

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: urolmakh@gmail.com

Aslonov Bobirjon Ashur o'g'li
O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi
Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktoranti
E-mail: aslonovbobir@mail.ru

UGLEROD TARKIBLI NANOZARRACHA/POLIMER ERITMALARIDAGI OPTIK VA REOLOGIK XUSUSIYATLAR TADQIQI

Annotatsiya. Nanosanoatning taraqqiy etishi davomida uglerodli nanotuzilmalar (uglerodli nanoquvur, fulleren, grafen) soha uchun eng muhim xom-ashyolardan biri sifatida e'tiborni tortmoqda. Ushbu ishda fulleren va polistirolning benzoldagi eritmalarida kechadigan fizikaviy jarayonlar (o'z-o'zidan tashkillanish, strukturaviy zichlashish) optik yutilish spektroskopiya, refraktometriya va areometriya usullari yordamida o'rganildi. Eritma xususiyatlari o'zgarishlaridagi ham komponentlarning turli ulushlarida, ham vaqt bo'yicha evolyutsiya aniqlandi. Olingan natijalar polimer/uglerod asosida yangi xususiyatli nanokompozit materiallar olishda muhim hisoblanadi.

Kalit so'zlar: fulleren, polistirol, benzolli eritma, nanokompozit, yutilish spektri, nur sindirish ko'rsatkichi.

Махманов Урол Кудратович
заведующий лабораторией «Оптика и спектроскопия»
Института ионно-плазменных и лазерных технологий
Академии наук Республики Узбекистан,
доктор физико-математических наук, профессор
E-mail: urolmakh@gmail.com
Аслонов Бобиржон Ашурович
Докторант Института ионно-плазменных и
лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан
E-mail: aslonovbobir@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦ/ПОЛИМЕРОВ

Аннотация. В условиях развития наноиндустрии углеродные наноструктуры (углеродные нанотрубки, фуллерены, графен) привлекают внимание как одно из важнейших сырьевых материалов для этой отрасли. В данной работе с помощью оптической абсорбционной спектроскопии, рефрактометрии и ареометрии исследованы физические процессы (самоорганизация, структурное уплотнение), протекающие в растворах фуллеренов и полистирола в бензоле. Определена динамика свойств растворов как при различных соотношениях компонентов, так и во времени. Полученные результаты важны для получения нанокompозитных материалов с новыми свойствами на основе полимер/углерода.

Ключевые слова: фуллерен, полистирол, раствор в бензоле, нанокompозит, спектр поглощения, показатель преломления.

Makhmanov Urol Kudratovich

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

E-mail: urolmakh@gmail.com

Aslonov Bobirjon Ashurovich

*Doctoral student of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies,
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan
E-mail: aslonovbobir@mail.ru*

STUDY OF OPTICAL AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CARBON-CONTAINING NANOPARTICLE/POLYMER SOLUTIONS

Abstract. In the context of the development of the nanoindustry, carbon nanostructures (carbon nanotubes, fullerenes, graphene) attract attention as one of the most important raw materials for this industry. In this paper, using optical absorption spectroscopy, refractometry and areometry, physical processes (self-organization, structural compaction) occurring in solutions of fullerenes and polystyrene in benzene were studied. The dynamics of the properties of solutions was determined both at different ratios of components and over time. The results obtained are important for obtaining nanocomposite materials with new properties based on polymer/carbon.

Key words: fullerene, polystyrene, benzene solution, nanocomposite, absorption spectrum, refractive index.

Kirish

Elektronika, optika, aerokosmik sanoat, shuningdek, biotibbiyot va ekologik muammolarni hal etish uchun yangi avlod ko'p funktsiyali polimer materiallarini sintez qilish zamonaviy materialshunoslikning eng muhim vazifalaridan biridir. Polimerlar va uglerod nanoklasterlari, xususan, fullerenga asoslangan kompozitlarni yaratish ushbu muammolarni hal qilishning istiqbolli yo'nalishlaridan biri hisoblanadi [1,2]. Fulleren molekulalarini polimer matritsasiga kiritilishi ularning tuzilmasi va fizik-kimyoviy xususiyatlarini boshqarish, hamda kompozit materialga yangi xususiyatlar berish imkonini yaratadi [3,4].

Polimer/fulleren asosli kompozitlar asosan ikki usulda olinadi [5]. Birinchisi, polimer matritsasiga fulleren molekulasini kiritish (doping qilish) orqali sintez qilish. Bunda fulleren va polimer o'zaro bitta yoki bir nechta kovalent bog' hosil qilib birikadi [6]. Ikkinchisi, polimer va fullerenning organik erituvchilarda eritmasi tayyorlanib, undan turli metodlar orqali kompozit qatlam olinadi [7-9]. Bu jarayonda nanokompozit donor-akseptor turidagi nokovalent birikmalardan tashkil topadi. Ta'kidlash joizki, ikkinchi usul yordamida polimer tarkibiga faqat juda oz miqdorda fulleren molekulalarini kiritish mumkin. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, modifikatsiyalovchi komponentlarning kichik qo'shimchalari kompozitlarning fizik-mexanik, elektr, optik va massa almashinuvi xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilaydi [10-13].

Hozirda an'anaviy polimerlar, masalan, polistirol (PS), polietilenglikol (PEG) va polietilen (PE) kabilar ushbu funksional nanomateriallar uchun matritsa sifatida keng qo'llanilmoqda [14,15]. Yuqori aniqlikdagi polimer/fulleren nanokompozit materiallari esa reaksiya sharoitlarini va polimer zanjirlaridagi funksional guruhlarni o'zgartirish orqali sintez qilingan [16].

Yuqorida ta'kidlanganidek, eritma tayyorlash usulida polimer massasiga nisbatan oz miqdorda (odatda namunadagi umumiy og'irlikning 0.25-5 % atrofida) fulleren qo'shiladi [17]. Natijada, polimer kompozitdagi fulleren holatini spektral tahliliy usullar yordamida aniq tahlil qilish bir muncha qiyinchilik tug'diradi. Shu sababdan, eritmada tayyorlangan fullerenga ega polimer kompozitlari hali yetarli darajada chuqur o'rganilmagan. Biroq oxirgi tadqiqotlar ko'rsatdiki, bunday tizimlar C_{70} polimer hosilalarini oddiy va arzon usulda tayyorlash imkonini berishi sababli alohida ilmiy va amaliy ahamiyatga ega [18].

Ushbu tadqiqotda umumiy eritmadan tayyorlangan polimer va fulleren o'zaro ta'sir jarayonlarini o'rganish bo'lib, bunda namuna sifatida polistirol (PS)

va C_{70} fulleren tanlandi. Chunki, polistirol yuqori molekulyar massali polimer bo'lib, u eritmadan tayyorlangan kompozit namunalar tarkibida nisbatan ko'p miqdorda (10% dan ortiq) fulleren biriktirish qobiliyatiga ega [19]. Bu esa C_{70} -PS namunalar tarkibini turlicha nisbatlarda tayyorlash imkonini berdi. Ushbu tadqiqot dolzarb hisoblanadi, chunki polistirol keng qo'llaniladigan, qatlam hosil qiluvchi, fullerenga asoslangan qatlamlar tayyorlashda ishlatiladigan material bo'lib, C_{60} va C_{70} fulleren molekulalarining noxiziqli optik xususiyatlarini o'rganish va qo'llash uchun qulaydir [20-22].

Ushbu ishda UV-Vis spektroskopiya usuli yordamida benzoldagi C_{70} fullereni va polistirol eritmalarida kechadigan fizikaviy jarayonlari tahlil qilinadi hamda vaqt o'tishi bilan eritmada yuz beradigan o'zgarishlarga ta'sir etuvchi omillar aniqlanadi. Shuningdek, C_{70} va PS eritmalarining nur sindirish ko'rsatkichi va zichlik qiymatlarining o'zgarish xususiyatlari ham o'rganiladi.

Tadqiqot metodi va reagentlar

Tajribalarda ishchi eritmani tayyorlash 1551 markali GPPS polimeri (tozaligi >99%, o'rtacha molekulyar massasi $M_v = 200,000$ g/mol, Assalouyeh Petrochemical Company, Eron) va tozaligi 99,8% dan yuqori bo'lgan C_{70} fulleren kukunidan (Sigma-Aldrich, AQSH), shuningdek organik erituvchi sifatida kimyoviy toza, analitik darajadagi benzoldan (Sigma-Aldrich, AQSH) foydalanildi.

Turli konsentratsiyali C_{70} fulleren va PS polimer eritmalarini tayyorlash uchun avvaldan alohida o'lchab shisha kolbaga solingan C_{70} kristal va polistirol granulatsiya namunalariga ma'lum nisbatda aniq o'lchangan benzol erituvchisi qo'shildi. Olingan aralashmalar germetik berkitilgan holda 2-3 Gs chastotali dasturlashtirilgan laboratoriya magnit aralashtirgichi "MS-11 H" (WIGO, Polsha) yordamida xona haroratida 3 soat davomida eritildi.

Tayyorlab olingan C_{70} /benzol eritmasiga PS/benzol eritmasi aniq o'lchangan hajmda qo'shish orqali fullerenning massa ulushi $C = 0.353, 0.695, 1.026$ va 1.347 % bo'lgan PS/ C_{70} /benzol eritmasi va natijalarni solishtirish uchun qo'shimcha alohida probirkalarga benzol, PS/benzol (polimer massa ulushi 77%), C_{70} /benzol (fulleren massa ulushi 22%) aralashmalari ham tayyorlandi.

Turli konsentratsiyada tayyorlangan eritmalarining optik yutilish spektrlari Shimadzu UV-2700 UV-Vis (Shimadzu, Osaka, Yaponiya) qayd qiluvchi spektrofotometrida, $\sim 340\text{--}900$ nm spektral diapazonda $\sim 0,1$ nm spektral aniqlik bilan qayd etilgan.

Turli nisbatlarda tayyorlangan PS/benzol, C_{70} /benzol va PS/ C_{70} /benzol eritmalarining nur sindirish ko'rsatkichi (n) Atago PAL-BX/RI raqamli refraktometri (Atago, Yaponiya) yordamida aniqlandi (o'lchash xatoligi <0.0001).

O'lchashlar natriyning yaqin turgan ikki sariq chizig'i to'liq uzunliklarining o'rtachasi 589,3 nm bo'lgan to'liq uzunlikda amalga oshirilgan.

Zichlik o'lchovlari Densito 30PX (Mettler Toledo, Yaponiya) densitometer qurilmasida amalga oshirildi. Qurilmaning ishlash prinsipi kapillyar trubka orqali Arximed qonuniga asoslangan gidrostatik usulga asoslangan, unda zichlikni $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ gacha aniqlikda avtomatik ravishda aniqlanadi. Uning trubkasidagi namuna hajmi $\sim 2 \text{ sm}^3$ bo'lib, har bir konsentratsiya uchun tajribalar 3 martadan takrorlandi.

Barcha o'lchashlar xona temperaturasida ($T \approx 24 \pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$) amalga oshirildi. Tajribada tayyor eritma namunalari ma'lum bosqichlarda qorong'u xonada TC-1/80 markali termostatda (Rossiya) $24 \text{ }^\circ\text{C}$ saqlandi.

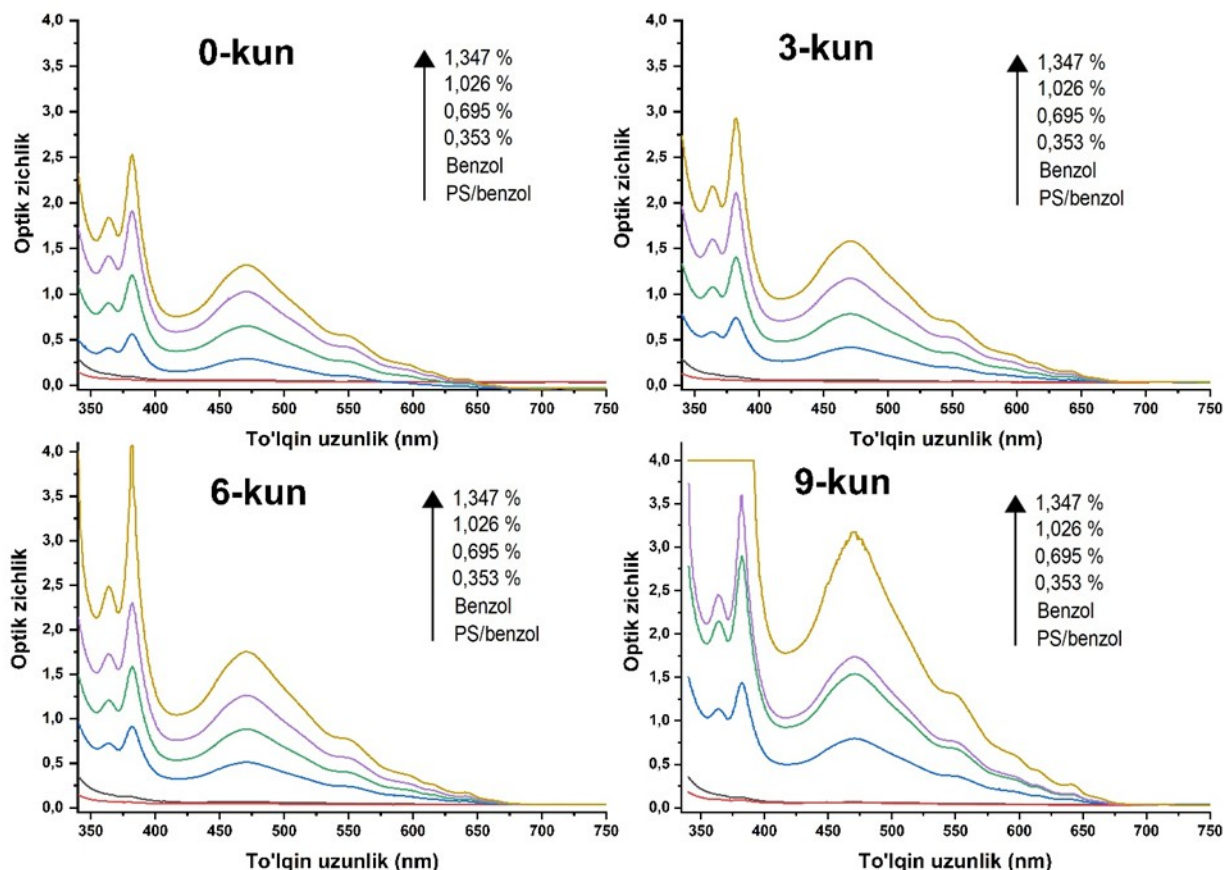
Natijalar va ularning muhokamasi

Eritmalar bilan ishlashda uning asosiy fizik xususiyatlarini o'rganish uchun uning UV-Vis yutilish spektrlarini olish juda muhim hisoblanadi. Bunda uning elektromagnit nurlanishni qanday yutishini baholab, eritmaning elektron xususiyatlari, konsentratsiyasi, agregatsiya holati va molekulalararo ta'sirlar haqida ma'lumot olish imkoni mavjud.

1-rasmda benzol, PS/benzol va turli konsentratsiyadagi PS/C₇₀/benzol eritmalarining saqlash muddatiga bog'liq holda UV-Vis yutilish spektrlaridagi o'zgarishlar keltirilgan. Grafikdan benzol va polistirol eritmaları juda shaffof bo'lib, tekshirilayotgan yorug'lik diapazonida elektromagnit to'liqinni deyarli yutmaydi. PS ning yutilish spektrida xarakterli cho'qqilar $\sim 250\text{-}300 \text{ nm}$ sohada hosil bo'ladi [23]. R.V. Bensasson va boshqalar [24] tomonidan olingan natijalarga ko'ra C₇₀ fulleren uchun $\sim 381 \text{ nm}$ (benzol), $\sim 377 \text{ nm}$ (geksan), $\sim 382.6 \text{ nm}$ (toluol) da yutilish maksimumlari kuzatilgan, N.A. Marfunin va boshqalarning ishlarida [25] C₇₀ ning toluoldagi eritmasida yutilish spektri maksimumlari $\sim 365 \text{ nm}$, $\sim 383 \text{ nm}$ va $\sim 473 \text{ nm}$ qiymatlarda keltirilgan. Shuningdek, J.P. Hare va boshqalarning tadqiqotlarida [26] C₇₀ ning benzoldagi eritmalarining yutilish spektri maksimumlari $\sim 360 \text{ nm}$, $\sim 378 \text{ nm}$, $\sim 468 \text{ nm}$ ekanligi keltirilgan. Bizning tajribalarda C₇₀ fullerenga xos elektron o'tishlarga mos yutilish cho'qqilari $\sim 364 \text{ nm}$, $\sim 382 \text{ nm}$, $\sim 471 \text{ nm}$ to'liq uzunliklarda kuzatildi (1-rasm), bu polistirol ta'sirida yutilish spektri cho'qqisi biroz "qizil siljish" namoyon etganligi bilan bog'liq. Fulleren molekulalari, ayniqsa C₇₀, π -konjugatsiyalangan tizimga ega bo'lib, bu tizimda elektronlar erkin harakatda bo'ladi va fotonlar bilan ta'sirlashganda π - π o'tishlar yuzaga keladi. π - π o'tishlar - bu π bog'lanish orbitalidan anti-bog'lanish orbitaliga elektron sakrashni bildiradi. Shu jihatdan, ushbu yutilish cho'qqilarini quyidagicha izohlash mumkin. $\sim 364 \text{ nm}$, $\sim 382 \text{ nm}$ dagi cho'qqilar - asosiy elektron o'tishlar ya'ni molekuladagi elektron past energiyali holatdan yuqori energiyali holatga o'tadi, bu esa C₇₀ ning optik faol

zonasini belgilaydi. 471 nm to‘lqin uzunligidagi cho‘qqi esa molekula ichidagi nisbatan past energiyali π - π o‘tishni bildiradi va bu qism C_{70} ning fotofizik va fotokimyoviy jihatini xarakterlaydi.

PS/ C_{70} /benzol eritmasining dastlab tayyorlangan holatida C_{70} fulleren konsentratsiyasi oshib borishi bilan (0.353%, 0.695%, 1.026% va 1.347%) yutilish intensivligi ortib, asosiy spektral cho‘qqilar ~ 0.5 –2 nm oralig‘ida elektromagnit to‘lqinning o‘sib borish yo‘nalishiga (qizil tomoniga) siljishi kuzatildi. Bunga sabab, konsentratsiya ortishi bilan molekulalararo o‘zaro ta’sirlar (agregatlanish, π - π stacking) kuchayganligi hisoblanadi.



1-rasm. Turli konsentratsiyali PS/ C_{70} /benzol eritmalarini optik yutilish spektrlarining vaqt o‘tishi bilan o‘zgarish evolyutsiyasi.

Shuni ta’kidlash joizki, eritmani saqlash vaqti ortishi bilan (3-, 6- va 9-kunlarda) o‘lchangan PS/ C_{70} /benzol eritmalarining yutilish spektrlari umumiy shaklini saqlab qolgan (1-rasm). Shunga qaramay, spektral cho‘qqilarning intensivligi ortishi va kengayishi kabi ba’zi o‘zgarishlar kuzatilgan. Ushbu o‘zgarishlarning asosiy sabablari sifatida fullerenga ega zarrachalarning agregatlashuvi (bir-biriga birikib agregatlar hosil qilishi), eritmadagi barqarorlikning kamayishi va vaqt o‘tishi bilan erkin harakatdagi molekulalarning taqsimlanishi yoki holati o‘zgarishlarini keltirish mumkin. Ayniqsa 9-kun natijalarida yutilish sohasi ancha kengaygan bo‘lib, bu erigan modda molekulalari

bir-biriga birikib yiriklashgan holatga o'tganligidan dalolat beradi. Bundan tashqari, garchi polistirolning xarakterli cho'qqilari sohada ko'rinmasada, polistirol matritsasi va C_{70} ning agregatsiyalanishi yutilish spektrining kengayishi yoki intensivlik ortishiga ta'sir qilgan bo'lishi mumkin.

Bilamizki, turli konsentratsiyali aralashmalarning nur sindirish ko'rsatkichi (n) dagi o'zgarishlar erituvchi va erigan moddalar molekulalari orasidagi o'zaro ta'sirlar haqida muhim ma'lumot beradi.

Eritmani saqlash vaqti	C_{70}/benzol	PS/benzol	$PS/C_{70}/\text{benzol}$ (C_{70} ning massa ulushi, %)			
			0.353	0.695	1.026	1.347
0-kun	1,5001	1,4996	1,4998	1,4999	1,5000	1,5002
3-kun	1,5002	1,5002	1,5003	1,5003	1,5004	1,5005
6-kun	1,5007	1,4972	1,4997	1,5008	1,5007	1,4997
9-kun	1,5024	1,5019	1,5022	1,5025	1,5025	1,5026

1-jadval. C_{70}/benzol , PS/benzol va turli konsentratsiyali $PS/C_{70}/\text{benzol}$ eritmalari nur sindirish ko'rsatkichlarining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi

Toza holatdagi benzol va polistirolning nur sindirish ko'rsatkichi mos ravishda 1,4990 [27] va 1.60 [28] ga teng. 1-jadvalda PS/benzol o'lchangan nur sindirish ko'rsatkichi yangi tayyorlanganda 1.4996 ga teng bo'ldi. Bu esa polistirolning benzol eritmasidagi erishi va eritmaning umumiy optik zichligiga qo'shimcha ta'siri natijasida yuzaga keladi. Nur sindirish qiymatlari 3-kunga kelib ortdi (1.5002) va 6-kunda esa PS/benzol nur sindirish ko'rsatkichi keskin tushdi (1.4972). Keyingi, 9-kundagi o'lchashlarada esa n qiymati keskin oshib, 1.5019 ga teng bo'ldi. Bu jarayonlardagi keskin tushishga ehtimol molekulalarning tartibsiz joylashuvi va eritmaning muvozanatsiz holati sabab bo'lishi mumkin, keyingi 3 kundagi keskin o'sishni esa strukturaviy tartiblanishning yakunlanishi bilan izohlash mumkin.

C_{70}/benzol eritmasining n qiymati esa 1.5001 dan 1.5024 gacha uzluksiz ortib bordi. Bunga sabab, C_{70} fulleren molekulalari benzolda sekinlik bilan tartiblanib, optik zichlik ortayotgan bo'lishi mumkin.

$PS/C_{70}/\text{benzol}$ eritmalarida esa, yangi tayyorlangan eritmalarida C_{70} massa ulushi oshishi bilan nur sindirish ko'rsatkichlari ham katta qiymatga ega bo'ldi. 3-kundagi o'lchashlarda nur sindirish ko'rsatkichi mos ravishda ortib bordi. 6- va 9-kunlarda 0.695% va 1.026% konsentratsiyali eritmalarining nur sindirish ko'rsatkichlari 1.5024 va 1.5025 ga yetgunga qadar uzluksiz ortdi, ammo, ulardan farqli ravishda 0.353% va 1.347% konsentratsiyali eritmalarining nur sindirish ko'rsatkichlari avval bir xil qiymatgacha tushdi (1.4997) va keyin ko'tarilib o'zining eng yuqori qiymatlariga (1.5022 va 1.5026) erishdi. Bu jarayonlarda n qiymati pasayishi ehtimol eritmada diffuziya jarayonlari turlicha kechgani yoki agregatsiya jarayonlarida sistema zichligining kamayishi sababli yuzaga kelishi

mumkin. 9-kunga kelib eritmalarning barchasida kechgan molekulalararo o'zaro ta'sirlar, fulleren molekulalarining o'z-o'zidan tashkillanish (self-organization) jarayonlari va polistirol molekulalari bilan yuzaga keladigan o'zaro ta'sirlar natijasida eng katta nur sindirish ko'rsatkichi qiymatlariga ega bo'ldi.

2-jadval. C_{70} /benzol, PS/benzol va turli konsentratsiyali PS/ C_{70} /benzol eritmalarini zichlik qiymatlarining vaqt o'tishi bilan o'zgarishi

Eritmani saqlash vaqti	C_{70} /benzol	PS/benzol	PS/ C_{70} /benzol (C_{70} ning massa ulushi, %)			
			0.353	0.695	1.026	1.347
0-kun	872,63	874,20	874,10	873,40	872,55	871,93
3-kun	874,43	874,73	874,87	874,70	874,60	873,67
6-kun	874,60	871,17	873,17	874,40	875,30	874,73
9-kun	878,10	879,37	878,10	878,83	878,67	878,77

2-jadvalda tayyorlangan eritmalarning vaqt o'tishi bilan zichlik qiymatlaridagi (ρ) o'zgarishlar keltirilgan. PS/ C_{70} /benzol eritmalarining boshlang'ich ρ qiymatlari C_{70} ning massa ulushi ortishi bilan pasayishi namoyon qiladi. Bunga sabab sifatida C_{70} molekulalarining polimer zanjirlari orasida hali to'liq dispersiyalanmaganligi va eritmaning zichligi har bir nuqtasida bir xilda emasligini keltirishimiz mumkin. 3-kun saqlangandan keyin barcha eritmalarda zichlikning o'sishi kuzatiladi. Bu holat, eritma ichidagi molekulalar o'rtasida molekulalararo o'zaro ta'sirlarning kuchayishi bilan izohlanadi. Ayniqsa, C_{70} fullerenga ega eritmalarda dispersiyalanish jarayoni vaqt o'tishi bilan yaxshilangani seziladi. Keyingi o'lchashlarda (6-kun) PS/benzol eritmasida zichlik keskin kamaygan (871.17 g/cm³), bunga sabab eritmaning munozanatsiz holati bo'lishi mumkin. Biroq C_{70} ni o'z ichiga olgan eritmalarda bu kabi keskin pasayish kuzatilmadi. Aksincha, to'yingan yoki dispers muvozanat holatlari kuzatildi, bu esa fullerenga ega eritmalarda fazoviy barqarorlikning shakllanishiga ishora qiladi. 9-kunga kelib barcha eritmalarda, ayniqsa C_{70} konsentratsiyasi yuqori bo'lganlarda (1.026% va 1.347%), zichlik maksimal qiymatlariga yetadi. Bu holat, ehtimol, komponentlar o'rtasida kompleksli agregatsiyalar shakllanishi natijasidir. Natijada eritmalarning fizik-kimyoviy turg'unligi ortdi. Qayd etish kerakki, eritmalarning zichlik qiymatlaridagi kuzatilgan o'zgarishlar nur sindirish qiymatlaridagi o'zgarishlar bilan mos tushadi.

Xulosa

O'tkazilgan UV-Vis spektroskopik tahlillar natijasida PS/ C_{70} /benzol aralashmalarida ~364 nm, ~382 nm va ~471 nm da yutilish maksimumlari qayd etildi. Ushbu cho'qqilar C_{70} fullerenga xos bo'lib, π -konjugatsiyalangan tizimdagi π - π elektron o'tish jarayonlari bilan bog'liq. Bu holat C_{70} fullerenga xos optik va fotofizik xususiyatlarning shakllanishi hamda polistirol va erituvchi ta'sirida

yuzaga kelgan spektral xususiyatlarini ifodalaydi. Eritmada fulleren konsentratsiyasi va uni saqlash muddati ortishi bilan yutilish spektrlaridagi xarakterli cho‘qqilarning kam miqdorda qizilga siljishiga va yutilish intensivligining oshishiga olib kelishi aniqlandi.

Tayyorlangan eritmalarining konsentratsiyasi va saqlash muddati nur sindirish ko‘rsatkichiga ta’sir qilishi aniqlandi va eritmalarda nur sindirish ko‘rsatkichi vaqt o‘tishi bilan molekulalarning tartiblanishi va o‘zaro ta’sirlari natijasida o‘zgarib, 9-kunda maksimal qiymatlarga yetgani kuzatildi.

Eritmalarda vaqt o‘tishi bilan zichlikning ortishi molekulalararo o‘zaro ta’sirlar va agregatsiyalanish jarayonlari bilan bog‘liqligi aniqlandi. C₇₀ fullerenga ega eritmalarda boshlang‘ich bosqichda dispersiyalanish sust bo‘lsada, vaqt o‘tishi bilan eritma komponentlari o‘rtasida barqaror va zichroq muhit shakllandi. Olingan natijalar keyinchalik polistirol matritsasi va fulleren molekulalaridan iborat yupqa qatlam hosil qilishning optimal usullarini topishda muhim hisoblanadi.

Ushbu ish O‘zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi tomonidan belgilab berilgan ilmiy-tadqiqotlar doirasida amalga oshirilgan

Adabiyotlar

1. Kausar, A. (2023). Polymeric nanocomposite with polyhedral oligomeric silsesquioxane and nanocarbon (fullerene, graphene, carbon nanotube, nanodiamond)—Futuristic headways. Polym-Plast Tech Mat., 62(7), 921-934. <https://doi.org/10.1080/25740881.2022.2164724>
2. Musa, A.A., Bello, A., Adams, S.M., Onwualu, A.P., Anye, V.C., Bello, K.A., Obianyo, I.I. (2025). Nano-enhanced polymer composite materials: a review of current advancements and challenges. Polymers, 17(7), 893. <http://doi.org/10.20944/preprints202407.2057.v2>
3. Kausar, A. (2022). Polymer/fullerene nanocomposite coatings—Front line potential. Emerg. Mater., 5(1), 29-40. <http://doi.org/10.1007/s42247-022-00360-4>
4. Bakhramov, S.A., Kokhkharov, A.M., Makhmanov, U.K. (2018). Thin semiconductor films of fullerene C₇₀ nanoaggregates on the surface of a plane glass substrate. Appl. Sol. Energy, 54(3), 164-167. <http://doi.org/10.3103/S0003701X18030052>
5. Giusca, C., Baibarac, M., Lefrant, S., Chauvet, O., Baltog, I., Devenyi, A., Manaila, R. (2002). C₆₀-polymer nanocomposites: evidence for interface interaction. Carbon, 40(9), 1565-1574. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(02\)00024-6](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00024-6)

6. Gradzka, E., Wysocka-Zolopa, M., Winkler, K. (2020). Fullerene-based conducting polymers: n-dopable materials for charge storage application. *Adv. Energy Mater.*, 10(40), 2001443. <http://doi.org/10.1002/aenm.202001443>
7. Dattani, R., Cabral, J.T. (2015). Polymer fullerene solution phase behaviour and film formation pathways. *Soft Matter*, 11(16), 3125-3131. <https://doi.org/10.1039/C5SM00053J>
8. Giacalone, F., Martin, N. (2006). Fullerene polymers: synthesis and properties. *Chem. Rev.*, 106(12), 5136-5190. <https://doi.org/10.1021/cr068389h>
9. Makhmanov, U.K., Kokhkharov, A.M., Bakhramov, S.A., Esanov, S.A., Erts, D. (2022). Self-assembly of C₆₀ fullerene molecules in the hexane–xylene solvent system. *Fuller. Nanotub. Car. N.*, 30(1), 80-84. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2021.1992390>
10. Alekseeva, O.V., Bagrovskaya, N.A., Noskov, A.V. (2016). Sorption of heavy metal ions by fullerene and polystyrene/fullerene film compositions. *Prot. Met. Phys. Chem.*, 52(3), 443-447. <http://doi.org/10.1134/S2070205116030035>
11. Bieliatynskiy, A., Bakulich, O., Trachevskiy, V., Ta, M. (2025). Production of carbon nanotubes as composite material modifiers using nanotechnology. *Fuller. Nanotub. Car. N.*, 33(5), 538-549. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2024.2428696>
12. Latif, Z., Ali, M., Lee, E.J., Zubair, Z., Lee, K.H. (2023). Thermal and mechanical properties of nano-carbon-reinforced polymeric nanocomposites: a review. *J. Compos. Sci.*, 7(10), 441. <https://doi.org/10.3390/jcs7100441>
13. Bakhramov, S.A., Makhmanov, U.K., Aslonov, B.A. (2023). The synthesis of C₇₀ fullerene nanowhiskers using the evaporating drop method. *Condens. Matter*, 8(3), 62. <https://doi.org/10.3390/condmat8030062>
14. Nasir, A., Kausar, A. (2015). A review on materials derived from polystyrene and different types of nanoparticles. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 54(17), 1819-1849. <https://doi.org/10.1080/03602559.2015.1038838>
15. Kausar, A. (2017). Advances in polymer/fullerene nanocomposite: a review on essential features and applications. *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 56(6), 594-605. <https://doi.org/10.1080/03602559.2016.1233278>
16. Wang, D., Russell, T.P. (2018). Advances in atomic force microscopy for probing polymer structure and properties. *Macromolecules*, 51(1), 3-24. <https://doi.org/10.1021/acs.macromol.7b01459>
17. Koçer Kızılduman, B. (2025). Effect of fullerene (C₇₀) on the structural, morphological optical and thermal properties of poly (butyl methacrylate) (PBMA). *Fuller. Nanotub. Car. N.*, 33(3), 275-287. <https://doi.org/10.1080/1536383X.2024.2416996>

18. Roncali, J., Leriche, P., Blanchard, P. (2014). Molecular materials for organic photovoltaics: small is beautiful. *Adv. Mater.*, 26(23), 3821-3838. <https://doi.org/10.1002/adma.201305999>
19. Polotskaya, G.A., Gladchenko, S.V., Zgonnik, V.N. (2002). Gas diffusion and dielectric studies of polystyrene-fullerene compositions. *J. Appl. Polym. Sci.*, 85(14), 2946-2951. <http://doi.org/10.1002/app.10906>
20. Baleizão, C., Nagl, S., Borisov, S.M., Schäferling, M., Wolfbeis, O.S., Berberan-Santos, M.N. (2007). An optical thermometer based on the delayed fluorescence of C₇₀. *Chem. Eur. J.*, 13(13), 3643-3651. <https://doi.org/10.1002/chem.200601580>
21. Chavez-Pirson, A. (1994). Linear and nonlinear optical properties in fractional-layer-superlattice quantum wires. *Proc. NLO 1994*. <https://doi.org/10.1109/NLO.1994.470850>
22. Gatsouli, K., Pispas, S., Mousdis, G., Vainos, N., Aloukos, P., Xenogiannopoulou, E., & Couris, S. (2005). Nonlinear optical properties of fullerene-organic glassy polymer composites. *Glass technology*, 46(2), 62-66.
23. Li, T., Zhou, C., Jiang, M. (1991). UV absorption spectra of polystyrene. *Polymer Bulletin*, 25(2), 211-216. <http://doi.org/10.1007/BF00310794>
24. Bensasson, R.V., Hill, T., Lambert, C., Land, E.J., Leach, S., Truscott, T.G. (1993). Triplet state absorption studies of C₇₀ in benzene solution. *Chem. Phys. Lett.*, 206(1-4), 197-202. [https://doi.org/10.1016/0009-2614\(93\)85541-U](https://doi.org/10.1016/0009-2614(93)85541-U)
25. Marfunin, N.A., Mchedlov-Petrosyan, N.O. (2019). Behavior of fullerene C₇₀ in binary organic solvent mixtures as studied using UV-vis spectra and dynamic light scattering. *Kharkov Univ. Bull. Chem. Ser.*, (33), 77-87. <https://doi.org/10.26565/2220-637X-2019-33-06>
26. Hare, J.P., Kroto, H.W., Taylor, R. (2013). Reprint of: Preparation and UV/visible spectra of fullerenes C₆₀ and C₇₀. *Chem. Phys. Lett.*, 589, 57-60. <https://doi.org/10.1016/j.cplett.2013.08.068>
27. Sylvester-Hvid, K.O., Mikkelsen, K.V., Ratner, M.A. (1999). Refractive indices of molecules in vapor and liquid: Calculations on benzene. *J. Phys. Chem. A*, 103(42), 8447-8457. <https://doi.org/10.1021/jp983328b>
28. Smith, C.P., Fritz, D.C., Tirrell, M., White, H.S. (1991). Phase measurement interferometric microscopy of thin films: Analysis of topography, refractive index, and thickness of solvent swollen polystyrene films. *Thin solid films*, 198(1-2), 369-386. [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(91\)90355-2](https://doi.org/10.1016/0040-6090(91)90355-2)