.Dukić (2015) Laser Influence to Biosystems, Chem. Industry, 69(4), 433-441.
- [5] J.Cabannes, Y.Roccard (1929) La diffusion moléculaire de la lumière, Les Presses Universitaires, Paris.
- [6] J.Yvon (1937) La propagation et la diffusion de la lumière, Hermann-Cie, Paris; Y. Rocard (1937) Théories mécaniques hydrodynamiques-acoustiques-Recherche sur la théorie cinétique des liquides, II partie, Paris.
- [7] M.Srećković, S.Blanchard, A.M.Tistchenko, J.P.Leicknam (1986) Rapport de Rayleigh, constantes de Rayleigh isotropes et anisotropes, facteurs de diffusion moléculaire anisotropes  $F_{an}$  et anisotropies optiques moléculaires du phytol et de quelques solvants organiques mesurés à 632,8nm avec un laser He-Ne, Portug.Phys.,17(3-4) 181-202.
- [8] J.Tonnelat (1973) Biophysique, T. II, Masson et Cie, Paris.
- [9] P.J.Flory (1971) Statistical Mechanics of Chain Molecules, Mir, Moscow, Russia (In Russian).
- [10] G.Van de Hulst (1961) Rasseyanie sveta malimi časticami, Moskva.
- [11] I.L.Fabelinski (1965) Molekulyarnoe rasseyanie sveta, Nauka, Moskva.
- [12] P.Bothorel (1968) Determination of molecular optical anisotropy in solution liquids by depolarized light scattering: Applications to the study of N-

- alkanes, *Journal of Colloid and Interface Science*, Elsevier, 3, 529-541.
- [13] P.Bothorel, C.Such, C.Clement (1972) Study on molecular orientation correlation by depolarized Rayleigh - scattering in pure liquids and solutions. Benzene and normal alkanes, *J. Chim. Phys.*, 69, 1453-1462.
- [14] F.Pla, P.Fröment, R.Capitini, A.M.Titschenko (1977) Etude d'une lignine d'extraction par diffusion de la lumière avec source laser Cellulose, *Chemistry and Technology*, 11,711-720.
- [15] A.Proutière, J.G.B.Baudet, M.J.Camail (1974) *Journal de Chem. Phys.*, 71, 1439-1446.
- [16] Z.Fidanovski, M.Srećković (1996) Hertzian spectroscopy of phytol and of its solutions. Interpretation of the dynamics and constants of the system, *J.Serb. Chem. Soc.*, 61(9), 777-783.
- [17] M.Srećković, P.Osmokrović (1984) Primena molekularne anizotropije za ispitivanje korelacije orijentacija putem rasejanja laserske svetlosti, XXVIII Jug. Simpozijum ETAN, Split, p.II263-p.II270.
- [18] M.Srećković, P.Osmokrović, P.Vujković Cvijin (1984) Tehnike rasejanja laserske svetlosti i njihove mogućnosti, JUKEM, Novi Sad, p.139.1-139.9.
- [19] ed. R.C. Weast (1988) *Handbook of Chemistry*, 69<sup>th</sup> edition, CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [20] Landolt-Börnstein, *Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik*, 6. Auflage, Optische Konstanten II.Band, 8. Teil,
- [21] T. D'Ans, E. Lax (1964) *D'Ans – Lax Taschenbuch für Chemiker und Physiker*, B.II. Berlin.
- [22] J.A.Riddick (1979) *Organic Solvents*, Wiley-Interscience, New York.
- [23] Ed. D.R.Lide (2009) *Handbook of Chemistry and Physics*, 2009-2010, 90<sup>th</sup> Edition, CRC, Boca Raton Florida.
- [24] V.Zarubica, M.Srećković (2012) Realizacija metoda etaloniranja i proračun budžeta merne nesigurnosti mernih instrumenata (merila ) u laboratorijama različitih namena, Velarta, Beograd.
- [25] A.Rousset, R.Lochet (1952) Variation de l'anisotropie optique moleculaire avec l'etat physique (gaz, liquides et solutions, cristaux), *J. Phys. Radium*, 13(5), 289-293.
- [26] M.Srećković, R.Capitini, Z.Fidanovski, M.Drifford, S.Ostojic, J.P.Dalbiez, A.M.Titschenko, S.Blanchard. J.P.Leicknam (1999) Phytol as Material Viewed as Laser Dynamical and Static Scattering Techniques, *Lasers 98*, Proceedings of Lasers 98, Eds. W. Corcoran and T. Goldman, SoQuE, Mc Lain, p.539-545.
- [27] M.Srećković, R.Vasić, M.Dukić, S. Jevtić, P.Jovanić (2014) The Influence of Diode and He-Ne Lasers on Corn and Wheat Seeds, *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 4 (3), 165-175.
- [28] D.R.Sharma, K.D.Burt (2007) Depolarisation of ratio of Rayleigh scattered radiation by molecules, *J Chem Phys*, 126(2), 024306-1:024306-6.
- [29] S.Contreras, R.A.Gaspar, A.Guerra, L.A.Lucia, D.S. Argyropoulos (2008) Propensity of Lignin to Associate: Light Scattering Photometry Study with Native Lignins, *Biomacromolecules*, 9(12), 3362-3369.
- [30] M.Srećković, S.Ostojic, B.Kaludjerovic, Z. Fidanovski, S.Jevtic, S.Pelemis, V.Zarubica, Z. Latinovic (2017) Rayleighovo rasejanje i optička molekularna anizotropija tečnih materijala od interesa za biološke materijale, V Medjunarodni kongres Inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji, p. 1214-1225.
- [31] D.Đokić, M.Srećković, Z.Fidanovski, J.Ilić, R. Stanisavljević, D.Terzić, J.Marković, S.Barać (2017) Influence of pre-sowing He Ne and semiconductor laser stimulation on sainfoin seed germination four and eight months post-harvest, seedling vigour, *Journal of Plant and Animal Science*, 27(3), 894-900.

## ABSTRACT

### OPTICAL MOLECULAR ANISOTROPY OF MATERIALS AND RAYLEIGH SCATTERING

*Rayleigh scattering expressed with formalism of depolarized and polarized components offers possibilities for analysis of optical molecular anisotropy for liquid materials (pure, diluted solutions with large and small molecules). Various devices exist for measuring scattering, but with laser systems for static scattering enough data is collected. With the use of laboratory type He Ne lasers with basic transition at 632.8nm, scattering of organic solvents was measured, characteristic for calibration. These measurements served for materials feature comparison acquired with spontaneous sources and quantum generators - lasers. Based on assessment, the measurements of less known materials were evaluated which are of interest for biological processes (phytol and related compounds) for gaining in site into behaviour of phytol group).*

**Keywords:** laser, scattering, molecular anisotropy, solvents, biomaterials.

*Scientific paper*

*Paper received: 28. 07. 2017.*

*Paper corrected: 15. 09. 2017.*

*Paper accepted: 26. 09. 2017.*

*Paper is available on the website: [www.idk.org.rs/journal](http://www.idk.org.rs/journal)*