

UGLERODLI NANOZARRACHALARNING NANOTO'LDIRUVCHILIK XUSUSIYATLARI TADQIQI

Maxmanov Urol Kudratovich

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti

"Optika va spektroskopiya" laboratoriyasi mudiri,

fizika-matematika fanlari doktori, professor,

E-mail: urol_m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7185-2812>

Tursunqulov Elyor Abil o'g'li

O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti

stajyor tadqiqodchisi,

E-mail: elyortursunqulov1@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-7260-7897>

UDK: 546.26.043:535

Annotatsiya. Yangi xususiyatli materiallar olishda nanoto'ldiruvchilardan foydalanish o'ziga xos ahamiyat kasb etadi. Ushbu ishda polistirol (PS) polimeriga uglerod nanozarrachalari (C_{70} fulleren misolida) nanoto'ldiruvchilar sifatida kiritilganda kechadigan fizik jarayonlar refraktometriya, infraqizil va Raman spektroskopiya, shuningdek areometriya metodlarida o'rganildi. Ularning eritmalaridagi o'zaro ta'sirlar elektrostatik va Van-der-Vaals kuchlari ko'rinishida namoyon bo'lishi aniqlandi. Olingan natijalar nanotexnologiyaning ko'plab sohalarida ko'p komponentli sistemalarda o'z-o'zidan yig'ilish jarayonlarini tushunish va yangi nanokompozit materiallar yaratish uchun katta ahamiyatga kasb etadi.

Kalit so'zlar: Polistirol polimer, C_{70} fulleren, benzolli eritma, agregatsiya, nanoklaster, barqarorlik, optik xususiyatlar.

Махманов Урол Кудратович

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий
Академии наук Республики Узбекистан
Заведующий лабораторией «Оптика и спектроскопия»,
доктор физико-математических наук, профессор

E-mail: urol_m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7185-2812>

Турсункулов Элёр Абил ўғли

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий
Академии наук Республики Узбекистан
Стажёр-исследователь

E-mail: elyortursunqulov1@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-7260-7897>

УДК: 546.26.043:535

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОЗАПОЛНЯЮЩИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Аннотация. Использование нанонаполнителей при создании новых материалов с особыми свойствами имеет важное значение. В данной работе исследованы физические процессы, происходящие при введении углеродных наночастиц (на примере фуллерена C_{70}) в полимер полистирол (ПС) в качестве нанонаполнителей. Для анализа использовались методы рефрактометрии, инфракрасной и рамановской спектроскопии, а также ареометрии. Установлено, что взаимодействия в растворах проявляются в виде электростатических и ван-дер-ваальсовых сил. Полученные результаты имеют большое значение для понимания процессов самосборки в многокомпонентных системах и создания новых нанокомпозитных материалов в различных областях нанотехнологий.

Ключевые слова: *Полимер полистирол, фуллерен C_{70} , бензольный раствор, агрегация, нанокластер, стабильность, оптические свойства.*

Makhmanov Urol Kudratovich

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Head of the “Optics and Spectroscopy” Laboratory
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

E-mail: urol_m@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7185-2812>

Tursunkulov Elyor Abil ugli

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
Junior Researcher

E-mail: elyortursunqulov1@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-7260-7897>

UDC: 546.26.043:535

STUDY OF NANOFILLING PROPERTIES OF CARBON NANOPARTICLES

Abstract. The use of nanofillers is of particular importance in obtaining materials with new properties. In this work, the physical processes that occur when carbon nanoparticles (in the case of C_{70} fullerene) are introduced into polystyrene (PS) polymer as nanofillers were studied using refractometry, infrared and Raman spectroscopy, as well as areometry. It was found that their interactions in solutions are manifested in the form of electrostatic and Van der Waals forces. The results obtained are of great importance for understanding self-assembly processes in multi-component systems and creating new nanocomposite materials in many areas of nanotechnology.

Keywords: *Polymer polystyrene, fullerene C_{70} , benzene solution, aggregation, nanocluster, stability, optical properties.*

Kirish

Bugungi kunda polimer materiallarni ishlab shiqarish va qayta ishlashning qulayligi hamda arzonligi bois ular zamonaviy texnologiyalarda katta ahamiyat kasb etib bormoqda [1]. Ular yengil, shaffof va moslashuvchanligi sababli keng imkoniyatlar taqdim etadi. Polimerlar po'lat, rangli metallar va keramikaga nisbatan nafaqat iqtisodiy jihatdan samaraliroq, balki ba'zi fizik-kimyoviy xususiyatlari jihatidan ham afzalliklarga ega [2]. Xususan, polimerlarning optik xususiyatlarini (masalan, nur sindirish ko'rsatkichini) boshqarish imkoniyati ularning optik qurilmalar, linzalar va himoya qoplamalarida keng qo'llanilishiga imkon beradi [3]. Polimer nanokompozitlarini boshqariladigan struktura va xususiyatlarga ega holda yaratish zamonaviy materialshunoslikning ustuvor yo'nalishlaridan biridir. Optik texnologiyalar, lazer fizikasi va spektroskopiya sohalarida polimerlarning qo'llanilishi ularning nur sindirish ko'rsatkichi, yorug'lik o'tkazuvchanligi va dispersiya xususiyatlariga yuqori talablar qo'yadi [4]. Ayniqsa, turli sharoitlarda ishlatiladigan polimer materiallarning sindirish ko'rsatkichi barqarorligi va uni boshqarish imkoniyati optik qurilmalarning samaradorligini belgilovchi muhim omillardan biri hisoblanadi. Polimerlarning uglerod nanozarrachalari, xususan, fullerenlar bilan boyitilishi ushbu materiallarning fizik-kimyoviy va ekspluatatsion xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Chunki ular polimer matritsaga oz miqdorda qo'shilgan taqdirda ham materiallarning fizik-mexanik, optik, elektr va boshqa xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Polimerlar tarkibiga uglerod nanozarrachalarini qo'shish – yangi avlod materiallarini yaratish yo'nalishidagi innovatsion qadam hisoblanadi [5-6]. Fullerenlarni polimerlar matritsaga qo'shish bo'yicha dastlabki ishlar 1990-yilda C_{60} ning ommaviy sintezidan ko'p o'tmay boshlangan [7]. O'shandan beri, ushbu fulleren va polimer asosidagi kompozit materiallar xususiyatlarini o'rganish fulleren kimyosi va fizikasining muhim yo'nalishlaridan biriga aylangan. Materiallar asosan ularning elektr o'tkazuvchanlik xususiyatlariga ko'ra tasniflangan. Biroq, organik va noorganik materiallarning xususiyatlarini o'rganishda lazer texnologiyalarining keng qo'llanilishi, ayniqsa,

nanotuzilmalarning nur sindirish (refraktiv) xususiyatlari bilan bog'liq tadqiqotlar ushbu sohaning alohida ilmiy yo'nalish sifatida shakllanishiga turtki bo'ldi. Bundan tashqari, fullerenlar va boshqa nanozarrachalar polimer materiallarning xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatish qobiliyati sababli, ularni polimerlar bilan biriktirish jarayoni turli usullarda amalga oshirilishi mumkin. Polistirol tarkibidagi benzol halqalari mavjudligi bois ilmiy tadqiqotlarda fulleren molekulalari bilan π -elektron darajasida kuchli o'zaro ta'sir hosil qilishi mumkinligi taxmin qilinadi [8-10]. Fullerenlar bilan modifikatsiya qilingan birinchi polimerlardan biri aynan polistirol (PS) bo'lib, uning makromolekulalari C_{60} bilan bog'lanish qobiliyatiga ega ekanligi aniqlangan. Biroq, ilmiy va texnologik nuqtayi nazardan, C_{70} fulleren bilan modifikatsiyalangan polimerlarning tuzilishi va fizik xususiyatlari ilmiy adabiyotlarda kam o'rganilgan.

Ushbu ishda polistirol va C_{70} fullerenning benzoldagi eritmasida kechadigan fizik jarayonlar (molekulalararo o'zaro ta'sirlar, agregatsiya) refraktometriya, infraqizil va Raman spektroskopiyasi va areometriya metodlari yordamida tadqiqot natijalari bayon etiladi. Fulleren molekulalarining polimer matritsada to'ldiruvchilik xususiyatlari tahlil qilinadi.

Tadqiqot metodologiyasi

Tajribada ASTM standartlariga mos keluvchi 1551 markali GPPS polimer granulatsiya (tozaligi >99%, o'rtacha molekulyar massasi $M_v = 200,000$ g/mol), C_{70} fullerenning kristal kukuni (tozaligi >99.8) hamda tozaligi >99% bo'lgan erituvchi sifatida benzoldan foydalanildi. C_{70} fulleren va benzol reagentlari Sigma Aldrich (AQSh) ishlab chiqaruvchi tomonidan, GPPS 1551 polimer (keyinchalik matnda PS) reagent esa Assalouyeh Petrochemical Company (Eron) tomonidan yetkazib berilgan.

Tadqiq qilinadigan C_{70} fulleren va PS polimer asosidagi har xil konsentratsiyali eritmalarini tayyorlash uchun dastlab elektron tarozida o'lchab olingan C_{70} kukuni hamda polistirol granulatsiyani tadqiqotda alohida – alohida kolbaga solinib, unga ma'lum nisbatlardagi benzol erituvchi aralashmasi

qo'shiladi. Germetik berk kolbadagi ushbu aralashmalar xona temperaturasida $3 \div 4$ soat davomida $2 \div 2.2$ Hz chastotada avtomatlashgan magnit aralashtirgich yordamida molekulyar eritma holatigacha aralashtiriladi. PS polimer eritmasiga ma'lum hajm ulushida C_{70} fulleren eritmasi qo'shib, fulleren konsentratsiyasi turlicha $C = 4.17, 8.34, 12.51$ va 16.68% (massa bo'yicha) bo'lgan polimer eritma aralashmalari tayyorlandi. Keyingi barcha o'lchashlar xona temperaturasida ($T \approx 24 \pm 0.1$ °C) amalga oshirildi. Tajribada tayyor eritma namunalari ma'lum bosqichlarda qorong'u xonada TC-1/80 markali termostatda (Rossiya) 24 °C saqlandi.

Aytib o'tish joizki, PS/ C_{70} aralashmalarining benzoldagi eritmasi rangi fullerenning konsentratsiyasi oshishi to'qroq bo'lib boradi, bu holat eritmaning yorug'lik nurlari bilan ta'siri jadalroq bo'lishini (ko'proq yutilishi, tebranish chiziqlari intensivligi oshishi) anglatadi.

Zichlik o'lchovlari METTLER TOLEDO DENSITO 30PX (Yaponiya) densitometer qurilmasida amalga oshirildi. Qurilmaning ishlash prinsipi oson ishlatiladigan kapillyar trubka va Arximed qonuniga asoslangan gidrostatik usuldan iborat, zichlikni ± 0.001 g/cm³ gacha aniqlikda avtomatik ravishda aniqlaydi. O'lchov natijalari qurilmaning ekranida vizual tarzda aks ettiriladi. Eritmalarning harorati 24 ± 0.1 °C ichida termostatik nazorat ostida saqlandi. Uning trubkasidagi namuna hajmi ~ 2 sm³ edi va aniqlikni ta'minlash uchun o'lchangan har bir konsentratsiya uchun tajribalar 3 martadan takrorlandi.

Eritmalarning infraqizil (IR) yutilish spektrlari $500 - 4000$ cm⁻¹ diapazondagi Agilent Technologies kompaniyasining Cary 640 Series FTIR Furiye infraqizil (IR) spektrometri yordamida, qalinligi 3 mm bo'lgan KBr kristallidan tayyorlangan optik oynali komponentda o'lchandi. Namunalarning harorati 24 ± 0.1 °C da saqlangan.

Raman spektroskopiyasi funksional guruhlar qo'shilishi natijasida yuzaga keladigan molekulyar tuzilish va elektron xususiyatlardagi o'zgarishlarni aniqlash qobiliyatiga ega bo'lib, shuningdek, erituvchilar ta'siri va harorat o'zgarishlari kabi muhit omillarini baholashda ham samarali hisoblanadi. PS polimer va C_{70}

fulleren asosidagi aralshma fazali eritmalarining Raman spektrlari InVia Raman spektrometri (Renishaw, Buyuk Britaniya) yordamida o'lchandi. Energiya manbai sifatida 532 nm to'lg'in uzunligiga ega Cobolt CW 532 nm DPSS lazeri ishlatildi.

C₇₀ fullerene, PS polimer va ular asosida ma'lum nisbatlarda tayyorlangan eritmalarining sindirish ko'rsatkichi Atago PAL-BX/RI raqamli refraktometr yordamida aniqlandi (o'lchash xatoligi <0.0001). Refraktometrlarning ishlash prinsipi Snellius qonuniga asoslangan bo'lib asosan suyuqlik va yarim qattiq namunalarning nur sindirish ko'rsatkichini o'lchash uchun ishlab chiqilgan. Raqamli refraktometr o'lchash idishchasi (cell) Snellius qonuniga asoslangan sxematik tuzilishga ega. Shuning uchun u to'la ichki qaytish va chegaraviy burchakka asoslanib ishlaydi. O'lchashlar natriyning yaqin turgan ikki sariq chizig'i to'lg'in uzunliklarining o'rtachasi 589,3 nm bo'lgan to'lg'in uzunlikda amalga oshirilgan.

Natijalar va ularning tahlili

PS/C₇₀ aralashmalarining benzoldagi eritmasi zichlik xususiyatlarini aniqlash orqali ularning fizik-kimyoviy xossalarini chuqurroq tushunish va kelajakdagi qo'llanilish imkoniyatlarini aniqlash mumkin. C₇₀ fullerene PS polimer tarkibli eritmaga qo'shilishi natijasida yuzaga keladigan strukturaviy o'zgarishlarini o'rganish uchun dastlabki PS polimerning va turli konsentratsiyali PS/C₇₀ aralashmaning benzoldagi eritmalarini zichlik o'zgarishlari 1-jadvalda keltirilgan. Aytish joizki, C₇₀/benzol eritmasi zichligi ~0.8726 g/cm³ ni tashkil etdi. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, PS/C₇₀/benzol eritmada fullerene ulushi ortishi uning zichligi o'zgarishlariga olib kelgan. C₇₀ ning kam massaviy ulushida (~4.17 %) eritma zichligi dastlab PS/benzol eritmanikidan ancha kamaygan. Bu o'zgarish fullerenga bog'liq dispersiyalanish yoki eritmada tuzilish o'zgarishlari bilan bog'liq bo'lishi mumkin. C₇₀ ni ~8.34 va ~12.51 % massaviy ulushlarida esa eritma zichligi nisbatan oshgan. Bu jarayon PS/benzol eritmada fullerene taqsimlanishi yuz berayotganligi va o'zaro ta'sir namoyon bo'lishi bilan tushuntirilishi mumkin.

C₇₀ massaviy ulushi, %	Zichlik (g/cm³)
0	0.8740
4.17	0.8727
8.34	0.8742
12.51	0.8746
16.68	0.8739

**PS/C₇₀/benzol eritmalarining zichligi o'zgarishlari. O'lchash harorati
24±0.1°C.**

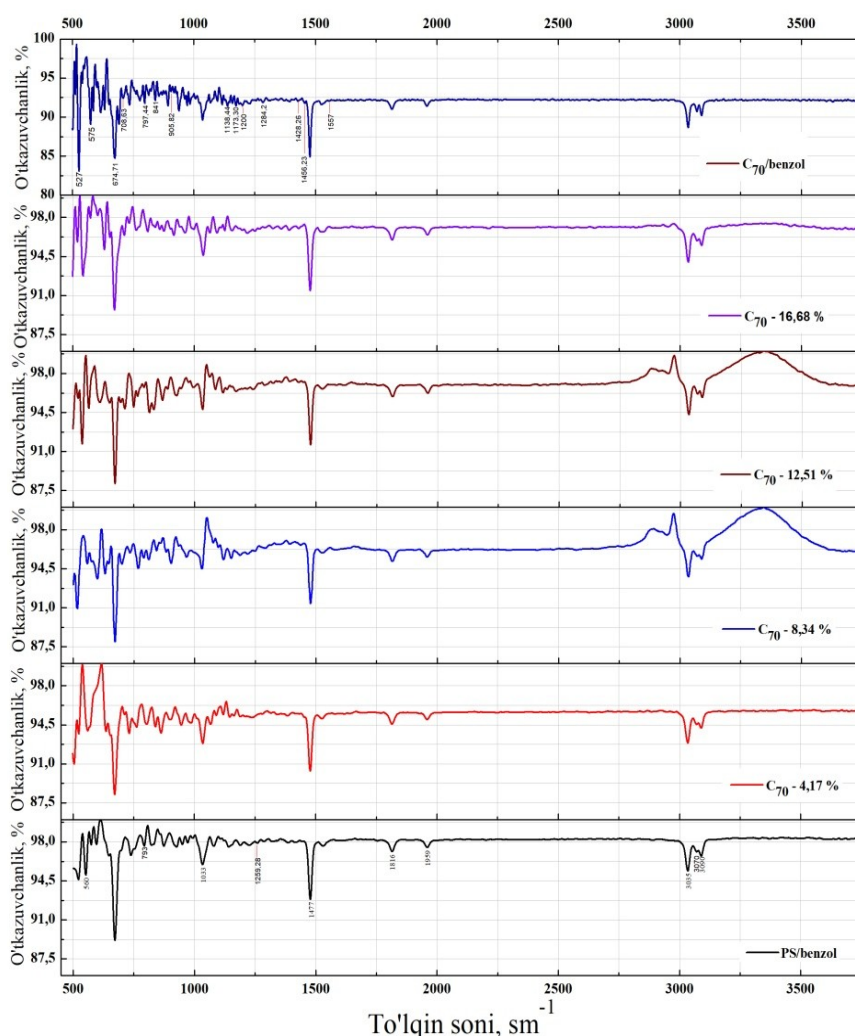
C₇₀~16.68 % ulushida eritma zichligi PS/benzol eritma zichligiga nisbatan yaqinroq kamayishga erishgan. Bu holat C₇₀ fulleren molekulalarining PS polimer zanjirlariga zichroq joylashishiga olib keladi [11-12].

1-rasmda PS/C₇₀/benzol eritmasining komponentlarning turli massaviy ulushlaridagi infraqizil (IQ) o'tkazuvchanlik spektrlaridagi farqlar keltirilgan. Bu spektrlar 500 – 4000 sm⁻¹ diapazonida olingan bo'lib, benzolning yutish chizig'i eritmaning yutish chizig'idan chiqarib tashlanmadi. Tadqiqot yangi tayyorlangan eritmada olib borildi, PS/benzol eritmasiga turli miqdorda C₇₀/benzol eritmasi qo'shib, olingan infraqizil spektrlarini tahlil qilishimizdan maqsad PS polimer hamda C₇₀ fulleren o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni o'rganish, shuningdek C₇₀ fulleren kontsentratsiyasi ortgan sari tebranish chastotalaridagi o'zgarishlarni baholashdan iborat.

Sof C₇₀ fulleren eritmasining infraqizil spektri. C₇₀ fullereni D_{5h} simmetriya guruhiga mansub bo'lib, 31 ta IQ normal tebranishlari 21E₁' + 10A₂'' ko'rinishida tasniflanadi [13-15]. Sof C₇₀ fullerenning benzoldagi eritmasiga tegishli asosiy tebranish chastotalari quyidagicha kuzatildi: **528 cm⁻¹** va **575 cm⁻¹** da radial tebranishlar, **674.41 cm⁻¹** da C-C bog' tebranishi, **708.63 cm⁻¹** da C-C bog'ining tekislikdan tashqari egilish tebranishlari, shuningdek **708.63 cm⁻¹**, **797.44 cm⁻¹**, **841 cm⁻¹**, **905.82 cm⁻¹**, **1138.44 cm⁻¹**, **1173.30 cm⁻¹**, **1200 cm⁻¹**, **1284.2 cm⁻¹**, **1428.26 cm⁻¹**, **1456.23 cm⁻¹** va **1557 cm⁻¹** chastotalarda ham tebranishlar

kuzatildi. Bu piklar C_{70} fullerenga xos bo'lib PS/ C_{70} /benzol eritmalarining IQ spektrlari bilan taqqoslash uchun asos bo'lib xizmat qiladi (1-rasm).

PS polimer eritmasining infraqizil spektri. PS/benzol eritmasining infraqizil spektrida quyidagi asosiy tebranishlar qayd etildi. 793 cm^{-1} da bukilish tebranishi, 1033 cm^{-1} da C-H valent tebranishi, 1259.23 cm^{-1} da C=C cho'zilish tebranishi, 3035 cm^{-1} da aromatik C-H cho'zilish tebranishi. Bu piklar PS polimeriga xos bo'lib [16], uning tarkibidagi kimyoviy bog'larning mavjudligini ko'rsatadi (1-rasm).

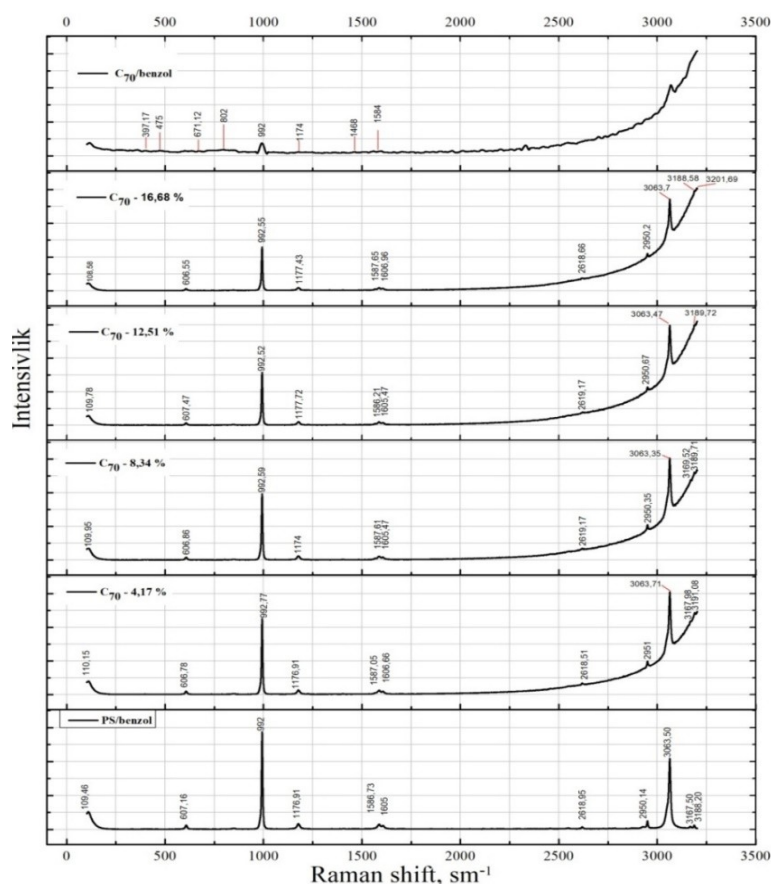


1-rasm. PS/ C_{70} /benzol eritmalarining PS va C_{70} ning turli konsentratsiyalaridagi infraqizil spektrlari o'zgarishlari.

PS/ C_{70} /benzol eritmalaridagi spektral o'zgarishlar. C_{70} fulleren eritmasi qo'shilganda, PS/ C_{70} /benzol eritmalarining spektrlarini tahlil qilish orqali quyidagi o'zgarishlar kuzatildi (1-rasm):

- 560 cm^{-1} , 1033 cm^{-1} , 1477 cm^{-1} , 1816 cm^{-1} , 1959 cm^{-1} , 3035 cm^{-1} , 3070 cm^{-1} 3090 cm^{-1} benzol erituvchisiga tegishli tebranish piklari hosil bo'ldi va intensivligi oshdi.
- C_{70} fullerening benzoldagi eritmasiga hamda PS polimerga tegishli tebranishlar, PS/ C_{70} /benzol eritmalarida intensivligi oshgan holda biroz siljish bilan kuzatildi hamda boshqa yangi tebranishlar paydo bo'ldi.
- PS ga tegishli bo'lgan aromatik C-H cho'zilish tebranishi 3035 cm^{-1} da kuzatilib, C_{70} fullerenga ega namunalarda biroz intensivligi kamaygan.

Bu o'zgarishlardagi infraqizil spektral tahlillar shuni ko'rsatdiki, har bir polimer eritmasiga, C_{70} fullerening qo'shilishi, yutilishning ortishi va piklarning kengligi o'zgarishiga va siljishiga olib keldi. Bu C_{70} fullerening PS polimer zanjirlari bilan o'zaro ta'sirga kirishayotganidan dalolat beradi. Ushbu o'zaro ta'sirlar, asosan, π - π o'zaro ta'sirlashish strukturasiga kirib, uning fizik-kimyoviy va mexanik xossalariga ta'sir qilishini bildiradi [16-17].



2-rasm. PS/ C_{70} /benzol eritmalarining PS va C_{70} ning turli konsentratsiyalaridagi Raman spektrlari

C_{70} fulleren bilan polimerlarni modifikatsiya qilish bo'yicha tadqiqotlar kam o'tkazilgan. Ammo, kovalent molekulyar modifikatsiya ham rivojlanmoqda, lekin bu jarayon murakkab bo'lib, ko'proq izlanishlar talab etadi.

Raman spektroskopiyasi materiallarning tebranish xarakteristikalarini o'rganishda keng qo'llaniladigan usullardan biri hisoblanadi. Tadqiqotda Raman spektroskopiyasidan PS polimer va C_{70} fulleren orasidagi bog'lanish xususiyatlarini yanada aniq tavsiflash uchun foydalanildi (2-rasm).

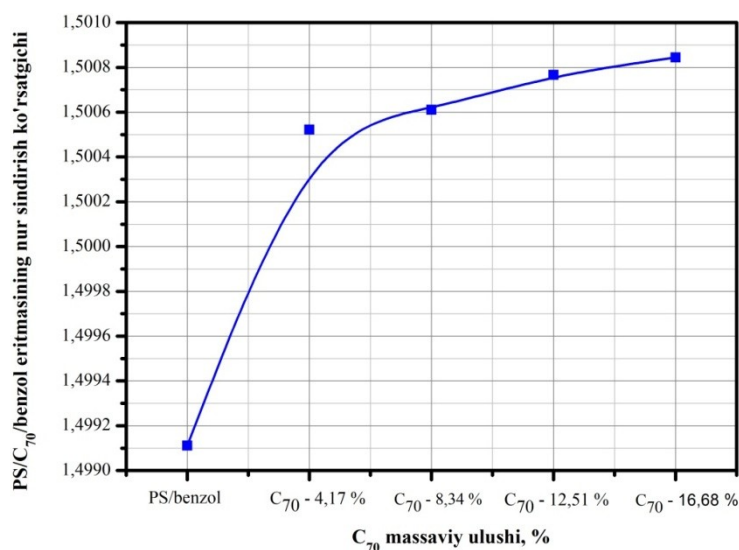
Tajribalarda yorug'lik sochilishi yordamida eritmalarini o'rganish jarayonida fulleren va polimer koordinatsion bog'lar hosil qilgan agregatlar shakllantirishi aniqlangan. Odatda, agregatsiya jarayoni polimer zanjirining konfiguratsiyasini zichlashtirish yoki, aksincha, bo'shashtirish orqali kechadi. PS/ C_{70} /benzol eritmalarining Raman spektrlarining tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki (2-rasm), ilmiy adabiyotlarda PS polimerning asosiy tebranish chiziqlaridan quyidagilar 1001.4 cm^{-1} , 1583 cm^{-1} , 1602.3 cm^{-1} , chastotalar [18], bizning PS/benzol eritmamizda bu chastotalar quyidagicha 992 cm^{-1} , 1586 cm^{-1} , 1605 cm^{-1} o'zgarishlar bilan qayd qilindi. Yuqorida aytganimizdek C_{70} fullereni D_{5h} simmetriya guruhiga mansubligidan, 53 ta Raman tebranishlari $12A'_1 + 22E'_2 + 19E'_1$ ko'rinishida tasniflanadi [16]. C_{70} /benzol eritmasidagi fullerenga tegishli asosiy tebranish chiziqlari 397.17 cm^{-1} , 475 cm^{-1} , 671.12 cm^{-1} , 802 cm^{-1} , 992 cm^{-1} , 1174 cm^{-1} , 1468 cm^{-1} , 1584 cm^{-1} chastotalarda kuzatildi. Benzol erituvchisiga tegishli tebranish chiziqlari 606 cm^{-1} , 992 cm^{-1} , 1178 cm^{-1} , 1585 cm^{-1} , 1606 cm^{-1} , 2950 cm^{-1} , 3063 cm^{-1} , chastotalarda kuzatildi. PS/benzol eritmasiga C_{70} /benzol eirtmasi qo'shilishi PS/ C_{70} /benzol eritmaning Raman spektrida muayyan tebranishlarning intensivligi o'zgarishiga sabab bo'lgan. C_{70} fullerenga tegishli asosiy chiziqlardan ayrimlari kuchaygan, ayrimlari yo'qolgan va yangi tebranishlar paydo bo'lgan, bu esa PS polimer va C_{70} fulleren o'rtasidagi o'zaro ta'sir mavjudligini ko'rsatadi. Xususan, 1174 cm^{-1} chastotadagi intensivlik o'zgarishlari PS polimeri va C_{70} fulleren o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarning darajasini belgilaydi. Bu o'zgarishlar fizikaviy ta'sirlar bo'lib, π - π stacking (π -elektronlararo

o‘zaro ta‘sir), Van-der-Vals ta‘sirlari yoki donor-akseptor o‘zaro ta‘siri natijasida yuzaga keladi [18-21].

Turli konsentratsiyadagi C_{70} fulleren zarrachalari bilan boyitilgan PS/ C_{70} /benzol eritmalarning nur sindirish ko‘rsatgichi o‘lchandi va tahlil qilindi. 3-rasmda benzolda tayyorlangan paytdagi jami uch marta o‘lchangan natijalarning o‘rtacha qiymatlari PS polimer eritmasi uchun hamda PS/ C_{70} /benzol eritmada C_{70} fulleren massaviy ulushining nur sindirish ko‘rsatkichiga bog‘liqligi tasvirlangan. Grafikdan ko‘rishimiz mumkin, 0 % dan 4.17% C_{70} qo‘shilganda nur sindirish ko‘rsatkichi $\sim 1,4955$ dan $1,4995 \div 1,5006$ oralig‘iga chiziqli oshgan. 4.17 % dan 8.34% gacha bo‘lgan intervalda o‘shish noxiziqli davom etib, qiymat $\sim 1,5006$ atrofida bo‘lgan. 8.34 % dan 12.51 % gacha o‘shish sekinlashgan bo‘lsada, $\sim 1,5006 \div 1,5008$ oralig‘iga yetgan. 12.51 % dan 16.68 % gacha nur sindirish ko‘rsatkichi deyarli barqarorlashgan (1,50084 atrofida). C_{70} konsentratsiyasi ortgan sari nur sindirish ko‘rsatkichi ham ortgan, ammo yuqori konsentratsiyaga kelib, oshish juda sekinlashgan yoki to‘xtagan.

C_{70} fulleren o‘zining keng π -elektron buluti tufayli yuqori qutblanishga ega. Polimer eritmasida fulleren molekullari tarqalganda, umumiy qutblanish ortadi. Bu Lorentz–Lorenz yoki Maxwell–Garnett nazariyalari orqali tushuntiriladi. Natijada dielektrik singdiruvchanlik (ϵ) o‘shishi mumkin, bu esa nur sindirish ko‘rsatkichi $n = \sqrt{\epsilon}$ qiymatini oshiradi. Dastlabki keskin o‘shish, (0 % dan 4.17% gacha) nur sindirish ko‘rsatgichining chiziqli oshishi, fulleren molekullari polimer matritsasida teng taqsimlanib, eritmaning umumiy qutblanishiga kuchli hissa qo‘shishi bilan bog‘liq. Kam konsentratsiyada birinchi qo‘shilgan fulleren molekullari polimer zanjirlar orasidagi bo‘shliqlarni samarali to‘ldiradi. So‘nggi bosqichda barqarorlashish 12.51÷16.68 % massaviy ulushlarda o‘shish sekinlashgan. Buning sabablari polimer matritsasining to‘yinganlik chegarasi, ya‘ni ortiqcha C_{70} fulleren molekullari agregatsiya yoki klasterlar hosil qilgan bu bo‘lishi mumkin. Eritmadagi benzol ulushi ham o‘zgarib, yuqori konsentratsiyada fulleren ortiqcha bo‘lib qolishi mumkin. Yangi qo‘shilayotgan fulleren molekullari avvalgidek samarali dispers bo‘lmasligi va molekulyar qutblanishga

unchalik katta hissa qo‘shmasligi bilan tushuntrladi. Agar C_{70} fulleren molekulalari o‘zaro birikib klasterlar hosil qila boshlasa (agregatsiya), eritmadagi tarqalish teng bo‘lmaydi.



3-rasm. PS/ C_{70} /benzol eritmalarida C_{70} ning turli konsentratsiyalaridagi nur sindirish ko‘rsatgichining o‘zgarishlari

Natijada, nur sindirish ko‘rsatgichi o‘shishi kutilgandek bo‘lmasligi yoki hatto biroz pasayishi ham mumkin. Grafikda keskin pasayish kuzatilmay, o‘shish sekinlashgani klasterlashish jarayoni boshlangani yoki polimer matritsasida bo‘shliq qolmagani bilan izohlanishi mumkin [11, 22-24].

Qo‘llanilgan yuqori aniqlikdagi metodlar va olingan eksperimental natijalar polimer-fulleren materiallarning fundamental fizik-kimyoviy xususiyatlarini yaxshiroq tushunish, shuningdek, real sanoat ilovalariga tatbiq qilish uchun muhimdir. Shuningdek, bu natijalar nanofizika va nanokimyodagi ko‘plab amaliy sohalarda erituvchi va erigan modda molekulalari orasidagi o‘zaro ta’sirlarning xususiyatlarini tahlil qilish uchun ishlatilishi mumkin.

Xulosa

PS polimerning benzoldagi eritmasiga turli konsentratsiyadagi C_{70} fulleren qo‘shilgandagi PS/ C_{70} /benzol eritma zichligi bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar C_{70} fulleren konsentratsiyasi oshgan sari zichlik doimiy ravishda oshmayotganligi, balki biroz tebranishlar bilan o‘zgarayotgani PS polimer va C_{70} fullerenning o‘zaro

ta'siri va eritmadagi taqsimlanish jarayonlari bilan bog'liq bo'lishi mumkinligini ko'rsatdi.

PS/C₇₀/benzol eritmasining IQ spektroskopik tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, eritmani tashkil etuvchilarga xos asosiy tebranish holatlari o'zgarishlaridan PS va C₇₀ molekulalari o'zaro ta'sirlashishi aniqlandi. Xususan, C₇₀ fulleren molekulalari PS polimerga qo'shilganda yangi tebranish piklari paydo bo'lib, mavjudlarida esa siljishlar kuzatildi. Bu esa molekulyar o'zaro ta'sirni tasdiqlaydi, hamda PS polimer va C₇₀ fulleren orasida π - π (stacking) va Van-der-Waals o'zaro ta'sirlar mavjud bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi.

Raman spektrida PS/C₇₀/benzol eritma strukturasiga xos piklar C₇₀ ning konsentratsiyasi ortganda siljishi molekulalararo bog'lanishlar soniga proporsional bo'lishi aniqlandi. C₇₀ fulleren miqdori ko'p eritmalar chastotalaridagi valent tebranish chiziqlari intensivligi oshgan. Bu esa C₇₀ fulleren molekulalarining konsentratsiyaga bog'liq agregatsiyalashuvni tasdiqlaydi.

PS polimer eritmasiga C₇₀ fulleren qo'shish uning nur sindirish ko'rsatkichini oshiradi. Bunda C₇₀ fulleren konsentratsiyasi ortishi bilan sistemaning umumiy qutblanishi (molekulyar va agregatsion) ortadi, bu esa nur sindirish ko'rsatkichning chiziqli bo'lmagan o'zgarishlariga olib keladi. PS/C₇₀/benzol eritmalarining xususiyatlarini o'rganish bo'yicha olingan ma'lumotlar nafaqat ilmiy izlanishlarda, balki sanoat texnologiyalarida ham foydali bo'lishi mumkin. Ushbu tajriba natijalari polimerning optik xususiyatlarini boshqarish (yangi material olish) uchun fullerenni nanoto'ldiruvchi sifatida kiritish usulining samarali ekanini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Annu A., Singh A., Singh P.K., Bhattacharya B. (2018). Effect of carbon nanotubes as dispersoid in polymer electrolyte matrix // *Journal of Material Science: Materials in Electronics*, Vol. 2, No. 11. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9008-1>
2. Tropina T.V., Avdeeva M.V., and Aksenova V.L. (2024) Temperature Dependence of Structural Parameters of Thin Films of Polystyrene–Fullerene

- C₆₀/C₇₀ Nanocomposite According to Neutron Reflectometry Data // *Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques*, 18(4), pp. 765–769. <https://doi.org/10.1134/S1027451024700423>
3. Sadoh A., Hossain S., Ferreira S., Ravindra N.M. (2022). Optical properties of low-refractive index polymers // *Material Science & Engineering International Journal*, 6(2), 68–76. <https://doi.org/10.15406/mseij.2022.06.00182>
 4. Dattani R., Cabral J.T. (2015). Polymer Fullerene Solution Phase Behaviour and Film Formation Pathways // *Soft Matter*, 11, 3125–3131. <https://doi.org/10.1039/c5sm00053j>
 5. Lim J.V., Bee S.T., Tin Sin L., Ratnam C.T., Abdul Hamid Z.A. (2021). A Review on the Synthesis, Properties, and Utilities of Functionalized Carbon Nanoparticles for Polymer Nanocomposites. // *Polymers*, 13, 3547. . <https://doi.org/10.3390/polym13203547>
 6. Mohammad M., Karen I.W. (2006). Polymer Nanocomposites Containing Carbon Nanotubes // *Macromolecules*, V. 39. P. 5194-5205. <https://doi.org/10.1021/ma060733p>
 7. Peter J. F., Harris. (2020). Fullerene Polymers: A Brief Review Received: // *Journal of Carbon Research*, 6(71). <https://doi.org/10.3390/c6040071>
 8. Ahmed R.M., El-Bashir S.M., Structure and Physical Properties of Polymer Composite Films Doped with Fullerene Nanoparticles // *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy*, Volume 2011, Article ID 801409, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2011/801409>
 9. Satayeva G.E., Baratova A.A., Sakipov K.E., Abdigapar A.A., Sharifov D.M., Gumilyov L.N. (2023). Optical properties of carbon containing nanocomposite films based on the polystyrene-fullerene C₆₀ system // (Online) *Eurasian Physical Technical Journal*, Vol.20, No.3 (45) 27-34. <https://doi.org/10.31489/2023No3/27-34>
 10. Ginzburg B.M., Tuchiaevb Sh. (2008). Variations in the Structure of Aromatic Solvents under the Influence of Dissolved Fullerene C₇₀ // *Crystallography Reports*, 53(4) pp. 645–650 <https://doi.org/10.1134/S1063774508040159>

11. Makhmanov U.K., Esanov S.A., Sidigaliyev D.T., Musurmonov K.N., Aslonov B.A., and Chuliev T.A. (2023). Behavior of C₇₀ fullerene in a binary mixture of xylene and tetrahydrofuran // *Liquids*, 3(3), 385-392. <https://doi.org/10.3390/liquids3030023>
12. Alekseeva O.V., Bagrovskaya N.A., Kuzmin S.M., Noskov A.V, Melikhov I.V., Rudin V.N. (2009) The Influence of Fullerene Additives on the Structure of Polystyrene Films // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, Vol. 83, No. 7, pp. 1170–1175. <https://doi.org/10.1134/S0036024409070218>
13. Kokhkharov A.M., Zakhidov E.A., Gofurov S.P., Bakhramov S.A., Makhmanov U.K. (2013). Clusterization of fullerene C₇₀ molecules in solutions and its influence to optical and nonlinear optical properties of solutions // *International journal of nanoscience*, 4(12), c. 1350027. <https://doi:10.1142/S0219581X13500270>
14. Schettino V., Pagliai M., Cardini G.(2002). The Infrared and Raman Spectra of Fullerene C₇₀. DFT Calculations and Correlation with C₆₀ // *American Chemical Society Published on Web* 106, 1815-1823. <https://doi.org/10.1021/jp012680d>
15. Julianna Palotas., Jonathan Martens., Giel Berden., and Jos Oomens. (2021). The Infrared Spectrum of Protonated C₇₀ // *The Astrophysical Journal Letters*, 909:L17 (9pp). <https://doi.org/10.3847/2041-8213/abe874>
16. Fang JunFei., Xuan YiMin., and Li Qiang. (2010). Preparation of polystyrene spheres in different particle sizes and assembly of the PS colloidal crystals. // *Sci China Tech Sci*, 53(11), 3088-3093. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4110-5>
17. Qianjin X., Xiangyun Y.L., Zhang Y., Duan A. B., Mei X. (2020). Spectrum and Physical Properties of C₇₀ Under the External Electric Field // *Journal of Cluster Science*, 31:951–960. <https://doi.org/10.1007/s10876-019-01700-x>
18. Mark R. Pollard., Katia Sparnacci., Lars J. Wacker., and Hugo Kerdoncuff. (2020). Polymer Nanoparticle Identification and Concentration Measurement Using Fiber-Enhanced Raman Spectroscopy // *Chemosensors*, 8, 21. <https://doi.org/10.3390/chemosensors8010021>

19. Keith Refson., and Stewart F. Parker. (2015). Assignment of the Internal Vibrational Modes of C_{70} by Inelastic Neutron Scattering Spectroscopy and PeriodicDFT // *ChemistryOpen*, 4, 620 – 625.
<http://dx.doi.org/10.1002/open.201500069>
20. Satayeva G.E., Bekmukhanbetova D.B., Amangeldy N., Yergaliuly G. (2022). Research of Nanomaterials by the Spectroscopy Methods. // Astana, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 108 p. [https://doi.org/ 10.32523/2616-7263](https://doi.org/10.32523/2616-7263)
21. Nikolay O. Mchedlov-Petrosyan., Mykyta O. Marfunin., and Nika N. Kriklya. (2024). Colloid Chemistry of Fullerene Solutions: Aggregation and Coagulation // *Liquids* 2024, 4(1), 32-72. <https://doi.org/10.3390/liquids4010002>
22. Makhmanov U.K., Aslonov B.A., Esanov SH.A., Shukurov A., Chuliyev T.A. (2024). Controlled Synthesis of C_{70} Fullerene Micro/Nanotubes // *Romanian Journal of Physics*, 69 (7-8), 615-624(1-9).
<https://doi.org/10.59277/RomJPhys.2024.69.615>
23. Kamanina N. (2023) Refractive Properties of Conjugated Organic Materials Doped with Fullerenes and Other Carbon-Based Nano-Objects. // *Polymers* 2023, 15(13), 2819. <https://doi.org/10.3390/polym15132819>
24. Börzsönyi Á., Heiner Z., Kovács A. P., Kalashnikov M. P., & Osvay K. (2010). Measurement of pressure dependent nonlinear refractive index of inert gases // *Optics Express*, 18(25), 25847-25854.
<https://doi.org/10.1364/OE.18.025847>