

AROMATIK UGLEVODORODLARDA YORUG'LIKNING NOQUTBLANGAN MOLEKULAR SOCHILISHI

Jalol Baxtiyor o'g'li Shodmanov
O'zbekiston Milliy Universiteti
jalol.95.10@mail.ru

Bahodir Xudoyberganovich Eshchanov
Chirchiq davlat pedagogika instituti
bahodir.eshchanov@gmail.com

Sherzodjon To'lqin o'g'li Ahmedov
O'zbekiston Milliy Universiteti
sherzodbek.ahmedov8883@gmail.com

ANNOTATSIYA

Yorug'likning molekular sochilish spektrlari orqali olingan natijalar suyuqliklardagi molekulararo ta'sirlashuvlar, relaksatsion jarayonlar haqidagi tasavvurlarni kengaytiradi va moddaning suyuq holati molekular nazariyasini rivojlantirish hamda ulardagi yaqin tartiblilikning qayta taqsimlanishi bilan bog'liq strukturaviy o'zgarishlarni nazariy tahlil qilish imkonini yaratadi. Aromatik uglevodordlardagi relaksatsiya jarayonlariga turli birikmalar ta'sirini aniqlash, nazorat qilish mumkin bo'lgan xossalarga ega nanomateriallar olishning asoslangan texnologiyalarini ishlab chiqish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: aromatik uglevodorodlar, relaksatsion jarayonlar, anilin, toluol, anizotropik molekular

ABSTRACT

The temperature dependence of the intensity of the anisotropic component of the molecular scattering of light and the shape of the contour of the anisotropic part of the scattering are measured. The anomalous behavior of the integrated intensity of the anisotropic component of molecular scattering of light from temperature is established. It is shown that the patterns observed in scattering can be interpreted based on the mechanism of inhibited rotation of molecules, taking into account the specifics of intermolecular interaction in molecule.

Keywords: aromatic hydrocarbons, relaxation processes, aniline, toluene, anisotropic molecules

KIRISH

Yorug'likning molekulyar sochilish spektri, nurlanish bilan moddaning o'zaro ta'siri natijasida aniqlangan eng nozik hodisalar haqida keng va turli ma'lumotlarni o'z ichiga oladi. Yorug'likning molekulyar sochilishi (YMS) ikki turga bo'linadi: zichlik fluktatsiyasi (izotropik sochilish) va anizotropik fluktatsiyasi (anizotropik sochilish) bilan bog'liq qismlar. Yorug'likning bir jinsli muhitlarda sochilish nazariyalari o'tgan asrning boshlarida Eynshteyn, Reley, Smoluxovski, Mandelshtam va boshqa fiziklar tomonidan kashf qilingan.

M.A Leontovich tomonidan aralashmalarda konsentratsiya va suyuqliklar zichligi flukuatsiyasining vaqtga bog'liqligi nazariyasi qayta ishlab chiqildi [1]. U olgan natijalar yorug'lik sochilishi spektri haqidagi savollarga javob berish uchun qo'llanildi va sochilgan yorug'likning chastota bo'yicha intensivlik taqsimoti formulasi olindi. Yuqoridagi nazariyadan tushunarliki anizotropiya flukuatsiyasi hisobidan yuzaga kelgan yorug'lik sochilish spektri tarkibi muhitda anizotropiya fluktatsiyasi tarqalishi vaqtga bog'liqligini aniqlashga imkon beradi. Anizotropiya fluktatsiyasi deformatsiyaning fluktatsiya tenzori bilan o'zaro bog'langan bo'lib bu nazariya Mondelshtam – Bruyller ishlarida qo'llanilgan [2,3] va quyida intensivlikning chastotaga bog'lanish taqsimoti keltirilgan.

$$I_V(\omega) = \frac{7A^2kT}{12\mu} \frac{2\tau}{1+\omega^2\tau^2}, \quad I_H(\omega) = \frac{A^2kT}{2\mu} \frac{2\tau}{1+\omega^2\tau^2} \quad (1)$$

bu erda $I_V(\omega)$ va $I_H(\omega)$ vertikal va gorizontaal qutblanishni paydo qiluvchi nurlar chastotasi o'lchamidagi chastotada sochiladigan nurning intensivligi, mos ravishda A – kattalik Maksvell doimiysi M bilan quyidagicha bog'langan $M=A\tau$, va μ siljish moduli, Maksvellning qovushqoqlik nazariyasiga ko'ra, $\tau = \frac{\mu}{\eta}$, bu erda η – muhitning qovushqoqligi. Bu yerda τ - Maksvellining relaksatsiya vaqti; anizotropiyaning Leontovich relaksatsiya vaqtiga teng bo'lgan kattalik ω - chiziq markaziga to'g'ri keluvchi chastota.

Nazariyaning soddalashtirilgan usullaridan biri shundaki, u anizotropiyaning faqat bitta relaksatsiya vaqtini oladi.

Biroq, I.L. Fabelinskiyning ko'plab eksperimental natijalari [4, 5] oddiy dispersiya formulasi (1) yordamida intensivlikning spektral taqsimotini to'liq tavsiflash mumkin emasligini ko'rsatdi. Allaqachon molekulyar sochilish spektrining noqutublangan qismini tavsiflash uchun ikkita relaksatsiya vaqti kiritilgan [4].

V.S. Starunov nazariyasiga binoan [6,7,8] har qanday anizotropik suyuqlikning har qanday molekulasi qo'shni molekularning potensial o'ralarida yotadi. Potensial o'rada yotgan molekula issiqlik harakati ta'sirida ikki xil turdagi harakatni amalga oshiradi; birinchisi yarim barqaror holatdan boshqasiga o'tadi va ikkinchi holatda kvazi barqaror holatga yaqin elastik tebranadi. Ushbu ikki harakatning anizotrop sochilishiga qo'shgan hissasi alohida ko'rib chiqiladi. Nazariya inersiya bilan chiziqli molekulari bo'lgan qovushqoqligi past bo'lgan suyuqliklar uchun ishlab chiqilgan.

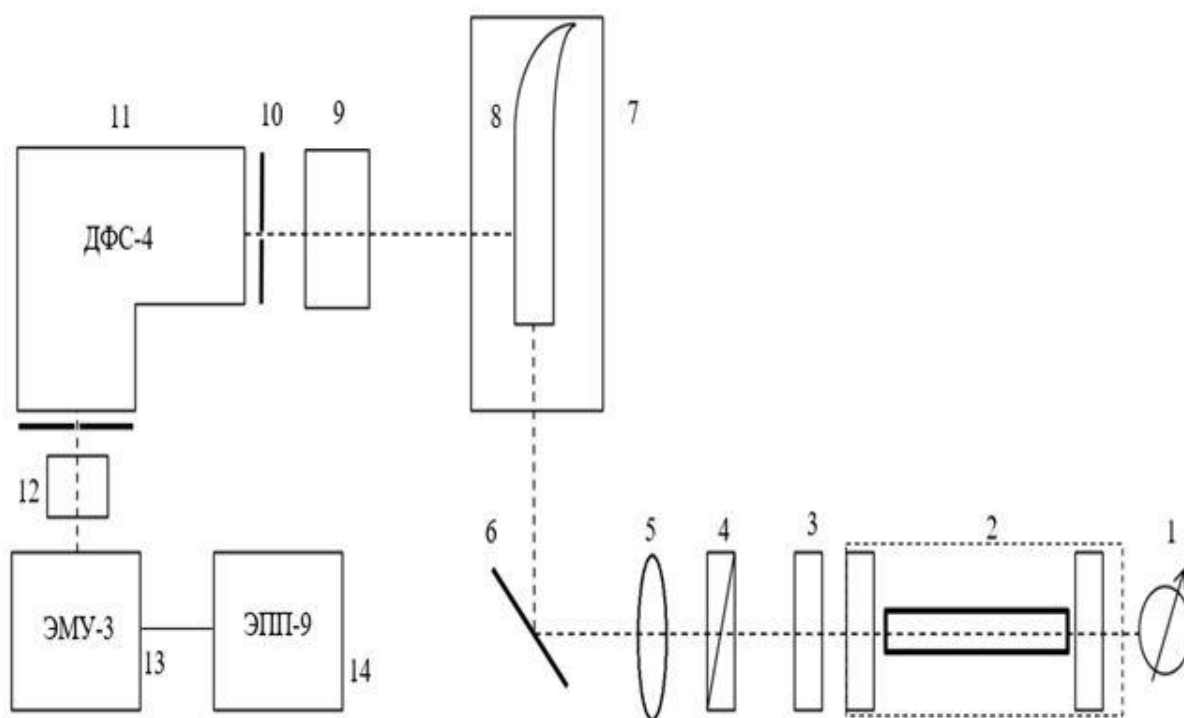
TAJRIBA

Yorug'likning molekulyar sochilishini o'rganishda spektral qurilmaga maxsus talablar qo'yiladi. Bu, birinchi navbatda, sochilish koeffitsientining kichikligi ($R \sim 10^{-6}$), ikkinchidan, keng spektral diapazonga ($\sim 300 \text{ sm}^{-1}$) o'lchashda intensivlikning o'zgarishi ($\mathfrak{I}_o/\mathfrak{I}_{qanot}$) chayqalish) bilan bog'liq. kamida uchta tartib bilan amalga oshiriladi. Shuning uchun spektral qurilma bo'lishi kerak;

- a) yaxshi yorug'lik va piksellar sonini ~ 10 ,
- b) qurilmada sochilgan yorug'likning yo'qligi, bu ayniqsa sochuvchi konturning uzoq qanotlarini o'lchashda muhimdir.

Shuning uchun bizning tajribamiz DFS-4 qurilmasida molekulyar sochilishining noqutublangan komponentasi spektrlarini yozib olish uchun o'tkazildi. DFS-4 difraktsiya spektrometri optik yuqori sifatli bo'lganligi tufayli tanlangan. Ushbu qurilmada dispers tizim sifatida har bir millimetr uchun 1200 ta chiziqli panjara (nusxasi emas) va 100x90 mm soyali maydon ishlatiladi.

Qurilmaning yuqori kirish va chiqish tirqishlari (40 mm), yaxshi yorug'lik kuchiga ega diafragma nisbati 1:10,4, dispersiyasi $6,4 \text{ }^\circ/\text{mm}$. Qurilmaning skanerlash qabul qilish-yozish qismi qayta tayorlanadi [213]. Kirish spektrining nazariy spektral kengligi $0,5 \text{ sm}^{-1}$ mos keladi tirqishlar kengligi (0.02 mm), da amalga oshiriladi. Qurilmaning orqa fon yorug'ligini nazorat qilish uchun lazer maksimal quvvat rejimida ishlaganda 4880 qo'zg'alish chizig'i (apparat funksiyasi) qayd etildi. Bu qo'zg'alish chizig'i "qanoti" uzunligini aniqlashga imkon berdi. Qurilmaning sifati uning aniq o'lchamlari bo'yicha apparat funksiyasining yarim kengligi bilan baholanadi.



1-rasm .Noqutblangan molekulyar nurlarning sochilish spektrlarining yaqin hududlarini fotoelektrik qayd etish eksperimental qurilmasi:1-yarimo'tkazgichli fotodiod;2-argon lazeri ЛГ-106М-1;3-plastinka $\lambda/4$;4-Nikolas prizmasi; 5-ob'ektiv($F=120\text{mm}$);6-ko'zgu;7-yuqori temperaturali pech; 8-kyuveta;9-kondensator;10-diafragma;11-spektrometr;12-PMT; 13-kuchaytirgich;14-qayd qiluvchi qurilma.

Keng temperatura oralig'ida o'rganilgan suyuqliklarda kuzatilgan yorug'lik sochilishlarini taqqoslash suyuqlik molekularining issiqlik harakatining tabiati haqida aniq xulosalar chiqarishga imkon beradi, molekular strukturasi yorug'lik sochilishiga, suyuqlikdagi ichki maydonning xarakteriga ta'sirini aniqlaydi.

Anilin va toluol

Anilin va toluolda yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi o'lchovlari 293-623 K temperatura oralig'ida amalga oshirildi.

Olingan natijalar 0 dan 60 sm^{-1} gacha bo'lgan chastota oralig'ida yorug'likning molekulyar sochilishi chizig'ining konturini lorensian bilan yaqinlashtirilganligi ko'rsatilgan. Anilin uchun 2-rasmda , toluol uchun 3-rasmda , bu yerda ikkita to'g'irlangan joylari aniq ko'rinadi.

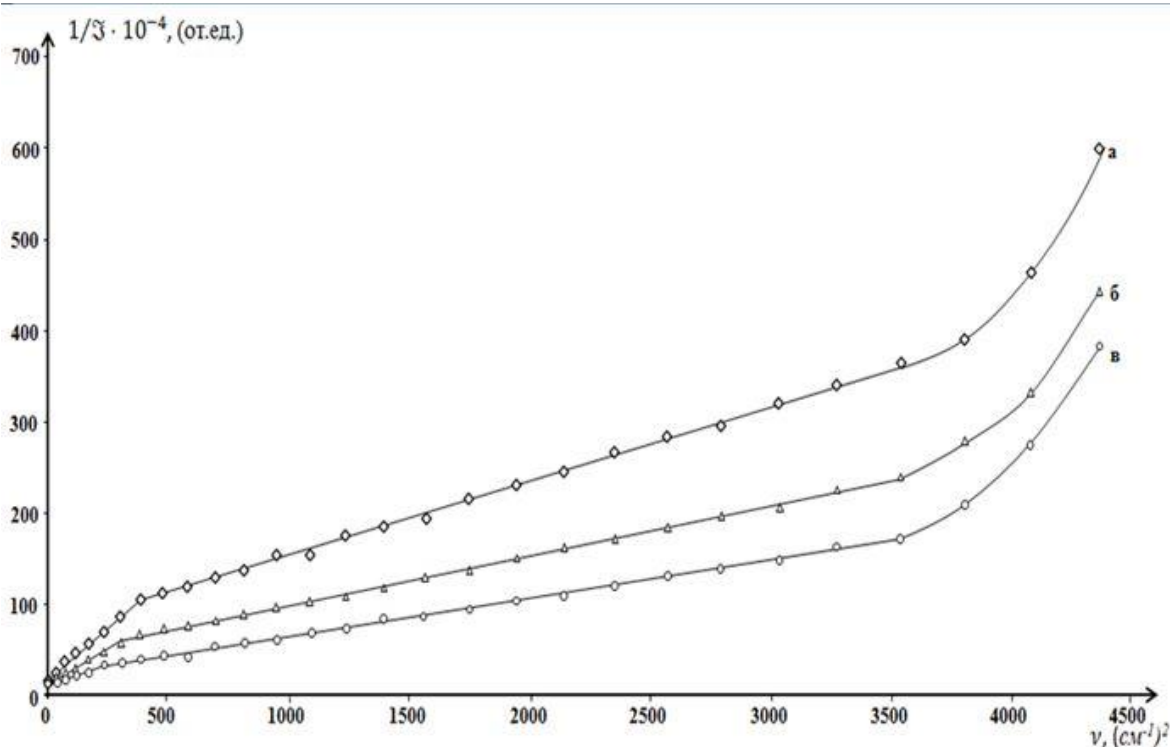
293 k haroratida konturlarning chegarasi $K\sim 20\text{ sm}^{-1}$ da joylashgan . Haroratning

oshishi bilan, boshqa o'rganilgan obyektlarda bo'lgani kabi, burilish nuqtasi past chastotalarga o'tadi. $T = 623\text{ K}$ bilan tor konturning og'irligi keng kontur og'irligidan kamroq.

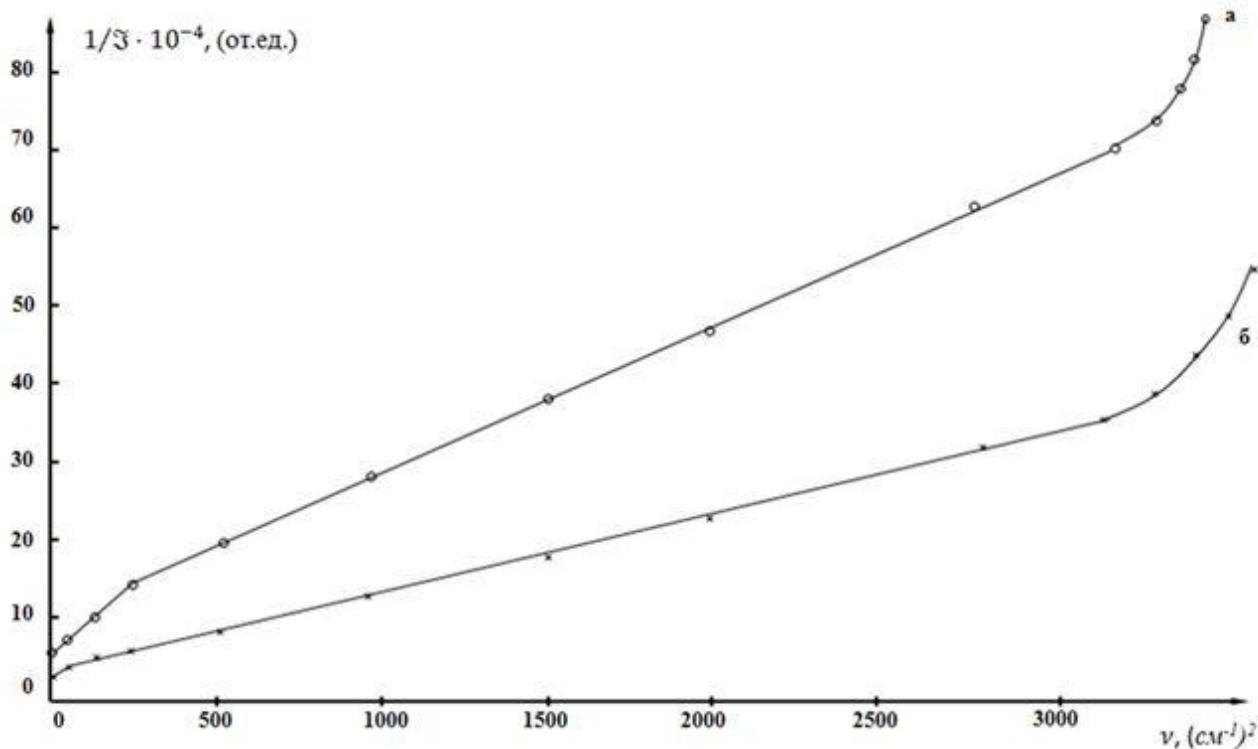
$0-60\text{ sm}^{-1}$ chastotalar oralig'ida ikkita Lorens eksperimental egrilik konturini yaqinlashtirish natijasida aniqlangan kontur tarkibiy qismlarining parametrlari 1-jadvalda. σ_1 , σ_2 - konturlarning yarim kengligi ("tor" va "keng") jadvalda keltirilgan. α_2 - ($\alpha_1 = \alpha_2 - 1$) "keng" komponentning og'irligi, I - konturning integral intensivligi.

T, K	$\sigma_1 (cm^{-1})$	$\sigma_2 (cm^{-1})$	α_2	$I (om.ed)$
$C_6H_5NH_2$				
293	0.80	13.0	0.33	34900
373	2.50	13.0	0.40	73500
423	3.40	12.50	0.45	148500
473	3.10	11.80	0.56	157000
523	3.90	12.00	0.62	129400
573	2.50	11.00	0.68	131000
623	1.40	10.00	0.69	121000
	± 0.1	± 1.5	± 0.02	6-8%
$C_6H_5(CH_3)$				
T, K	$\sigma_1 (cm^{-1})$	$\sigma_2 (cm^{-1})$	α_2	$I (om.ed)$
293	1.20	10.00	0.33	8000
373	2.00	11.00	0.37	8500
423	2.60	12.50	0.40	8800
473	4.60	12.40	0.46	9000
523	4.60	12.40	0.49	9300
573	3.60	11.00	0.52	8900
623	1.20	10.50	0.56	7800
	± 0.1	± 1.5	± 0.02	5-7%

1-jadval



2-rasm. Anilin molekulasining yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi konturining spektral zichligi chastotaning kvadratiga "a"-20°C, "б"-250°C, "в"-350°C temperaturadagi ta'siri.

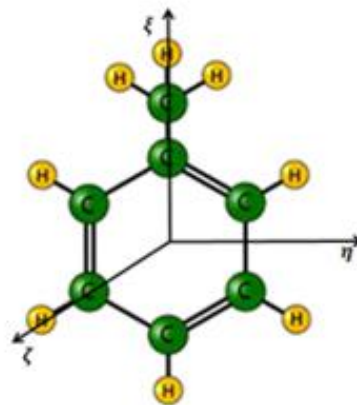


3-rasm. Toluol molekulasining yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi konturining spektral zichligi chastotaning kvadratiga "a"-20°C, "б"-200°C, temperaturadagi ta'siri.

NATIJARLAR MUHOKAMASI

Biz molekulari bir xil C_{2v} simmetriyasiga ega bo'lgan toluol va anilin suyuqliklarida eksperimental natijalarni berdik, bir asosga ega (benzol rishtasi), ammo ligamentlarda farq qiladi. Har bir suyuqlikning sochiladigan konturi ikki dispersiya konturining (tor va keng) yig'indisi bilan ifodalanishi mumkin. Toluol molekulari uchun o'qni tanlash 4 - rasmda keltirilgan.

Aslida, tarkibiy qismlarning yarim kengligi (σ_i) bir simmetriya pozitsiyasidan ikkinchisiga o'tish davri relaksatsiya vaqtlari bilan belgilanadi. μ va ζ va z o'qi bilan bog'liq holda, anilin va toluol molekulari eng uzun qismini aylantiradi va shuning uchun bu aylanishlar keng ahamiyatga ega. Shuning uchun bu o'qlar bo'yicha anizotropiyaning relaksatsiya vaqtining qiymati ξ o'qidan kattaroq bo'ladi. Keng kontur, yengil aylanish o'qining ξ o'qiga nisbatan aylanish bilan bog'liq.



4-rasm

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, toluol va anilin uchun yorug'lik molekulyar sochilishi chizig'ining kuzatilgan konturi ($1/\mathfrak{N}$ ning γ^2 koordinatalarida), bu yerda yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi chizig'i konturining liniya spektral zichligi) xona temperaturasida 0 dan 60 cm^{-1} oralig'ida ikkita dispersiya komponentining yig'indisidir. Suyuqlik isitish bilan, bukilganlik chegarasi past chastotalarga o'tadi.

1-jadval eksperimental konturni ketma-ket yondashuv usuli bilan tarkibiy qismlarga ajratish natijasida olingan dispersiya tarkibiy qismlarining (α_1 , α_2 va σ_1 , σ_2) eksperimental konturlarini qayta ishlash natijalarini ko'rsatadi.

Har ikkala modda uchun kontur tarkibiy qismlarining parametrlarining temperatura tezligi qonuniyatlari bir xil. Shunday qilib, tor kontur (σ_1) kuchli temperatura bog'liqligini aniqlaydi; keng konturning yarim kengligi (σ_2) temperaturaga kuchsiz bog'liq. Yarim kenglikning bunday temperatura harakati yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi doirasida tabiiy tushuntirishni topadi: tor kontur o'q bo'yicha aylanish bilan bog'liq va (xalqa tekisligida yotadi) eng qiyin burilish bilan bog'liq, shuning uchun temperaturaning oshishi (suyuqlik qizdirilganda) bu o'q bo'ylab harakatni muzdan tushirishni kutish tabiiydir. O'qga nisbatan aylanish bilan bog'liq keng konturning yarim kengligi (xalqaning uglerod tepalari orqali o'tadi) – engil aylanish o'qi – deyarli erkin aylanish tufayli temperatura

zaiflashadi. Shunga ko'ra, anizotropiyaning o'qlar bo'ylab relaksatsiya vaqtining tarkibiy qismlari yarim kengligi qiymatlari μ , ζ va ξ o'qlar juda farq qiladi.

Suyuqlikning isitilishi bilan tor konturning (markazda zichlik) qizg'inligi va keng konturning (Periferiya qismlari) intensivligining oshishi kuzatiladi. Tarkibiy konturlarning nazariy va eksperimental og'irlik qiymatlarini solishtirish xona temperaturasida har ikkala modda uchun α_1 va α_2 og'irliklari qiymatlari α_1^{naz} va α_2^{naz} + α_3^{naz} dan farq qiladi. Temperaturaning oshishi bilan farq kamayadi: temperaturada 373 K hisoblashlar α_1^{naz} va eksperimental qiymati α_1 qisman mos tushmoqda : keyingi temperatura oshishi bilan moslik yo'qolmoqda. Bu tarqalish jarayonida faqat aylanish harakati emas, balki uning boshqa turlari, xususan, tebranish harakati [25] mavjudligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shuni ta'kidlash kerakki, yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi konturining qanotlari tabiatiga nisbatan yagona nuqtayi nazar yo'q. Shunday qilib, [26] ishida tor kontur yo'nalish o'zgarishlariga bog'liq va keng tebranish harakati bilan bog'liq. A^{naz} qiymatlari va olingan moddalarning yuqori temperatura uchun eksperimental ravishda mos kelmasligi biz tebranish mexanizmining yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasiga qo'shgan hissasi bilan bog'laymiz. Ushbu mexanizm konturning periferik qismlariga o'z hissasini qo'shadi, chunki tebranish harakatining xarakterli vaqti sekinlashtirilgan aylanishning xarakterli vaqtdan kam emas va tebranish mexanizmining og'irligi temperatura oshishi bilan ortadi. 1-jadvalning ma'lumotlaridan foydalanib, 473 K uchun toluol $\alpha_{\text{teb}} = 0.49$ holatlarida , anilin $\alpha_{\text{teb}} = 0.44$, ya'ni ., keng konturning yarmidan bir oz kamroq tebranish mexanizmi bilan bog'liq.

Yangi mexanizm yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasida suyuqlikning temperaturasi kritik holatga yaqinlashishi bilan yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasining ishtirok etishi uchun yana bir eksperimental ko'rsatma mavjud. Aslida, toluol va anilinda yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi konturini xona temperaturasida ikkita dispersiya konturlari bilan yaqinlashtirish yaxshi. Temperaturaning oshishi bilan yaqinlik darajasi yomonlashadi va asosan periferiya hududlarida. Bu faktlar past temperaturalarda tebranish mexanizmi hissasi hali kichik ekanligini ko'rsatadi.

Yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi spektrining temperatura-chastota xatti-harakatlari bo'yicha olib borilgan izlanishlarimiz suyuqlikning tizimli qayta tuzilishi bilan bog'liq

jarayonlarning yorug'lik sochilish spektrlarining namoyon bo'lishini ko'rsatadi.

Biz taklif qilgan suyuqlikdagi molekularning tormozlangan aylanish modeli eksperimental ravishda kuzatilgan qonuniyatlarni konturlarning soni va molekularning tabiiy o'zgaruvchan tuzilmalari bo'lgan obyektlar uchun tarkibiy konturlarning temperatura parametrlari.

Yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi konturining turli mualliflari Brovning burilish harakati, tormozlash aylanish, tebranish, siljish deformatsiyalari va boshqalar kabi jarayonlarga bog'liq. Albatta, bu mexanizmlarning barchasi yorug'lik molekulyar sochilishining noqutblangan komponentasi spektrlariga o'z hissasini qo'shadi.

XULOSA

Molekulararo ta'sirlashuv qonuniyatlarini aniqlashga yordam beradigan bir qator uglevodorodlar va ularning galoidalmaslangan hosilalarida yorug'likning molekular sochilish sohasida kompleks eksperimental tadqiqotlar bajarildi.

Tajribada olingan natijalar molekulararo ta'sirlashuv qonuniyatlari bilan sochilish spektrlari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashga yordam beradigan lokal maydon fluktatsiyasidan foydalanish imkonini berdi.

Muhitlarda yorug'likning molekular sochilishi noqutblangan qismi intensivligining chastota bo'yicha berilgan sohasidagi ($0-60 \text{ sm}^{-1}$) taqsimlanishi ikkita konturdan, ya'ni molekularning qayta oriyentatsiyalanishi va vibratsion harakati natijasida paydo bo'ladigan spektr konturining "tor" hamda "keng" tarkibiy konturlardan iborat bo'lishi aniqlandi.

Moddaning kritik temperaturasi yaqinida yorug'likning noqutblangan (anizotrop) sochilish spektri torayishining fizikaviy mexanizmlari aniqlandi va tajriba yordamida aniqlangan spektr kengligi o'zgarish dinamikasi mavjud nazariyalarga mos emasligi aniqlandi.

REFERENCES

1. Leontovich M.A. *Relaxation in liquids and scattering of light* // J.Phys. USSR. 1941. V. 4. N. 6. P. 499-506.
2. Мандельштам Л.И. *К вопросу о рассеянии света неоднородной средой* // Журнал Русского физико-химического общества. Часть физическая. 1926. Т. 58. С. 381-386.



3. Brillouin L. *Diffusion de la lumiere et des rayons X par un corps transparent homogène: Influence de l'agitation thermique* // Ann. d. Phys. 1922. 17. P. 88-122.
4. Фабелинский И.Л. *Распределение интенсивности в крыле линии Релея в релаксационные явления в жидкостях* // Изв. АН. СССР. Сер. физ. 1945. Т.9. №3. С.186 - 191.
5. Фабелинский И.Л. *Молекулярное рассеяние света*. Москва, Наука, 1965. 510 стр.
6. Старунов В.С. *Рассеяния света на флуктуациях в анизотропии в маловязких жидкостях* // Оптика и спектроскопия. 1965. Т. 18. № 2. С. 300-310.
7. Старунов В.С. *Исследование спектра теплового и вынужденного молекулярного рассеяния света в жидкостях* // Труды ФИАН СССР. 1967. Т. 39. С. 151-212.
8. Ансельм А.И. *Теория электрооптических явлений в неполярных жидкостях* // ЖЭТФ. 1947. Т. 17. № 6. С. 489-506.
9. Mountain R.D. *Spectral distribution of scattered light in a simple fluid* // Rev. Mod. Phys. 1966. –V.38. –p.205-214.
10. Mountain R.D. *Thermal relaxation and Brillouin scattering in liquids* // J. Res. Nat. Bur. Std.- 1966. –V.70A. –p.207-220.
11. Айвазова А.А., Носенко Б.М. *О применении релаксационной теории контура анизотропного рассеяния для изучения структуры жидкости* // Труды ТашГУ. 1964. № 262. С. 59-70.
12. Отажонов Ш., Айвазова А.А., Носенко Б.М. *Молекулярное рассеяние света в жидком диоксиде* // Оптика и спектроскопия. 1974. Т.36. №2. С. 375-378.
13. Eshchanov B., Otajonov Sh., Solieva N., Isamatov A. *Intensity distribution in the spectrum of molecular light scattering and relaxation effects in liquids* //Ukraine Journal of Physics. 2015.V.60. N.8. P.795-798.
14. Айвазова А.А. Автореферат канд. дисс. На соискание ученой степени канд. физ.- мат. наук. // ТашГУ. 1966.
15. Андреев А.Ф. *К теории рэлеевского рассеяния света в жидкостях* // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 19. № 12. С.713-717.
16. Gallot D., Bratos S., Birnbaum G. *Theoretical study of spectra of depolarized light scattered from dense gases fluids* // Phys . Rev. A: Gen. Phys. 1980. V.22. № 5. P.2230-2237.
17. Иванов И.Е., Шерматов Э.Н. *Деполаризованное рэлеевское рассеяние света и ограниченная вращательная диффузия молекул* // Укр. физ. жур. 1984. Т. 29. № 12. С. 1785-1788.

18. Ачилов М.Ф., Касымджанов М.А., Трунилина О.В., Хабибуллаев П.К. *Структура люминесценция неупорядоченных веществ и крыло линии Рэлея* // Доклады АН УзССР. 1985. № 10. С.26-28.
19. Friedrich V., Tarjus G., Kevilson D. *Study of the integrated intensity of tetrahedral molecules* // J.Chem.Phys. 1990. V. 93. №4. P. 2246-2257.
20. Nishra V.K., Singh K.M., Sudhanshu S.N.S. *Study or intermolecular forces in some organic liquids* // Proc. 33rd Solid State Phys. Symp., Bombay. Jan. 1-4.-1991. V. 33. P.102.
21. Dreyfus C., Aouadi A., Pick R. M., Berger T., Patkowski A., Steffen W. *Light scattering by transverse waves in supercooled liquids and application to metatoluidine* // Eur. Phys. J. B. 1999. V.9. P. 401-419.
22. Latz A., Letz M. *On the theory of light scattering in molecular liquids* // Eur. Phys. J. B. 2001. V. 19. N. 3. P. 323-343.
23. Theenhaus T., Schilling R., Latz A., Letz M. *Microscopic dynamics of molecular liquids and glasses: Role of orientations and translation-rotation coupling* // Phys. Rev. E 2001. V. 64. N. 5. P.051505(1)-051505(18).
24. Rubio J.E.F., Baonza V.G., Taravillo M., Nunez J., Caceres M. *Dynamic light scattering in liquid and supercooled diphenylmethane* // J. Chem. Phys., 2004. V. 120. N. 3. P. 1426-1435.
25. Старунов В.С. *Рассеяния света на флуктуациях в анизотропии в маловязких жидкостях* // Оптика и спектроскопия. 1965. Т. 18. № 2. С. 300-310.
26. Perrot M., Besnard M., Lascombe J. *Orientational and induced depolarized Raleigh scattering of some anisotropic molecules in the their liquid state* // Can. J. Phys. 1981. V.59. N. 10. P. 1481-1486.