

**ION-PLAZMA VA LAZER TEXNOLOGIYALARI INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI O‘ZBEKISTON MILLIY
UNIVERSITETI**

ZAXIDOVA MAVLYUDA ABDUKARIMOVNA

**ZARYADLANMAGAN ATOM VA MOLEKULALARNING SHAFFOF
QATTIQ JISM SIRTI BILAN O‘ZARO TA‘SIRINING RAMAN-
SPEKTROSKOPIYASI**

01.04.05 – Optika

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

TOSHKENT – 2024

Doktorlik (DSc) dissertatsiyasi avtoreferati mundarijasi
Оглавление автореферата докторской (DSc) диссертации
Contents of the Doctoral (DSc) Dissertation Abstract

Zaxidova Mavlyuda Abdukarimovna

Zaryadlanmagan atom va molekulalarning shaffof qattiq jism sirti bilan
o‘zaro ta‘sirining Raman-spektroskopiyasi..... 3

Захидова Мавлюда Абдукаримовна

Раман-спектроскопия взаимодействия незаряженных атомов и молекул с
поверхностью прозрачного твёрдого тела.....25

Zaxidova Mavluda Abdukarimovna

Raman-spectroscopy of the interaction of non-charged atoms and molecules
with transparent solid surfaces.....49

E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati

Список опубликованных работ

List of published works..... 59

**ION-PLAZMA VA LAZER TEXNOLOGIYALARI INSTITUTI
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

**MIRZO ULUG‘BEK NOMIDAGI O‘ZBEKISTON MILLIY
UNIVERSITETI**

ZAXIDOVA MAVLYUDA ABDUKARIMOVNA

**ZARYADLANMAGAN ATOM VA MOLEKULALARNING SHAFFOF
QATTIQ JISM SIRTI BILAN O‘ZARO TA‘SIRINING RAMAN-
SPEKTROSKOPIYASI**

01.04.05 – Optika

**FIZIKA-MATEMATIKA FANLARI DOKTORI (DSc) DISSERTATSIYASI
AVTOREFERATI**

TOSHKENT – 2024

Doktorlik (DSc) dissertatsiyasi mavzusi O‘zbekiston Respublikasi oliy ta’lim fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.DSc/FM242 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Dissertatsiya Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy Universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o‘zbek, rus, ingliz (xulosa)) Ilmiy kengashning web- sahifasida (www.iplt.uz) va “ZiyoNet” Axborot-ta’lim portaliga (www.ziynet.uz.) joylashtirilgan.

Ilmiy maslahatchi:

Nematov Sherzod Qalandarovich

Fizika-matematika fanlari doktori, professor

Rasmiy opponentlar:

Mamadalimov Abdug‘afur Teshaboyevich

fizika-matematika fanlari doktori, akademik

Raxmatullayev Ilyos Arzimurodovich

fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

Maxmanov Urol Kudratovich

fizika-matematika fanlari doktori, katta ilmiy xodim

Yetakchi tashkilot:

Toshkent davlat texnika universiteti

Dissertatsiya himoyasi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti huzuridagi “DSc.02/30.12.2019.FM.65.01” raqamli Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengashning 2024-yil “_29_”_may__soat_14.30__dagi majlisida bo‘lib o‘tadi (Manzil: 100125 Toshkent shahri, Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 33uy. Tel./Faks: (+99871) 262-32-54, 262-31-69, e- mail: info@iplt.uz, Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti majlislar zali).

Dissertatsiya bilan Ion-plazma va lazer texnologiyalari institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkun (№__raqami bilan ro‘yxatga olingan). Manzil: 100125 Toshkent shahri, Do‘rmon yo‘li ko‘chasi, 33-uy. Tel.: (+99871) 262-31-69.

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil “___” _____kuni tarqatildi.

(2024-yil “___” _____dagi №__raqamli reyestr bayonnomasi).

X.B.Ashurov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash raisi, t.f.d. professor

I.D.Yadgarov

Ilmiy darajalar beruvchi kengashning ilmiy kotibi, f.m.f.d., professor

U.K. Maxmanov

Ilmiy darajalar beruvchi kengash qoshidagi ilmiy seminar raisi, f.m.f.d., kat.i.x.

KIRISH (Doktorlik dissertatsiyasi (DSc) annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.

Hozirgi kunda, gaz oqimlarini boshqarish va turli moddalarning sirtiga ishlov berishga asoslangan yangi ishlanmalar butun dunyo bo'ylab ishlab chiqarishga keng va faol joriy qilinayotgan bir vaqtda, atomlar va molekulalarning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirining fizikaviy xususiyatlarini aniqlash, samarali mexanizm sifatida bu kabi muammolarni hal etishda muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega bo'lmoqda. Bu holat lazer nuri ta'sirida sirdagi boshqariladigan kimyoviy reaksiyalarni va qattiq jism sirtida avvaldan aniqlangan parametrarga ega bo'lgan o'ta yupqa qatlamlarni hosil qilish, gaz oqimlarini boshqarish imkoniyatlarini yaratish bilan bog'liq. Bugungi kunda molekulyar va atomar oqimlaridan foydalanish, o'ziga xos sirt xususiyatlariga ega bo'lgan materiallarni ishlab chiqish va sirtini qayta ishlashda yangi sifat darajasiga erishishga imkon berdi.

Hozirda, butun dunyoda sirtga ishlov berish bo'yicha yangi texnologiyalar, shu jumladan, unda nanofizikaviy xossalarni shakllantirish, atom va molekulalar oqimini sirt bilan o'zaro ta'siriga asoslangan holda boshqarish usullarini yaratish hamda keng qo'llash, innovatsiyalarning ustuvor yo'nalishlardan biriga aylandi. Shu bilan birga, sohada sirtga ishlov berish bo'yicha lazer metodlari va nanotexnologiyalar keng qo'llanilmoqda. Ushbu yo'nalishda, jumladan, zaryadlanmagan atom va molekulalarni shaffof qattiq jism sirti bilan ta'sirining raman spektroskopiyasini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar ham ustivor hisoblanmoqda. Bunda, molekulalar (atomlar) va qattiq jism sirti orasidagi o'zaro ta'sir kuchini lazer nurlanishining intensivligini o'zgartirish orqali boshqarib, bu molekulalar (atomlar)ning ingichka shisha kapillyarlar va mayda g'ovak shishali filtrlar orqali oqimini (diffuziyasini) nazorat qilish mumkin. Bu holda, lazer nurlanishida qo'llaniladigan prinsipial yangilik, bu atom (molekula) yutilishi to'lqin uzunligiga mos lazer nurlanishi rezonans to'lqin uzunligini aniq tanlash orqali molekulalarni selektiv ajratish mumkinligidadir.

O'zbekistonda ham kimyoviy kataliz va moddalarga ishlov berishda ishlatiladigan yangi texnologiyalarning yaratilishi bilan bog'liq, atom va molekulalarning sirt bilan o'zaro ta'sirining noyob xossalarni o'rganish borasida fundamental hamda amaliy tadqiqotlar tizimli ravishda amalga oshirilmoqda. Bu sohada so'nggi yillarda, yuqori intensivlikka ega bo'lgan monoxromatik lazer nurining qattiq jism sirti xossalari va murakkab molekulyar tizimlarga ta'siri hamda ularda kuzatiladigan modda tuzilishidagi o'zgarishlarni aniqlash borasidagi tadqiqotlar ilmiy izlanish va ishlanmalarning negizini tashkil qilmoqda.

Ushbu dissertatsiya ishi O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2017-yil 17-fevralidagi № PQ-2789-sonli "Fanlar akademiyasi faoliyati, ilmiy tadqiqot ishlarini tashkil etish, boshqarish va moliyalashtirishni yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida", 2022-yil 28-yanvaridagi № PQ-60-sonli "2022-2026-yillarga mo'ljallangan "Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to'g'risida", shuningdek, 2019-yil 22-avgustidagi № PQ-4422-sonli "Iqtisodiyot tarmoqlarni va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejovchi

texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarorlarida ko'zda tutilgan ilmiy-texnik vazifalarni hal qilishga qaratilgan.

Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi. Ushbu dissertatsiya doirasidagi tadqiqotlar O'zbekiston respublikasida fan va texnologiyalarni rivojlantirishning II. "Fizika, astronomiya, energetika va mashinasozlik" fundamental tadqiqotlar dasturining ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi. Molekulalar va atomlarning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'siri hamda lazer nurlanishi ta'sirida geterogen muhitda sirtiy hodisalarini boshqarish bo'yicha tadqiqotlar yetakchi markazlar va oliy o'quv yurtlarida olib boriladi, jumladan: Institute of Light Physics (Germaniya), University of California, Berkeley (AQSh), Nagoya University (Yaponiya), Leiden University (Niderlandiya), Institute of Nanotechnology and Photonics (AQSh), Hanyang University (Janubiy Koreya), Tsinghua University (Xitoy), Xaddersfild universiteti (Buyuk Britaniya), Maks Plank sirt fizikasi instituti (Germaniya), Umumiy fizika instituti (Rossiya), A.F.Ioffe nomli Fizika va texnologiya instituti (Rossiya), O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti hamda dunyoning bir qator boshqa ilmiy markazlarida amalga oshirilmoqda. Germaniyadagi "Yorug'lik fizikasi" institutida lazer nurlanishining materiallar, shu jumladan, g'ovakli shishalar bilan o'zaro ta'siri bo'yicha, Kaliforniya universiteti, Berkli AQShda esa fotokimyoviy jarayonlar va sirt hodisalariga lazer nurlanishining ta'sirini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda.

Molekulalarning (atomlarning) sirt bilan o'zaro ta'siri V.Kinga, (AQSH), K.Vada (Yaponiya), N.V.Karlov (Rossiya) va boshqalarning ilmiy guruhlarida o'rganilgan. So'nggi yillarda ushbu ilmiy muammo V.Bortolani (Italiya), I.V.Olenich (Ukraina) va boshqa bir qator tadqiqotchilarning ishlarida o'rganilgan. "Molekulalar + sirt" tizimida, shu jumladan, yorug'likning rezonansli ta'sirida kuzatiladigan raman sochilishi bilan bog'liq fizik jarayonlar P.J.Xendraning (Buyuk Britaniya) ko'p sonli ishlarida o'rganilgan¹.

Bugungi kunda ushbu sohadagi bir qator dolzarb muammolar o'z yechimini qisman topgan, xususan, yorug'lik maydonida molekulalarning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirining qutblanish mexanizmi nazariy jihatdan o'rganilgan.

1980-yillarda Rossiya Fanlar Akademiyasining Umumiy fizika institutida f.-m.f.d. Y.N.Petrov rahbarligida yupqa shisha kapillyarlar yordamida brom

¹Dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy ilmiy tadqiqotlar sharhi: Chen S., Liu Y., Shao C., Mu R., Lu Y., Zhang Y., Shen D., Fan X. Structural and optical properties of uniform ZnO nanosheets //Advanced Materials, 2005. Vol. 15. No 5. – P. 586-590; King F.W., Van Duyne R.P., Schatz G.C. Theory of Raman scattering by molecules adsorbed on electrode surfaces // J.Chem. Phys., 1978. Vol. 69. No 10. – P. 4272-4281; Bortolani V., March N.H., Tosi M.P. (Eds.). Interaction of atoms and molecules with solid surfaces // Springer Science and Business Media, 2013. – P. 665; Olenych I.B., Monastyrskii L.S., Aksimentyeva O.I., Sokolovskii B.S. Effect of bromine adsorption on the charge transport in porous silicon-silicon structures // Electronic Materials Letters, 2013. Vol. 9. No. 3. – P. 257-260 hamda www.scopus.com, www.nature.com, www.sciencedirect.com, Web of Science va boshqa manbalar asosida olib borildi.

molekulalari oqimini boshqarish hamda bunday jarayonlarning fizik mexanizmlarini rivojlantirish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan.

Muammoning o'rganilganlik darajasi. Yorug'lik maydonida atom va molekulalarning qattiq jism sirti bilan ta'siri mexanizmlarini o'rganish modda sirtidagi fizik jarayonlarning fundamental asoslarini, shu jumladan, yangi turdagi texnologiyalar va moddalar ishlab chiqish imkoniyatini yaratadi. N.V.Karlovning ishlarida lazer nuri ta'sirida g'alayonlantirilgan selektiv molekulyar jarayonlarni o'rganish orqali moddalar va izotoplarni ajratishda qo'llaniladigan gaz oqimlarini boshqarish, boshqariladigan diffuziya jarayonlari, bug'lanish, kataliz va atmosferaga chiqarilayotgan zararli gazlarni nazorat qilish mumkinligi ko'rsatilgan. Ammo bu ishlarda, nurning adsorbsiyalangan molekulalarga selektiv ta'siriga urg'u berilib, rezonans yorug'lik ta'sirlashish jarayonini keskin oshirishi mumkinligiga e'tibor qaratilmagan. Gazlarni ajratish jarayonida asosiy omil sifatida bu molekulalarning uyg'otilganligi va ionizatsiyasi hisoblanib, qutblanish ta'sirining energetik jihatdan samaradorliginig ortiqliciga e'tibor qaratilmagan.

Zaryadlangan zarralarining qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirini o'rganish O'zbekiston Fanlar Akademiyasi Elektronika institutida o'tgan asrning o'rtalaridan boshlab bir necha o'n yillar davomida o'rganilgan. Bunday o'zaro ta'sirning fundamental mexanizmlarini, ularni amalda qo'llanilishini o'rganishga bag'ishlangan ishlar, asosan, tezlatilgan va zaryadlangan zarralarning sirt bilan o'zaro ta'siriga qaratilgan edi. O'tgan asrning 80- va 90-yillarida O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasining Issiqlik fizikasi bo'limida (S.A.Baxramov, M.A.Kasimdjanov, A.A.Zaxidov) optik muhitlarning fizikasi, xususan, elektro-optik va nochiziqli-optika xossalari o'rganish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan, bunda keng diapazonli to'lqin uzunliklarida yutilish spektoriga ega bo'lgan shaffof moddalar (kvars va ko'p komponentli shishalar, optik nurlolalar, nochiziqli rezonans gazlar, molekulyar moddalar va b.) ishlatilgan. Keyingi bosqichda tadqiqotlar ancha kengaytirilgan: fullerenlar, nanotrubkalar va rux oksidining nanotizimli yupqa plyonkasi kabi yangi materiallarning nanofizikasi ham qamrab olingan (Sh.U.Yuldashev, A.M.Koxxarov, S.S.Kurbanov, U.K.Maxmanov va b.).

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi. Dissertatsiya ishi O'zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakultetining ilmiy tadqiqot ishlari rejasi O'zR FA №K-12-004 "Kompozitsion nanomateriallar: berilgan fizik xossali elementlarni ishlab chiqish va sintezlash" Fundamental Tadqiqotlar Dasturi loyihasi (2015-2017-yy.) doirasida, shuningdek, O'zR FA Issiqlik fizikasi bo'limining (bundan keyin O'zR FA Ion-plazma va lazer texnologiyalari institutining) № F2-FA-F147 "Birlamchi fotosintez jarayonlarida quyosh energiyasining yuqori samarali aylanishlarining fizik mexanizmlarini o'rganish" (2012-2016-yy.) tadqiqotlar loyihasi doirasida amalga oshirilgan, bu davrda tadqiqotchi ushbu institutning "Kondensirlangan muhitlar fizikasi" laboratoriyasida tadqiqotlar olib borishda ishtirok qilgan. Dissertatsiya tadqiqoti, shuningdek, "Radarlarning to'lqin-optik elementlarini ishlab chiqish"ga bag'ishlangan "UNTC" xalqaro loyihasini bajarish (2007-2009-yy.), "Fotosintez

jarayonlarining fluoresent xossalarini o'rganish"ga qaratilgan "INTAS" Yevropa ittifoqi Assotsiatsiyasi va Shveysariya Milliy ilmiy fondi loyihalari doirasida (2008-2009-yy.), "Murakkab biomolekulyar tizimlarning sekinlashtirilgan va o'zgaruvchan fluoressensiyasini o'rganish"ga doir fuqarolik tadqiqotlarini rivojlantirish AQSH loyihasi (CRDF) №3377 (2011-2012-yy.) doirasida bajarilgan.

Dissertatsiya ishining maqsadi "molekula (atom) + sirt" tizimidagi o'zaro ta'sirning fizik tabiatini raman sochilishi metodi yordamida aniqlash, bu ta'sirda rezonansli lazer nurlanishining rolini hamda bu tizimda fluoressensiyaning o'zgarishini, shuningdek, lazer nurlanishi yordamida shisha kapillyarlarda diffuz molekular oqimini boshqarish mumkinligini va "molekula C60+ ZnO" sirt tizimida elektron bog'lanishining paydo bo'lishini ko'rsatib berishdan iboratdir.

Tadqiqotning vazifalari:

molekulalar (atom)ning, shu jumladan, C60 fulleren molekularining, lazer nuri ta'sirida qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirini o'rganuvchi eksperimental metodlarni ishlab chiqish;

rezonans lazer nuri maydonida molekularning sirt bilan o'zaro ta'sirining raman sochilishi, rezonansli raman sochilishi yordamida kuzatish metodlarini ishlab chiqish va bu ta'sirlashish bilan bog'liq fluoressensiya xossalarini o'rganish; "molekula+sirt" tizimidagi o'zaro ta'sirini optik tolalar va tolali interferometrik qurilmalardan foydalangan holda eksperimental o'rganishning yangi imkoniyatlarini tahlil qilish;

adsorbentlarning sirt bilan o'zaro ta'sirlashuvining fizik prinsiplari qutblanish mexanizmiga asoslanishini va bu asosda ularning sirt bilan bog'lanish adsorbsion potensialining chuqurlashuvini ko'rsatish;

shaffof qattiq jism sirtiga adsorbsiyalangan molekular (atomlar)ning sirtga bog'lanish energiyasining o'zgarishi bilan raman sochilishi spektrlari o'rtasidagi o'zaro bog'liqlikni aniqlash;

kapillyar va mayda g'ovakli shisha filtrlar orqali diffuziyalanayotgan molekular oqimini rezonansli lazer nurlanishi yordamida boshqarish usulini ishlab chiqish;

raman sochilishining spektral xarakteristikalari bo'yicha C60 molekulari bilan ZnO sirti o'rtasida elektron bog'lanish yuzaga kelishini nazorat qilish imkoniyatini o'rganish.

Tadqiqot obyektlari. Dissertatsiya ishida tadqiqot obyekti sifatida shisha sirti (yupqa shisha kapillyar yoki g'ovak shisha) yuzasidagi ksenon atomlari va brom molekulari, shuningdek, ZnO plyonka sirtiga qoplangan C60 fulleren molekulari tanlab olindi. Shuningdek, atrof-muhitdagi fizik jarayonlarning murakkab biomolekular fluoressensiyasi xarakteristikalariga ta'sirini o'rganishda xlorofill va biomembranadan foydalanildi.

Tadqiqotning predmeti. Quyidagilar tadqiqot predmeti bo'ldi: zaryadlanmagan molekular (atomlar)ning shaffof jism sirti bilan o'zaro ta'sirining fizik tabiati, shu jumladan, qutblanish mexanizmi, ko'rsatilgan obyektlarning norezonans va rezonans raman sochilishi, yutilish va

fluoresensiyasi spektrlari, C60 fulleren molekulari bilan rux oksidi sirti o'rtasida lazer nuri bilan stimulyatsiyalangan kuchli o'zaro ta'sir mexanizmi, shuningdek, biomembranalardagi xlorofill molekulari fluoressensiyasi o'zgarishining fizik mohiyati.

Tadqiqot usullari. Dissertatsiya ishining eksperimental tadqiqotlarida raman, adsorbsion va fluoressent, spektroskopiya metodlaridan foydalanildi. O'rtacha quvvatga ega argon, ksenon hamda geliy-kadmiy lazerlaridan, shuningdek, neodim- granat Nd³⁺:YAG impulsli lazerdan foydalanildi. Rezonansli gaz oqimini selektiv qayd etish uchun mass-spektrometriya usulidan foydalanildi. ZnO ning nanotuzilmaviy sirtida yupqa qatlamli C60 molekulari geterotuzilmasining xossalarini va ularga lazer nurlanishining ta'sirini aniqlash uchun atom-kuch mikroskopidan hamda rentgen analizidan foydalanildi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagi natijalardan iborat:

molekulalarning (atomlarning) shaffof qattiq jism yuzasi bilan o'zaro ta'sirini kompleks analitik tadqiqotlar doirasida birinchi marta mass-spektrometriya va Raman spektroskopiyasidan foydalangan holda ushbu o'zaro ta'sirning sifat hamda miqdoriy tahlilini o'tkazish usullari ishlab chiqildi va shakllantirildi;

birinchi marta zaryadlanmagan molekularning (atomlarning) shaffof qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirini, lazer nuri ta'sirida molekula (atom)ning qutblanishidan vujudga keluvchi dipol momentining shaffof qattiq jism yuzasida shakllanadigan "ko'zguli aksi" bilan o'zaro ta'siriga asoslangan qutblanish mexanizmi asosida tavsiflash mumkinligi eksperimental tarzda isbotlandi;

brom molekulari 514,5 nm li to'liq uzunlikka ega argon lazer nuri bilan rezonansli yoritilganda molekula va sirdan iborat tizimdagi o'zaro ta'sir potensialining ko'p marta ortishi eksperimental tarzda ko'rsatildi hamda tahlil qilindi;

birinchi marta to'liq uzunligi 488,0 nm bo'lgan lazer nuri maydonida ksenon atomlarining shaffof g'ovakli qattiq jismning sirti bilan o'zaro ta'siri natijasida molekulyar bog'lanish hosil bo'lishi eksperimental tarzda ko'rsatildi va bu bog'lanish qutblanish mexanizmiga ega ekanligi tahlil qilindi hamda ushbu jarayonda raman sochilishining stoks-antistoks komponentlari spektrlari yordamida "atom+sirt" tizimidagi elektron-tebranish xossalarini ko'rsatuvchi doimiylar aniqladi va baholandi;

shaffof qattiq jism yuzasida molekularning (atomlarning) o'zaro ta'siridagi energiya o'zgarishining raman sochilishi va fluoressensiya spektrlari yordamida miqdoriy tahlil usuli ishlab chiqildi hamda ilmiy jihatdan asoslandi;

fluoressensiya va rezonansli raman sochilishi metodlari molekularning (atomlarning) sirdagi adsorbsion xususiyatlarini o'rganishning samarali vositasi ekanligi, biomembranada joylashgan xlorofill molekulari fluoressensiyasining kinetikasi esa atrof muhitdagi fizikaviy shart-sharoitlarni ularga ta'sirini baholash uchun effektiv, original yangi usul ekanligi ko'rsatildi;

nanorelefl ZnO sirtiga yotqizilgan yupqa qatlamli C60 molekularidan iborat geterostrukturani to'liq uzunligi 325 nm bo'lgan, ultrabinafsha lazer nuri bilan yoritish natijasida "molekula-sirt" tizimini o'zaro ta'sirlashishining keskin

kuchayishiga eksperimental tarzda erishildi va bu jarayon dinamikasi raman sochilishi intensivligiga qarab nazorat qilishning yangi usuli sifatida taklif qilindi;

C60 molekullari va ZnO sirtining o'zaro ta'sirlashishini ulardagi raman sochilishi hamda fluoressensiyaning spektral xususiyatlari yordamida baholash mumkinligi ko'rsatildi, xususan, raman sochilishi spektrida kuzatiladigan, chastotasi 1080 sm^{-1} bo'lgan cho'qqining "C60+ZnO" tizimidagi elektron bog'lanishning bevosita ko'rsatkichi ekanligi nazariy tahlil etildi.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

brom molekulasini va ksenon atomining shisha kapillyarlar orqali diffuziyasi o'zgarishga lazer nurlanishini ta'sirini o'rganishga doir eksperimental qurilmalar ishlab chiqildi. Bu qurilmalar molekula/atomlarning shisha sirt bilan o'zaro ta'sirining mohiyatini, shuningdek, ularga lazer nurlanishining ta'siri fizik jihatlarini o'rganish imkonini beradi;

molekullar (atomlar)ning shaffof sirt bilan qutblanuvchan o'zaro ta'siri parametrlari, shu jumladan, bunday tizimni rezonansli lazer nurlari bilan nurlantirilgandagi o'zgarishlari aniqlandi;

shaffof sirt va molekula (atom) o'rtasidagi o'zaro ta'sir kuchini, tizimdagi raman nurlanishi stoks-antistoks komponentalarining intensivligi va spektrning o'zgarishiga qarab baholashning yangi usuli yaratildi;

geterostrukturali quyosh konvertorlarining samarali ishlashi uchun muhim ahamiyatga ega bo'lgan C60 fulleren molekullari va ZnO plyonkasi yuzasi o'rtasida vujudga kelgan elektron bog'lanishni raman sochilish spektrlaridan foydalangan holda kuzatish mumkinligi birinchi marta ko'rsatib berildi;

uzluksiz va davriy rejimlarda ishlovchi lazer nurlanishi bilan ta'sir qilish natijasida fluoressensiya intensivligi hamda uning spektridagi o'zgarishlardan foydalangan holda murakkab molekullarning qattiq jism sirti (shu jumladan biomembrandagi xlorofill molekullari) bilan o'zaro ta'sirini o'rganish mumkinligi ko'rsatildi.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi norezonans va rezonans raman sochilishi lazer spektroskopiyasi, shuningdek, shisha kapillyarlarda hamda g'ovak shishadagi ikki tomoni ochiq tor kannalardan, fluoressensiya, yuqori sezgir mass-spektrometriya, rentgen analizi va atom-kuch elektron mikroskopiya metodlaridan foydalanilganligi bilan tasdiqlanadi. Lazer nurlanishi ta'sirida molekullar (atomlar) oqimlarining o'zgarishi, diffuziyaning molekulyar-kinetik nazariyasi asosida hisoblab topilgan qiymatlari bilan solishtirildi va olingan natijalarning mos kelishi ko'rsatildi. Dissertatsiya tadqiqotining eksperimental natijalari va xulosalari boshqa mualliflarning molekullar (atomlar)ning sirt bilan o'zaro ta'sirini nazariy o'rganish asosida olgan ma'lumotlariga mos keldi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.

Dissertatsiya natijalarining ilmiy ahamiyati unda zaryadlanmagan molekullar (atomlar)ning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'siri hamda uni lazer nurlanishi ta'sirida kuchaytirish, shuningdek, bu ta'sirni raman sochilishi, ayniqsa, rezonansli raman sochilishi parametrlari bo'yicha nazorat qilish mumkinligini ko'rsatuvchi ilmiy natijalardan iborat. Bunday o'zaro ta'sir umumiy xarakterga ega ekanligi va

nafaqat sirtidagi molekulalarga, balki inert gazlarning atomlariga ham taalluqli bo'lishi mumkinligi ko'rsatib berildi. "C60 + ZnO" tizimi holida "molekula-sirt" tizimidagi o'zaro ta'sirni o'rganish uning har ikkala tashkil etuvchilarining fizik-kimyoviy xossalarning juda katta xilma-xilligini aniqlashga yordam beradi. Bunday nanoo'lchamli tizimlarda raman sochilishining fizik xarakteristikalarini ularning tuzilishi va bog'lanish energiyasi to'g'risida muhim axborot olishga imkon beradi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati kapillyar va g'ovak shishalar, shuningdek, nanomateriallar qo'llanilgan geterogen yupqa qatlamli tuzilmalar asosida molekulyar va atomar oqimlarni boshqarish hamda nazorat qilishning yangi, yuqori samarali qurilmalarini, qazilma yoqilg'ilarni yonishi natijasida ajralib chiqadigan gazlarning ekologik muhitga zararli ta'sir ko'rsatadigan qismini ajratib olishning yangi usullarini yaratish imkoniyati bilan bog'liq. Sirtning unda joylashgan molekulalar (atomlar) bilan o'zaro ta'siri intensivligini nazorat qilish bo'yicha olingan natijalardan jonli obyektlarda kimyoviy va biokimyoviy reaksiyalarni kechishini nazorat qilish metodlarini ishlab chiqishda foydalanilish mumkin. C60 fulleren molekulalarining ZnO rux oksidi sirti bilan o'zaro ta'sir kuchini raman sochilishining spektral xarakteristikalarini bo'yicha baholash metodidan quyosh elementlari yasashda ishlatiladigan yangi materiallarda yorug'lik ta'sirida kuzatiladigan fizik jarayonlarni tahlil qilishda, yorug'lik ta'sirida "C60 + ZnO" tizimidagi elektron bog'lanish asosida esa yangi, samarali quyosh elementlarini yasashda foydalanish mumkin.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinganligi.

Zaryadlanmagan atom va molekulalarning shaffof qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirining Raman-spektroskopiyasini tadqiq etish natijalari asosida:

tor kapillyar tizimlar va g'ovak muhitlar orqali gaz oqimlarini boshqarish, shuningdek, shaffof sirtning unda joylashgan molekulalar (atomlar) bilan o'zaro ta'siri intensivligini nazorat qilish usullari № OT-F2-45; "Взаимодействие структурированного светового поля с нано объектами" nomli fundamental loyihaning ilmiy-texnikaviy vazifalarini bajarishda foydalanilgan (O'zbekiston respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi ma'lumotnomasi № 02/14-299-son 26.01.2024-y.). Ilmiy natijalardan foydalanish kichik to'lqin uzunlikli yorug'lik nurlanishi ostidagi shaffof dielektrik silindr sirti yaqinida silindr radiusi va yorug'lik to'lqin uzunligi nisbatiga mutanosib yorug'lik maydoni intensivligi minimumlarini kuzatish mumkinligi to'g'risida xulosa qilishga imkon bergan;

rezonansli lazer nurlanishi ta'sirida ksenon atomlari bilan qattiq jism yuzasi o'rtasida adsorbsion potensialning o'zgarishi hisobiga hosil bo'lgan bog'lanishlarni ko'rsatuvchi rezonansli raman sochilish stoks-antistoks komponentasining spektral xususiyatlaridan va majburiy lazer nurlanish ta'sirida molekulalar energiyasi o'zgarishlarining spektrlari yordamida qattiq jism sirtidagi molekulalarning kimyoviy adsorbsiyasini aniqlash metodlari №FA-Ateh-2018-17: "Yangi psixofaol moddalarning iz qoldiqlarini tezkor yuqori sezgirlik bilan aniqlashning termionli uslublarini ishlab chiqish" mavzusidagi amaliy loyihaning ilmiy texnikaviy vazifalarini bajarishda foydalanilgan (O'zRFA №2/1255-294-

sonli ma'lumotnoma 09.02.2024-y.). Ilmiy natijalardan foydalanish organik molekulalarning metal oksidi qaynoq sirtiga adsorbsiyalanishida qatlamda sodir bo'ladigan geterogen reaksiyalar jarayonida bog'lanish energiyasi o'zgarishini baholash, shuningdek, molekulalarning metal oksidlari yuzasida adsorbsiya paytidagi zaryadlarning lokallashuv markazlarini aniqlashga yordam qilgan;

nanorelefli ZnO sirtiga yotqizilgan yupqa qatlamli C60 molekulalaridan iborat geterostrukturaga to'liq uzunligi 325 nm bo'lgan ultrabinafsha nur bilan yoritish natijasida "molekula+sirt" tizimi ta'sirlashishining kuchayishiga erishilishi va bu jarayon dinamikasi o'zgarishini raman sochilishi intensivligiga qarab baholash mumkinligidan hamda raman sochilishi spektorida maksimal chastotasi 1080 cm^{-1} to'g'ri kelgan cho'qqining intensivligi "C60+ ZnO" tizimidagi o'zaro elektron bog'lanishning bevosita ko'rsatkichi ekanligi to'g'risidagi ma'lumotlardan, №OT-Ateh-2018-503 "Si, Ni va ularning ionli bombalashdagi oksidlari yuza qavatining emission hamda optik xossalari, elektron strukturasi modifikatsiyasi" loyihasini bajarishda C60 va ZnO orasidagi yupqa qatlam chegarasida (interfeysida) raman sochilishini tavsiflashda foydalanilgan (O'zbekiston respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi ma'lumotnomasi № 02/17-804-son 18.03.2024-yil). Ilmiy natijalardan foydalanish raman sochilishi va fluorensensiyaning spektral xususiyatlaridan C60 molekulalari hamda ZnO yuzasi o'rtasida vujudga kelgan o'zaro ta'sirni baholash imkoni yaratilgan.

Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi. Tadqiqotning asosiy natijalari 22 ta, shu jumladan, 13 ta xalqaro va 9 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida ma'ruza ko'rinishida bayon qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 40 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan, Oliy attestatsiya komissiyasining dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan ilmiy nashrlar ro'yhatida 15 ta maqola, jumladan, 7 tasi horijiy, 8 tasi respublika jurnallarida, 1 ta monografiya, shuningdek, tadqiqotchilar, talabalar va ilmiy xodimlar uchun 2 ta metodik qo'llanma nashr qilingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya kirish, beshta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yhatidan tashkil topgan. Dissertatsiyaning umumiy hajmi 221 bet, 43 ta rasm va 4 ta jadvaldan iborat.

DISSERTATSIYNING ASOSIY MAZMUNI

Kirish qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi asoslangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqi, tadqiqotning maqsadi, vazifalari, obyekti va predmeti aniqlangan, ishning fan va texnologiyalarni rivojlantirishning muhim yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan hamda ilmiy yangiligi, amaliy natijalari, natijalarning ishonchliligi, nazariy va amaliy ahamiyati, natijalarning amaliyotga joriy etilishi, e'lon qilinganligi, ishning tuzilishi haqidagi ma'lumotlar, dissertatsiya mavzusi bo'yicha mamlakatimizda va xorijda amalga oshirilgan ilmiy tadqiqotlar sharhi keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Molekulalar (atomlar)ning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirini lazer spektroskopiya metodlari yordamida o'rganish**" (adabiyotlar

sharhi) nomli birinchi bobida lazer nuri maydonida molekular (atomlar)ning qattiq jism sirti bilan ta'siri mexanizmlarining nazariy va amaliy tadqiqotlari natijalariga doir adabiyotlar sharxi keltirilgan. Bu sohada erishilgan yutuqlar, yechimini kutayotgan muammolar yoritilgan. Geterogen muhitda molekularning sirt bilan ta'sirini o'rganish bo'yicha tadqiqotlarning bugungi kundagi holati, ayniqsa, inert gaz ksenon va fulleren C60 molekulasining sirt bilan bog'lanishi hamda uning adsorbsiyalangan molekula spektral xarakteristikalariga ta'sirini o'rganishga qaratilgan masalalar ko'rib chiqilgan. Yorug'lik ta'sirida "molekula +sirt" tizimidagi bog'lanishlarning umumiy xarakteristikalari, ularning spektral tuzilish xususiyatlarini o'rganish bo'yicha adabiyotlarda keltirilgan ma'lumotlar tahlil qilingan.

Ekspirimental natijalarni miqdor jihatidan nisbatan to'g'ri yoritib beradigan va mavjud mexanizmlar ichida eng izchili hisoblangan o'zaro ta'sirning qutblanish mexanizmi bayon qilingan. Atomdagi elektron qobiqning yadroga nisbatan siljishi hisobiga elektr dipolning yuzaga kelishi va bu dipolning sirtga vujudga kelgan "ko'zguli aksi" orqali sirt bilan ta'sirlashishida, rezonans lazer nurining roli ochib berilgan. Bu dipollarning o'zaro ta'sirini hamda ularning sirtga nisbatan oriyentatsion qutblanishini hisobga oluvchi o'zaro ta'sir, jamoaviy tabiatga ega ekanligi ko'rsatib berilgan. Qutblanish mexanizmining vujudga kelishida, ayniqsa, molekularning sirtga yaqin joylashishi muhimligi ("molekula + sirt" tizimidagi masofa lazer nurining to'lqin uzunligi – λ dan kichik) ko'rsatib berilgan.

Molekula (atomlar)ning kapillyarlar va g'ovak shisha orqali diffuziyasiga lazer nurining ta'siri gazlar diffuziyasiga doir asosiy qonuniyatlar asosida tushuntirilib, oqimning tezligiga ta'sir qiluvchi asosiy fizik omillar asosida diffuziyani tezligini tavsiflovchi tenglamalar keltirilgan.

Berilgan xarakteristikali nanoolchamli geterotuzilmalar, uglerodli nanozarra – C60 fulleren va ZnO rux oksidi plyonkasining asosiy fizik-kimyoviy xossalari keltirilgan. C60 fulleren va ZnO rux oksidi yuqqa qatlamlari o'rtasida elektron bog'lanishning mavjud emasligi, bunday geterotuzilmalar asosida yuqori samarali elektro-optik qurilmalar yaratishga imkon bermaydi. Bunday kamchilikni bartaraf etish uchun turli fizik-kimyoviy metodlardan foydalaniladi. Ushbu bobda aynan mana shu fizik jarayonni amalga oshirish imkonini beruvchi "C60 + ZnO" tizimning raman sochilishiga oid spektrlarning xossalari bayon qilingan.

"Zaryadlanmagan molekularning (atomlarning) qattiq jism yuzasi bilan o'zaro ta'sirini o'rganishning eksperimental usullari" deb nomlangan ikkinchi bobida, raman spektrlarini qayd qilishga va gaz oqimlarini boshqarishga asoslangan qurilma tavsifi va tadqiqot obyektlarini tanlash bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

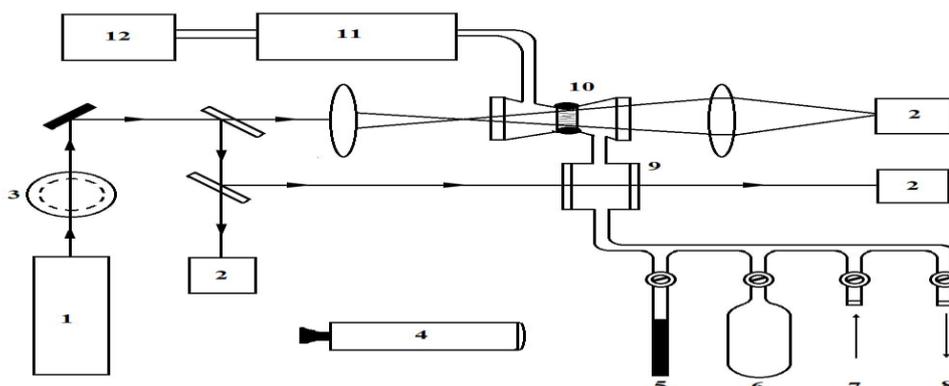
Rezonans maydon ta'sirida molekular adsorbsion potensialining ortishini aniqlash. Shisha sirtiga adsorbsiyalangan brom molekularining konsentratsiyasining lazer nuri maydonida sezilarli o'zgarishini kuzatishga imkon beruvchi eksperimentlar, rezonans yorug'lik ta'sirida sirtidagi molekularning adsorbsion potensialining ortishini ko'rsatdi. Bu eksperimentlarda gaz fazasi

(molekula) va adsorbent dinamik muvozanatga keltirilib, o'lchashlar esa stasionar sharoitlarda olib borildi.

Lazer nurlanishining brom molekulalarining mayda g'ovakli membrana orqali diffuziyasiga va g'ovak muhitda molekulalarning adsorbsiyasiga ta'siri. Lazer nurlanishi ta'sirida rezonans molekulalar oqimini g'ovakli shishalar va kapillyarlarda boshqarishga doir eksperimentlar asosida diffuziya tezligining o'zgarishiga ta'sir qiluvchi asosiy omillar, bu kanalning o'lchami, ularni tayyorlash usuli va lazer nurini kanalga samarali kiritishdan iborat ekanligi ko'rsatildi.

1-rasmda, g'ovak muhitda molekulalar adsorbsiyasi va nurlanish ta'sirida ana shunday ko'p kanalli filtr orqali o'tayotgan brom molekulalarining diffuziyasini boshqarishga oid eksperimental qurilmaning blok-sxemasi ko'rsatilgan. Eksperimentlarda nurlanish manbai sifatida quvvati ~1Vatt bo'lgan argon lazeridan foydalanildi.

Argon lazerining ($\lambda=514,5$ nm) to'liq uzunlikli nurlanishi brom molekulalarining $^1\Sigma^+_0g \rightarrow B^3\Pi^+_{ou}$ o'tishiga mos to'liq uzunlikga rezonans bo'ladi. SF₆ molekulalarining diffuziyasiga oid eksperimentlarda 10,6 μm to'liq uzunligiga, 0,2 Vatt quvvatga ega SO₂ lazer nurlanishidan foydalanildi (00⁰1-10⁰ polosaning R20 chiziqlari, ν_3 SF₆ tebranishiga rezonansda bo'ladi).



1-rasm. G'ovak muhitda molekulalar adsorbsiyasi va lazer nurlanishi ta'sirida brom molekulalarining ko'p kanalli filtr orqali o'tishiga oid eksperimental qurilmaning blok-sxemasi. 1 – argon lazer ($\lambda=514,5$ nm), 2 – fotopriyomniklar, 3 – pog'onali attenyuator, 4 – brom sathini nazorat qiluvchi kollimator, 5 – bromli trubka, 6 – ballast hajm, 7 – aralashma gazlarni yuborish, 8 – nasos, 9 – reper kyuveta, 10 – g'ovak membranali kyuveta, 11 – mass-spektrometr KM-2, 12 – elektrorazryad nasos NORD-100.

Eksperimentlarda adsorbent sifatida g'ovak shishadan tayyorlangan, juda katta – 100 m²/g ga yaqin solishtirma sirtga, g'ovaklarning hajmi 0,18 cm³/g ga yaqin, g'ovaklarning radiusi esa – 10 nm tartibida bo'lgan plastinalardan foydalanildi. Bu turdagi g'ovak shishalar maxsus kimyoviy va issiqlik ishlov berish orqali olinadi.

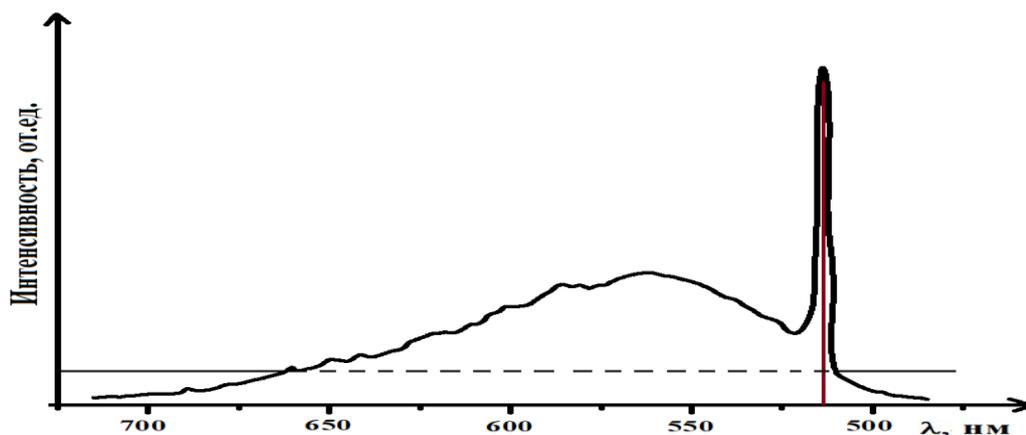
Ma'lumki, raman sochilishi spektroskopiyasi va fluoressensiyasi molekulalar (atomlar)ning shaffof qattiq moddalarning sirti bilan o'zaro ta'sirini o'rganishda samarali metod hisoblanadi, shuning uchun brom molekulalari raman

sochilishi va fluoressensiyasi hamda shisha sirtida adsorbsiyalangan ksenon atomlarining asosiy spektral-energetik xarakteristikalari shu metoddan foydalangan holda, yuqorida keltirilgan eksperimental qurilma yordamida o'rganildi. Bu eksperimentlar yorug'lik ta'sirida adsorbentlarning bog'lanish potensialining ortishi, ularning erkinlik darajalarining va tebranish xossalaridagi o'zgarishlarni raman spektridagi tegishli o'zgarishlar orqali qayd qilish imkoniyatini beradi.

Atom va molekularning nanastrukturali shaffof sirt bilan ta'sirlashishida ham ularning raman spektrida tegishli o'zgarishlar kuzatiladi, shu sababli nanomateriallarni o'rganishda bu usul samarador usul hisoblanadi.

Shaffof qattiq jism sirtidagi molekularning raman sochilish intensivligi juda kuchsiz bo'lganligi sababli, ularni o'lchash uchun, eksperimentda spektrning adsorbsiyalangan molekulaga tegishli qismini ajratib olish yoki yorug'likni sirtidagi molekulaga selektiv ta'sir qildirish usuli bilan amalga oshirish mumkin.

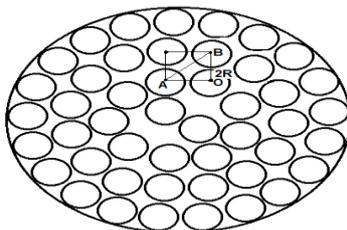
Eksperimentda ishlatilgan asosiy modda shisha bo'lganligi sababli (shisha kapilyar, g'ovak shisha, kvars taglik) olingan raman spektr tarkibida, albatta, shishaga tegishli spektr mavjud bo'lib, uni tajribada asosiy spektrdan ajratib olish kerak bo'ladi. 2-rasmda g'ovakli kvars shishani argon lazeri bilan yoritilganda hosil bo'lgan spektr ko'rsatilgan. Spektrning intensivligi kuchsiz bo'lib, $\sim 440 \text{ cm}^{-1}$ maksimumga ega spektr kengligi 1000 cm^{-1} gacha oraliqda yotadi. Eksperimentda yuqori darajada sezgir spektrometrdan (DFS-24) foydalanib adsorbsiyalangan brom molekularining va ksenon atomlarining bir necha yuz sm^{-1} siljish masofasida raman sochilishining tor chiziqlari yuqori aniqlikda o'lchangan.



2-rasm. Kvars shishadan tayyorlangan toza (adsorbsiyalangan molekularsiz) g'ovak filtrning sochilish spektri. G'alayonlanish to'lqin uzunligi $\lambda = 514,0 \text{ nm}$.

Dissertatsiya ishida, yuqoridagi eksperimentlarda, ixtiyoriy uzunlikda va rivojlantirilgan sirtga ega bo'lgan optik nur toladan yasalgan jgutdan foydalanish orqali, raman sochilishi intensivligini keskin oshirish mumkinligi ko'rsatilgan. 3-rasmda shunday optik strukturaning ko'ndalang kesimi berilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki, bu turdagi nur toladan foydalanish adsorbent yuzasini keskin oshirish imkoniyatini beradi va nur tola to'lqin parametrini tanlash orqali, tarqalayotgan nurning bir modali rejimida raman sochilishi intensivligini keskin oshirish mumkin.

bo'ladi. Bundan tashqari nur tolada yo'naltirgichlarni shakllantirib, spektrning turli komponentalarini turli nur tola orqali yuborish mumkinligi ko'rsatilgan



3-rasm. Optik nur toladan tayyorlangan jgutning ko'ndalang kesimi.

Bu bobda, shuningdek, nanoo'lchamli geterotuzilma hosil qilish uchun ZnO rux oksidining yupqa qatlamlari va C60 fullerren molekulalarining parametrlarini tayyorlash hamda nazorat qilishning eng samarali va keng qo'llaniladigan metodlari hamda bunday materiallarning eng muhim xossalari bayon etilgan. Sprey-piroliz metodi rux oksidining temperaturasini, bosimini va konsentratsiyasini tanlash yo'li bilan eng muhim fizik, shu jumladan, nanotuzilmali relyefning optik xossalarini, ZnO plyonkaning kristallik darajasini boshqarish imkonini berishi ta'kidlangan.

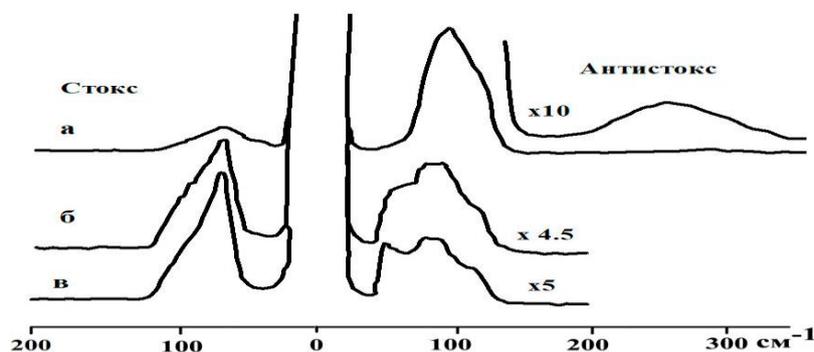
“Shaffof qattiq jism sirtiga adsorbsiyalangan atomlarning spektroskopik tadqiqotlari” nomli uchinchi bobida o'zaro ta'sirlashish sababli, atom va molekulalarning turli fizik hamda kimyoviy sharoitlarda holatining o'zgarishi va bu ta'sirning miqdoriy xarakterlovchi fizik kattalik ta'sirlashish energiyasi ekanligi ko'rsatilgan. Ta'sirlashish energiyasining miqdori moddalar holatini belgilovchi asosiy kattalik bo'lib, misol sifatida, buni, masalan, gomoyadro ikki atomli molekulalarning mavjud bo'lishi va inert gazlarning agregat holatining o'zgarishida ko'rish mumkin.

Atom va molekulalarning sirt bilan o'zaro ta'sirini tadqiq qilishda atomlararo o'zaro ta'sir harakteri hamda uning bunday tizimlarning fizik-kimyoviy xossalari ko'rsatadigan ta'siri muhim ahamiyatga ega. Ushbu kontekstda lazer nurlanishi bilan nurlantirilganda qattiq jismning yuzasi bilan inert gazlarning, masalan, ksenonning umumiy o'zaro ta'sirlashishda atomlararo o'zaro ta'sirni hisobga olish muammosi tadqiqotning eng muhim yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Inert gaz ksenonni o'rganishning samarali usullaridan biri bu raman spektroskopiyasi bo'lib, u lazer nurlanishi ta'sirida ksenonning atom tuzilishini tom ma'noda o'rganishga imkon beradi. Ksenon inert gaz bo'lib, normal sharoitda o'zini namoyon qilmaydi. Lekin lazer nurlanishi ta'sirida bu atomlarining qattiq jism yuzasiga bog'lanishi sababli, ksenonning molekulyar tebranish holatlarining vujudga kelishini kuzatish mumkin. Adsorbsion potensial energiya to'sig'i bo'lib, atomlar (molekulalar) qattiq jism yuzasida adsorbsiyalanishi uchun uni yengishi kerak bo'ladi. Lazer nurining ta'siri bu potensialni o'zgartirishi mumkin, bu esa adsorbsiyani ko'proq yoki kamroq bo'lishiga olib keladi. Fizik adsorbsiya jarayonida sirtida joylashgan atomlar va molekulalar adsorbsion potensial o'rada tebranishlarga uchraydi. Ushbu tebranishlarni kuzatish adsorbsion o'zaro ta'sirlarni

o'rganish uchun muhimdir. Argon, kripton va ksenon kabi inert gazlar qattiq jism sirtida atomlararo o'zaro ta'sirlashishni spektroskopik tadqiq qilishda keng ishlatiladi, chunki bu atomlar uchun erkin holatda raman sochilishi mavjud emas. Shu maqsadda kvarts shisha sirtida rezonansli lazer nurlanishi ta'sirida ksenon molekularining spektral xossalari o'rganildi. Mayda g'ovakli monodispersli shishada adsorbsiyalangan ksenon atomlarining 488,0 nm to'liq uzunlikli argon lazeri nuri ta'sirida raman sochilishi kuzatildi. Bu holat ksenon atomining elektron qobig'ining sezilarli darajada deformatsiyalanishi va sirt bilan qutblanuvchan o'zaro ta'sirlashish hisobiga ksenon molekularining g'alayonlangan holatining yuzaga kelishi mumkinligini tasdiqladi.

4-rasmda adsorbsiyalangan g'ovak shishada ksenon atomlarining raman sochilish spektrlari va uzoq vaqt davomida nurlanish ta'sir qilganida spektrning o'zgarishi ko'rsatilgan.

Raman sochilishining stoks-antistoks komponentalarining kuzatilishi adsorbsion potensial chuqurda ksenon atomining turli xil tebranish holatlariga o'tishlari namoyon bo'lishi bilan bog'liq deb talqin qilinadi. Uzoq vaqt davomida lazer nuri bilan nurlantirilganda g'ovaklardagi adsorbsiya xarakterining o'zgarishi hisobiga atomlarning sirt bilan o'zaro ta'siri potentsiali o'zgarishining murakkab dinamikasi mos ravishda sochilishning stoks-antistoks komponentlarining spektrlarida o'z aksini topadi. Adsorbsion kuchlarning maydoni Morze potentsiali bilan tavsiflanadi deb faraz qilgan holda, olingan spektrlar tebranma harakat parametrlarini aniqlash imkonini beradi. Bu holda angarmonizm kattaligini $x_e \omega_e = 2,7 \text{ cm}^{-1}$, adsorbsion potensial chuqurligini $D_0 = 1900 \text{ cm}^{-1}$, potentsialning xarakterlovchi o'lchami $I = 0,22 \text{ \AA}$ deb hisoblab, asosiy chastota $\omega_0 = 143,5 \text{ cm}^{-1}$ ga teng ekanligini topish mumkin. Eksperimentda tebranish polosasining birinchi obertoni $100 \div 200 \text{ cm}^{-1}$ chastotalar intervalida kuzatildi. Antistoks cho'qqining stoks cho'qqiga nisbatan katta intensivlikka egaligi alohida qarab chiqishni va tahlil qilishni talab qiladi. Bu holat lazer ta'siri uzoq davom etganida sochilishning stoks va antistoks komponentlari intensivligining asta sekin tenglashishiga ham taalluqlidir.



4-rasm. G'ovak shishada adsorbsiyalangan ksenon atomlarining raman sochilishi spektrlari: $\lambda = 488 \text{ nm}$ to'liq uzunlikdagi nur bilan *a* – 10 soatdan, *b* – 20 soatdan, *v* – 30 soatdan keyingi sochilish spektri .

“Ksenon atomi+shisha sirti” tizimidagi elektron tebranishlari o‘zaro ta’sirning past energetik komponentlari bilan bir qatorda ancha yuqori energetik komponentlarni ham yuzaga keltiradi. G‘ovak namunani ksenon bilan to‘ldirilgandan so‘ng adsorbsiyalangan ksenon raman sochilishining intensiv polosalari (shishada raman sochilish polosalari paydo bo‘ladigan sohadan tashqarida yotuvchi) kuzatildi. Raman sochilishidagi kuchli polosalarning intensivligi $10 \div 200$ mW diapazondagi lazer nurlanishining intensivligiga chiziqli bog‘liq bo‘lib, g‘alayonlanish chastotasida sochilish intensivligining taxminan 10^{-6} qismini tashkil qildi.

Eksperimental o‘lchangan chastota siljishlari maksimumlari va polosalarning chegaralarini spektral chiziqlar bo‘yicha adabiyot ma’lumotlari bilan taqqoslash, asosan, ksenon atomlarining qo‘zg‘atilgan sathlari orasidagi o‘tish chastotalariga to‘g‘ri keladi. Ko‘pgina o‘tishlar keng sochilish polosalarining ichida yoki ularning dumlarida yotadi, lekin ular spektral jihatdan ajratilmaydilar. Ishonch bilan shuni ta’kidlash mumkinki, eksperimentlarda kuzatiladigan sochilish spektri adsorbsiyalangan ksenon atomlarining elektron-tebranish o‘tishlaridagi raman sochilishining spektri hisoblanadi.

Kuzatilgan raman sochilishining ba’zi o‘ziga xosliklari aniqlangan: bunday sochilishda o‘tishlar ksenonning quyi g‘alayonlangan sathlari orasida, biroq asosiysidan ancha katta masofada (~ 10 eV) yuz beradi. Masalan, 514,5 nm nur bilan nurlantirilganda $6s'$, $6p[1/2]_1$, $6p[5/2]_2$ sathlardagi o‘tishlar va 488,0 nm nur bilan nurlantirilgandagi $6s'$, $6p[1/2]_1$ sathlardagi o‘tishlar yuqori ionlanish oldi sathlarining g‘alayonlanishi orqali, ancha yuqori sathlardan o‘tishlar esa – ionizatsiya (ksenonning ionlanish chegarasi $97834,4 \text{ cm}^{-1}$) orqali yuz berishi mumkin. Lazer nurlanishining uzoq vaqt davomida namunaning bitta joyiga ta’sir ko‘rsatilganda antistoks polosalarning intensivligi kamayadi, biroq nurlanish namunaning yangi qismiga ko‘chganida sochilish spektrining dastlabki ko‘rinishi tiklanadi.

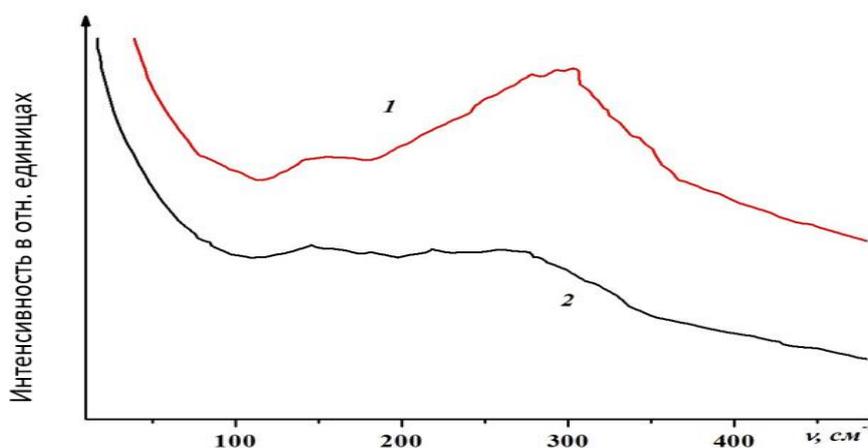
Adsorbsiyalangan ksenon atomlari adsorbsiyalanish vaqtida g‘alayonlangan holatda bo‘ladi yoki energiya oladi, deb faraz qilish mumkin. Bunda g‘alayonlanishning elektron sathlar bo‘yicha taqsimlanishi bir tekis bo‘lmaydi, alohida sathlarga joylashuvda inversiya mavjud bo‘ladi. Antistoks komponentining eng katta cho‘qqisi geliy-ksenon lazerda olingan intensiv generatsiya o‘tishiga mos kelishi bu jarayonga yanada qiziqish uyg‘otadi. Lazer nurining ta’siri adsorbsiyalangan ksenon atomlarining energetik sathlar bo‘yicha qayta taqsimlanishiga olib keladi. Sirtida ksenonning g‘alayonlanish mexanizmini o‘rganish inert gazlar adsorbsiyasini batafsil tadqiq qilinishini talab qiladi.

Ksenonning kvarts shisha sirtida rezonansli lazer nurlanishi ta’siridagi spektral xossalarni tadqiq qilishda shisha sirti yaqinida atomar ksenonning raman sochilishi aniqlandi, bu esa dipolning sirt bilan qutblanuvchan o‘zaro ta’sirlashishi evaziga atomlar elektron qobig‘ining sezilarli deformatsiyalanishi va atomning g‘alayonlangan holatining yuzaga kelishini ko‘rsatadi.

“Sirtidagi brom molekularining lazer ta’sirida indusirlangan energiya o‘zgarishi spektroskopiyasi” nomli to‘rtinchi bobida lazer nuri ta’sirida

kanalsimon tuzilmalarda (yupqa shisha kapillyar, ikki tomoni ochiq g'ovakli shisha) brom molekularining oqimini (diffuziyasini) boshqarish imkoniyati mavjudligi tadqiq qilindi. G'ovak shisha sirtida adsorbsiyalangan brom molekularining argon lazeri nurini rezonansli raman sochilishi, shuningdek, ularning rezonansli fluoressensiyasi o'rganildi. Raman sochilishi spektri (5-rasm) keng polosaga ega bo'lib, 100 cm^{-1} dan 320 cm^{-1} oraliqda yotadi va 260 cm^{-1} maksimum qiymatga ega bo'ladi. Bu holatni brom molekularining g'ovak ichidagi kollektiv tebranma harakati bilan bog'lash mumkin.

Mayda g'ovakli shisha g'ovaklari sirtiga adsorbsiyalangan brom molekularining raman spektri ularning konsentratsiyasiga kuchli bog'liq. Molekularning konsentratsiyasi yuqori bo'lganda ularga sirtning ta'siri deyarli bo'lmaganligi sababli, sochilish spektrining ko'rinishi gaz holatdagi brom spektriga yaqin bo'ladi va konsentratsiya kamaya borgan sari spektrning ko'rinishi molekularga sirt ta'siri tufayli sezilarli o'zgaradi.



5-rasm. Shisha g'ovaklardagi brom molekularining raman sochilishi, stoks (1) va antistoks (2) komponentalar. Yorug'lik to'lqin uzunligi 647,1 nm.

Olingan natijalar geterofazadagi fizik jarayonlarni o'rganish uchun juda muhim bo'lib, ular sirtning yupqa adsorbsiyalangan molekular bilan qoplanganini ko'rsatadi.

Raman sochilish spektrlari sirdagi molekularning sirtga bog'lanmagan holda tebranma harakat qilayotganini ko'rsatadi. Keyingi qatlamlardagi molekular harakati gaz fazadagilarning harakatidan deyarli farq qilmaydi.

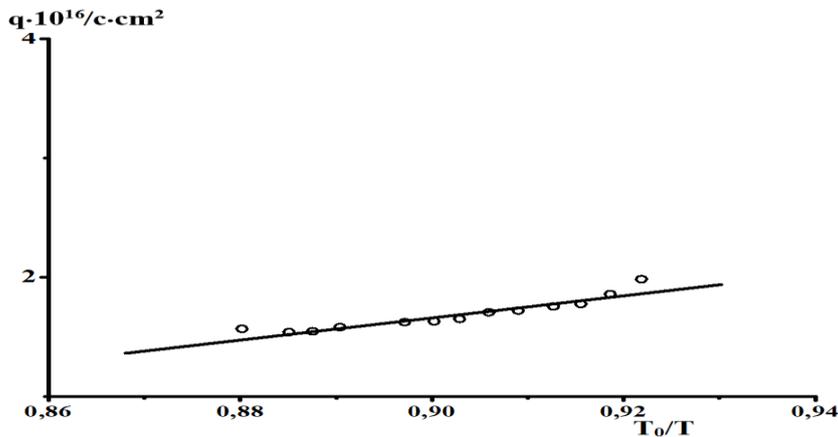
Diffuziyalanayotgan gaz oqiminig g'ovak shisha ichidagi harakatini va g'ovakka kirish sohasidagi oqimning o'zgarishi molekularning temperaturasi hamda potensial o'zgarishiga bog'liq bo'ladi. Dissertatsiya ishida bu bog'lanish, eksperimental ravishda 8⁰C dan 64⁰C gacha bo'lgan oraliqda o'rganilgan (6-rasm). Diffuziya nazariyasiga asosan ko'rilayotgan holatda molekularning shaffof membrana orqali statsionar oqimi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{q^*}{q_0} = \exp[(1 - \alpha^*)\Delta U^*/kT], \quad (1)$$

Bu yerdagi q^* va q_0 – sistemaga lazer nuri tushgan va tushirilmagan holatlarga mos keladi, ΔU^* – nur ta'sirida sirdagi molekular adsorbsion potensialining o'zgarishi, α^* – dipol va uning sirdagi aksi nisbati, T – temperatura. Agarda sirda bir oz nurning yutilishi kuzatilsa yuqoridagi gaz oqimi uchun ibora quyidagicha o'zgaradi:

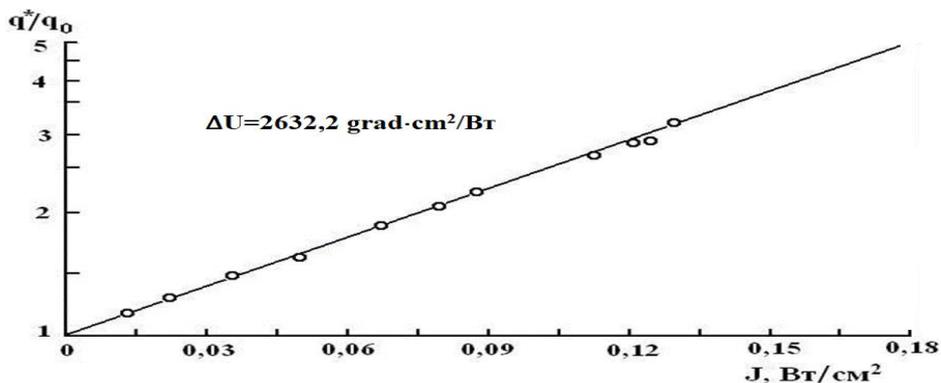
$$\frac{q^*}{q_0} = \exp\{[(1 - \alpha^*)\Delta U^*T - (1 - \alpha)U\Delta T^*]/kT^2\}. \quad (2)$$

Bu munosabat orqali eksperimental natijalarni solishtirish mumkin. 6-rasmdan ko'rinib turibdiki, 23°C -37°C ($\frac{T_0}{T} = 0,92 \div 0,88$) oralig'ida nazariya eksperiment bilan mos tushadi.



6-rasm. Brom molekulari oqimining temperaturaga qarab o'zgarishi ($P_0=9$ Tor).

Membranada harakatlanayotgan brom molekulari oqimiga (0,1 dan 100 mg/soat cm^2) monoxromatik yorug'likning ta'siri o'rganildi va bu ko'rilayotgan oraliqda intensivlik hamda temperatura o'zgarmaganda, rezonans yorug'likning ta'siri o'zgarmadi. q^*/q_0 kattalik, temperatura va oqim o'zgarmas bo'lganda, intensivlikka bog'liqligi chiziqli xarakterga ega ($T=20^0C$, $q_0=2 \times 10^{15}/c \cdot cm^2$) (7-rasm). Bu eksperiment $\Delta U = 2660 \pm 130$ grad sm^2/Vt ga tengligi kelib chiqadi. Bu esa intensivlik 1 Vt/sm^2 bo'lganda membrananing kirish qismida adsorbsion potensialning 1,5 marta oshishi va oqimning 8000 marta oshishiga olib keladi. Bu holat lazer nuri ta'sirida oqimni boshqarish imkoniyati borligini yaqqol ko'rsatadi.



7-rasm. q^*/q_0 oqim o'zgarishining lazer intensivligiga bog'liqligi, J.

G'ovak shishadan tayyorlangan membrana orqali molekulalar diffuziyasini nazorat qilishning yuqorida bayon etilgan sxemasidan moddalar va/yoki izotoplar seleksiyasining tegishli qurilmalarida rezonansli molekulalarning tegishli guruhi uchun lazer nuri to'liq uzunligini tanlash yo'li bilan foydalanish mumkinligi ko'rsatildi. Har bir molekula seleksiyasi uchun bittadan foton talab etilmaganligi sababli bu yondashuvning energetik samaradorligi muqobillaridan ancha yuqori bo'ladi.

Shunday qilib, g'ovaklardagi lazer nuri ta'siridagi gazlar kinetikasi jarayonlarini o'rganish bo'yicha o'tqazilgan eksperimentlar, xuddi boshqa avtorlar ishlari kabi, ularning qutblanish harakterga ega ekanligi va bunday muhitlarda lazer nuri ta'sirida molekulalarni diffuziyasini boshqarish membranali mexanizmga asoslanganligini isbotlaydi. Molekulalarning diffuziyalanish vaqtini o'lchash bo'yicha o'tazilgan tajribalar, lazer nuri ta'sirida diffuziya koeffitsiyentining kamayishi oqimning kamayishiga olib kelishini ko'rsatadi.

Ikki tomoni ochiq kanalli g'ovak shishalar orqali brom diffuziyasini lazer nurlanishi ta'sirida eksperimental tadqiq qilish elektromagnit nurlanishning sirtidagi rezonans molekulalarga qutblantiruvchi ta'siri to'g'risidagi tasavvurlarni to'liq tasdiqladi. Ham ingichka g'ovaklarda, ham bunday membranalarning kirish sirtida gaz oqimini va seleksiyasini boshqarishni diffuziya imkoniyatlaridan foydalanib amalga oshirish mumkinligi ko'rsatib berildi. Bunda kirish sirtidan foydalanishda membraning turli qismlarida ksenonning sirt bilan o'zaro ta'sirlashish potensialining xarakterini hisobga olish afzal ekanligini asoslab berildi. Shu bilan birga, shishaning g'ovak tuzilmasi vaqt o'tishi bilan o'zgaradi, g'ovaklarning o'tkazuvchanligi ularning devorlarida adsorbsiyalangan molekulalarning soniga kuchli bog'liq bo'ladi, sirtning kirish xossalari esa ancha stabil bo'ladi. G'ovaklarni yopmaydigan turli dielektrik va metall qoplamalardan foydalanib uning xarakteristikalarini optimallashtirish imkoniyati mavjud. Bundan tashqari, bunday qoplamali shisha membranalaridan keng diapazonli to'liq uzunliklarida foydalanish mumkin. Ma'lum diametrli g'ovaklarga ega membranalarni tanlashda sirtidagi diffuz oqimlar bilan ishlashda yuzaga keladigan qiyinchiliklarni diffuziyaning temperatura sharoitlarini o'zgartirib kamaytirish mumkinligi ta'kidlandi.

Mayda g'ovakli membrana orqali molekulalar diffuziyasi jarayoni tizimning parametrlari o'zgarishiga o'ta sezgir hisoblanadi. Rezonans nurlanish va issiqlik tizimga kritik ta'sir ko'rsatadi. Diffuziyaning turli qismlarida lazer nurlanishi ta'sirida molekulalar oqimi o'zgarishining qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'lishi diffuziyalanuvchi molekulalarga lazer nuri ta'sirining qarab chiqilgan mexanizmining qiziqarli xossasi hisoblanadi. Barcha eksperimentlarda lazer nurlanishining rezonansli ta'siri termik effektga nisbatan ancha ahamiyatli ekanligi ko'rsatib berildi.

Shunday qilib, sirtidagi molekulalar energiyasini o'zgartirishning lazer-induksiyalangan metodi taklif etildi. Bu metod lazer nuri ta'sirida fazaviy o'tishda molekulalar energiyasi o'zgarishini aniqlash imkonini beradi. Bu metoddan sirt hodisalarini tahlil qilishda foydalanish mumkin. Shuni hisobga olib, molekulalarda

lazer-induksiyalangan energiya o'zgarishining spektroskopiyasi sirtida molekulalarning kimyoviy adsorbsiyasini o'rganish uchun noyob instrument hisoblanadi. Uning turli sohalarda, katalizdan to nanofizik jarayonlarda qo'llanilishi ma'lum fizik-kimyoviy xossalarga ega materiallarning o'zaro ta'siri tabiatini tushunish va nazorat qilishning yangi cho'qqilarini ochadi.

“Murakkab molekulalar bilan rivojlangan sirt o'rtasidagi o'zaro ta'sir. ZnO sirtidagi C60 fulleren” nomli beshinchi bobida nanotizim relyefga ega ZnO rux oksidi sirtiga qoplangan uglerod nanozarralari – C60 fulleren molekulalaridan iborat yangi kompozit, molekulalarning qattiq jism sirti bilan o'zaro ta'sirini o'rganish imkonini berishligi o'rganilgan. Bunday tizimda, uncha katta bo'lmagan molekulalar va atomlar hamda silliq shisha sirtidan farqli o'laroq, organik katta molekulalarning noyob elektro-optik va fizik xossalari sababli “molekula+sirt” o'zaro ta'sirini o'rganish uchun sifat jihatidan yangi imkoniyatlar paydo bo'ladi hamda ular asosida elektronikada, fotovoltaykada va boshqa sohalarda foydalanish uchun yangi geterotuzilmalarni ishlab chiqish imkoniyati paydo bo'ladi.

Avvalgi boblarda o'rganilgan, molekulalarning sirt bilan o'zaro ta'sirining o'xshash fizik shartlarini amalga oshirish, ya'ni molekulalar joylashgan sirtning shaffofligini lazer nurining faol yutilishiga olib kelishi, imkonini beruvchi C60 fulleren molekulalarining yupqa qatlami va ZnO plyonkasidan iborat kompozitning optik xossalari o'rganildi. Ushbu qaralayotgan tizimda ZnO yutilish spektri faqat ultrabinafsha sohani qamrab oladi, barcha ko'zga ko'rinadigan va infraqizil sohalarda esa bu modda shaffofdir, ultrabinafsha sohada yutilish intensivligi kamroq bo'lgan C60 esa spektrning ko'zga ko'rinadigan sohasida ham yetarlicha intensiv yutilish polosasiga ega. Bu ikki moddadan tuzilgan yangi kompozitning yutilish sohasi ultrabinafshadan to yaqin infraqizilgacha bo'lgan sohani qamrab oladi. Shu bilan birga bunday tizimning har ikkala tashkil etuvchilari noyob fizik-kimyoviy xossalarga ega bo'lganligi sababli ular asosida yangi elektro-optik qurilmalarni yaratish mumkin.

Biroq oddiy sharoitda C60 molekulalari bilan ZnO sirt o'rtasida elektron bog'lanish mavjud emas. Ishda “C60 + ZnO” tizimni ultrabinafsha lazer nuri bilan sirtga yaqin sohaga fokuslash orqali, nurlantirib, interfeysda elektron bog'lanish o'rnatiladi va bu bog'lanishning mavjudligini raman sochilish spektri polosasida 1080 cm^{-1} maksimumli cho'qqi orqali nazorat qilish mumkinligi ko'rsatildi. Shu bilan birga 325 nm to'lqin uzunlikli lazer nurlanishining rezonansli raman sochilishi orqali, nanotuzilmaviy relyefli ZnO yupqa plyonkaning tuzilmaviy o'ziga xos xususiyatlarini o'rganish imkoniyati yaratiladi.

Bobning so'nggi qismida atrof muhit holati o'zgarishining (optimal temperatura, suv tarkibi va tanqisligi) ta'sir indikatorini sifatida biomembranada joylashgan murakkab molekulalar (xlorofill) fluoressensiyasining o'zgarishi hamda bu holatning spektral va kinetik xarakteristikalarida namoyon bo'lishi tahlil qilindi. Biomembranadagi xlorofill molekulalarining tezlatilgan, o'zgaruvchan, sekinlatilgan fluoressensiyasini o'rganish orqali, fotosintez jarayonlarining balansi, issiqlik dissipatsiyasi yoki fotosintezda zaryadni ko'chirishning

fotostimulyatsiyalangan jarayonlari to'g'risida muhim axborotni olish mumkinligi ko'rsatildi.

Shunday qilib, yorug'lik maydonida qattiq jism sirti bilan ta'sirlashayotgan molekulalarning raman sochilishi va fluoressensiyasi bu jarayonlarni fizik mexanizmini aniqlashga hamda ularning sirt bilan bog'lanish kuchi va vujudga kelgan molekulyar tebranishlar energiyasini, bu spektrlarining o'zgarishiga qarab baholashga imkon beradi.

XULOSALAR

Dissertatsiya ishida olingan eksperimental ma'lumotlar va ularni batafsil tahlil qilish quyidagi xulosalar chiqarishga imkon beradi:

1. Ksenon atomlarining shisha yuzasi bilan o'zaro bog'lanishi, ularning to'liq uzunligi 488 nm bo'lgan rezonansli lazer nuri bilan yoritilganda vujudga kelishi, eksperiment asosida birinchi marta ko'rsatilgan. Bu holat, sirtga adsorbsiyalangan ksenon atomlarining raman sochilishi spektrida, elektron-tebranish o'tishlarga mos cho'qqilarning paydo bo'lishi bilan asoslanadi.

2. Rezonans lazer nuri ta'sirida ksenon atomlarining adsorbsion potensialining o'zgarishi va ular bilan qattiq jism yuzasi o'rtasida bog'lanish hosil bo'lishi miqdoriy jihatdan, rezonansli raman sochilish spektridagi stoks-antistoks komponentlarining spektral xususiyatlari bilan tavsiflash mumkinligi tahlil qilingan.

3. Birinchi marta to'liq uzunligi 514,5 nm bo'lgan argon lazer nuri ta'sirida g'ovakli membranalaridan o'tayotgan brom molekulalari oqimining o'zgarishi, lazer nurining sirdagi rezonans molekulalarga qutblovchi ta'siriga asoslangan mexanizmi tasdiqlashi, nazariy va eksperiment asosida isbotlangan. Gaz oqimini boshqarish va izotoplarni o'zaro ajratish, g'ovaklar ichida hamda membranalarining kirish yuzasida ham diffuziya xususiyatlaridan foydalangan holda amalga oshirilishi mumkinligi tajribada ko'rsatilgan.

4. Dissertatsiyada ko'rsatib berilgan g'ovakli shisha membrana yoki tor kapillyar kanal orqali molekulalar oqimini boshqarish sxemasi, rezonans molekulalar uchun lazer nurining to'liq uzunligini aniq tanlash orqali, turli modda va izotoplarni ajratishga asoslangan qurilmalarda qo'llanilishi mumkin. Taklif etilgan usulning energiya samaradorligi har bir molekulaga juda kam miqdorda foton to'g'ri kelishi sababli, muqobil usullardan sezilarli darajada yuqori bo'lishi ilmiy asoslangan.

5. Geterogen tizimlarda molekulalarning lazer nuri ta'sirida o'zaro ta'sir potensialidagi o'zgarishlar bu jarayonda ularning fazoviy o'tishlardagi fizikaviy xossalarni aniqlash imkonini beruvchi usuldir. Bu usul adsorbsiya, kimyoviy reaksiyalar va hatto molekulalar tuzilishidagi o'zgarishlar kabi sirt hodisalarni o'rganish uchun samarali ishlatilishi mumkin.

6. Brom molekulasi va ksenon atomi energiyasining lazer nuri ta'siridagi o'zgarishi spektroskopiyasi molekulalarning sirtga fizikaviy adsorbsiyasini o'rganish uchun noyob vositadir. Uning katalizdan to nanofizikaviy jarayonlargacha bo'lgan turli sohalarda keng qo'llanilishi mumkinligi

molekulalarning qattiq jism sirti bilan ta'sirlashishining tabiati va fizikaviy mexanizmlari ochib berish asosida ko'rsatilgan.

7. Nanoo'lchamli relyefga ega yupqa ZnO plyonkasi va uning sirtiga qoplangan C60 fulleren molekulalari qatlamida uning tarkibiy qismlariga tegishli o'ziga xos optik hamda elektron xususiyatlari tufayli "nanozarracha + nanosirt" tizimida o'zaro ta'sir uchun noyob shart sharoitlar vujudga kelishi tajribada ko'rsatilgan.

8. Birinchi marta ZnO yupqa plyonkasini to'lqin uzunligi 325 nm bo'lgan rezonans lazer nuri bilan yoritilganda, rezonansli raman sochilishining multifonon spektrlari o'rganilib, bunday rezonansli raman sochilishning tabiati va xarakteri, spektrning kengligi hamda intensivligi orqali miqdoriy baholandi. Raman sochilishi chastota siljishlarini tavsiflovchi turli xil nazariy mexanizmlar tahlil qilindi.

9. Sirt bilan ta'sirlashuvchi molekulalarning fluoressensiyasining spektral-kinetik xususiyatlari bu xildagi ta'sirni o'rganish uchun informativ vosita bo'lib, yorug'lik energiyasini istemol qiluvchi parallel jarayonlar faolligi, shuningdek, ularga atrof-muhit o'zgarishining ta'sirini baholashi mumkin. Bunday spektral tadqiqotlar silliq shisha yuzasidagi oddiy va murakkab molekulalar, atomlar, biomembranalardagi biomolekulalar ta'sirini o'rganish orqali amalga oshirilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И
ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА
ИМ. МИРЗО УЛУГБЕКА**

МАВЛЮДА АБДУКАРИМОВНА ЗАХИДОВА

**РАМАН-СПЕКТРОСКОПИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЗАРЯЖЕННЫХ
АТОМОВ И МОЛЕКУЛ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРОЗРАЧНОГО
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

01.04.05 – Оптика

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

Тошкент – 2024

Тема диссертации доктора наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за № B2023.4.DSc/FM242.

Диссертация выполнена в Национальном Университете Узбекистана им. Мирзо Улугбека.
Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета (www.iplt.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный консультант:	Нематов Шерзод Каландарович доктор физико-математических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Мамадалимов Абдугафур Тешабаевич доктор физико-математических наук, академик Рахматуллаев Илёс Арзимуродович доктор физико-математических наук, доцент Махманов Урол Кудратович доктор физико-математических наук, с.н.с
Ведущая организация:	Ташкентский Государственный Технический Университет им. Ислама Каримова

Защита диссертации состоится « 29 » мая 2024г. в 14.30 часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (+99871) 262-32-54, (99871)262-3169, e-mail: info@iplt.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз (зарегистрирована за № ____), по адресу: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.: (+99871) 262-31-69, (99871)262-3169.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2024 г.
(реестр протокола рассылки № ____ от « ____ » _____ 2024 г).

Х.Б.Ашуров
Председатель научного совета
по присуждению учёных
степеней, д.т.н., профессор

И.Дж.Ядгаров
Учёный секретарь научного
совета по присуждению ученых
степеней, д.ф.-м.н., профессор

У.К. Махманов
Председатель научного
семинара при научном совете по
присуждению ученых степеней,
д.ф.м.н., с.н.с.

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук, DSc)

Актуальность и востребованность темы диссертации.

В настоящее время, когда новые разработки для контроля газовых потоков и модификации характеристик поверхности материалов широко и активно внедряются в производство во всём мире, выявление основных физических свойств взаимодействия атомов и молекул с твердотельной поверхностью, как эффективный механизм для решения таких задач приобретает важное научно-практическое значение. Это обстоятельство связано и с широким применением методов управления поверхностными химическими реакциями, селекции газовых потоков, а также нанесения на поверхность тонкой плёнки из вещества с заданными характеристиками, используя лазерное излучение. На сегодняшний день разработка материалов с определенными поверхностными свойствами, используя молекулярные и атомарные потоки, позволяет достичь новый уровень качества в обработке поверхности.

Во всем мире новые технологии обработки поверхности, включая придания ей нанофизических свойств, а также управление потоками молекул и атомов с использованием приповерхностного взаимодействия стали приоритетными направлениями развития инноваций. При этом широко применяются методы лазерной обработки и нанотехнологии поверхности. В этой области приоритетным является также изучение раман-спектроскопии взаимодействия незаряженных атомов и молекул с поверхностью прозрачного твёрдого тела. В таком случае, управляя силой взаимодействия между молекулами (атомами) и поверхностью твёрдого тела путём изменения интенсивности лазерного излучения, можно в различных прозрачных канальчатых (капиллярных и пористых) структурах осуществлять контроль потока (диффузию) этих молекул (атомов). Причём, точно подбирая длину волны лазерного излучения к длине волны поглощения определенной группы молекул, можно их селектировать из общего потока различных молекул.

В Узбекистане, также, выявление важнейших свойств взаимодействия атомов и молекул с твердотельной поверхностью стало предметом систематических исследований как фундаментального, так и прикладного характера, связанных с разработкой новых технологий для обработки материалов и химического катализа. В последний период физика воздействия высокоинтенсивного лазерного излучения на твердое тело также интенсивно изучается как механизм формирования ее поверхности с заданными свойствами, а происходящие при этом структурные изменения в нем стали основой для новых разработок.

Диссертационная работа направлена на решение, в определённой степени, научно-технических задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-2789 от 17 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательских работ», № УП-60 от 28 января 2022 года «О стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», а также №

УП-4422 от 22 августа 2019 года “Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности хозяйственной и специальной сфер, внедрению технологии энергосбережения и развития возобновляемых источников энергии”.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан – П. «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации. Исследования по взаимодействию молекул и атомов с поверхностью твёрдого тела и управлению поверхностными явлениями в гетерогенных средах под действием лазерного излучения проводятся в ведущих научных центрах и в высших образовательных учреждениях, в том числе в: Institute of Light Physics (Германия), University of California, Berkeley (США), Florida State University (США), Nagoya University (Япония), Leiden University (Нидерланды), Institute of Nanotechnology and Photonics (США), Hanyang University (Южная Корея), Tsinghua University (Китай), University of Huddersfield (Великобритания), Институте физики поверхности Макса Планка (Германия), Институте Общей физики РАН (Россия), Физико-техническом институте им. А.Иоффе (Россия), Институте ионно-плазменных и лазерных технологий Академии Наук Республики Узбекистан и в ряде других научных центров мира. В институте физики света (Institute of Light Physics) в Германии, проводятся исследования по взаимодействию лазерного излучения с материалами, включая пористые структуры, а в университете Калифорнии в Беркли (University of California, Berkeley) в США, ведутся исследования по изучению фотохимических процессов и поверхностных явлений под воздействием лазерного излучения.

Взаимодействие молекул (атомов) с поверхностью было изучено в работах научных групп В.Кинга, (США), К.Вады (Япония), Н.В.Карлова (Россия) и др. В последние годы данная научная проблема была всесторонне и интенсивно изучена в работах В.Бортолани (Италия) и И.В.Оленича (Украина) и ряда других исследователей. Вопросы, связанные с рамановским рассеянием системой «молекула + поверхность», включая его резонансный тип, были изучены в многочисленных работах П.Дж.Хендры (Великобритания).¹

¹ Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации составлен на основе: Chen S., Liu Y., Shao C., Mu R., Lu Y., Zhang Y., Shen D., Fan X. Structural and optical properties of uniform ZnO nanosheets. *Advanced Materials*. 2005. Vol. 15. No 5. PP.586-590, King F.W., Van Duyne R.P., Schatz G.C. Theory of Raman scattering by molecules adsorbed on electrode surfaces // *J. Chem. Phys.* 1978. Vol. 69. No 10. PP. 4272-4281, Bortolani V., March N.H., Tosi M.P. (Eds.). Interaction of atoms and molecules with solid surfaces // Springer Science and Business Media. 2013. 665 P., Olenych I.B., Monastyrskii L.S., Aksimentyeva O.I., Sokolovskii B.S. Effect of bromine adsorption on the charge transport in porous silicon-silicon structures // *Electronic Materials Letters*. 2013. Vol. 9. No. 3. PP. 257-260, Capretti A., Ringsmuth A.K., Van Velzen J.F., Rosnik A., Croce R., Gregorkiewicz T. Nanophotonics of higher-plant photosynthetic membranes. *Light: Science & Applications*. 2019. Vol. 8. No 1. PP.5-13, Combe N., Jensen P., Pimpinelli A. Light-Induced Surface Diffusion // *Phys.Rev. Lett.* 2000. Vol. 85. No 1. PP. 110-113, Loren D.W. Molecular Interactions and the Behaviors of Biological Macromolecules. 2021. Part 1. PP.100-120, а также www.scopus.com, www.nature.com, www.sciencedirect.com, Web of Science и других источников.

К настоящему времени ряд актуальных задач в этой области решены, в частности теоретически исследован поляризационный механизм взаимодействия молекул с поверхностью твёрдого тела в поле излучения, кроме того в Институте Общей физики Российской Академии наук под руководством д.ф.-м.н. Ю.Н.Петрова был проведен цикл исследований по управлению потоком молекул брома с помощью тонких стеклянных капилляров и развитию физических механизмов таких процессов.

Степень изученности проблемы. Изучение процессов, происходящих при взаимодействии атомов и молекул с поверхностью твёрдых материалов под воздействием лазерного излучения имеет важное значение для понимания фундаментальных процессов на поверхности материалов, а также для разработки новых материалов и технологий. Селективные молекулярные процессы, индуцированные резонансным лазерным излучением, позволяют управлять газовым потоком, практическое применение которых имеет большие перспективы для разделения веществ и изотопов, управляемой диффузии, катализа и испарения, возможности контроля выброса газов в атмосферу, а также сорбции газов на поверхности твёрдого тела. Эти исследования были, в основном, направлены на определение отдельных проявлений селективности воздействия лазерного излучения на атомы и молекулы адсорбированных на поверхности. Не было обращено серьезное внимание на качественное изменение взаимодействия атомов и молекул с поверхностью, в случае совпадения длины волны лазерного излучения с длиной волны поглощения отдельных компонент такой гетерогенной системы. Главное, считалось, что определяющими механизмами селекции таких частиц могут быть возбуждение и ионизация, пренебрегая при этом энергетической эффективностью поляризационного взаимодействия.

В Узбекистане изучение взаимодействия атомарных и ионных частиц с поверхностью твёрдого тела проводилось в Институте Электроники Академии наук, начиная с середины прошлого столетия в течение нескольких десятилетий. Эти работы, нацеленные на развитие, как фундаментальных механизмов такого взаимодействия, так и практических задач их применения, были сосредоточены, в основном, на взаимодействии ускоренных и заряженных частиц с поверхностью. В 80-ые и 90-ые годы прошлого века в Отделе теплофизики Академии наук Республики Узбекистан (С.А.Бахрамов, М.А. Касымджанов, А.А.Захидов) были развиты исследования электронно-колебательных и нелинейно-оптических свойств важнейших для физической оптики сред, включая высокопрозрачных в широком диапазоне длин волн веществ (кварцевые и многокомпонентные стекла, оптические волокна, нелинейные резонансные газы, молекулярные материалы и др.). В настоящее время эти исследования значительно расширены, включая нанопфизику таких новых материалов, как фуллерены, нанотрубки и наноструктурированная тонкая плёнка оксида цинка (Ш.У.Юлдашев, А.М.Коххаров, С.С.Курбанов, У.К.Махманов и др.).

Связь диссертационных исследований с планами научно-исследовательских работ. Диссертационная работа выполнена в рамках плана научных работ Физического факультета Национального Университета Узбекистана и проекта Программы фундаментальных исследований АН РУз №К-12-004 “Композиционные наноматериалы: разработка и синтез элементов с заданными физическими свойствами” (2015-2017гг.), а также в рамках исследований проекта Отдела теплофизики (в последующем Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз): № Ф2-ФА-Ф147 «Изучение физических механизмов высокоэффективного преобразования солнечной энергии в первичных процессах фотосинтеза» (2012-2016гг.). Диссертационные исследования были выполнены также в рамках реализации международного проекта УНТЦ по разработке волоконно-оптических элементов лидаров (2007-2009гг.), проектов Ассоциации Европейского союза «ИНТАС» и Национального научного фонда Швейцарии по изучению флуоресцентных свойств процесса фотосинтеза (2008-2009гг.), проекта американского фонда гражданских исследований и развития (CRDF) №3377 по изучению замедленной и переменной флуоресценции сложных биомолекулярных систем (2011-2012гг.) в котором соискатель была в составе основных исполнителей.

Целью диссертационной работы являлось выявление физической природы взаимодействия «молекула (атом) + поверхность» методом рамановского рассеяния, роли в этом резонансного лазерного излучения, изменений флуоресценции такой системы, а также показать возможность управления диффузионным потоком молекул в стеклянных капиллярах и образования электронной связи в системе «молекула C₆₀ + поверхность ZnO» с помощью лазерного излучения.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

разработать экспериментальные методы изучения взаимодействия молекул (атомов), в том числе молекул фуллерена C₆₀, с поверхностью твёрдого тела при воздействии лазерного излучения;

развить методы контроля взаимодействия молекул с поверхностью с помощью рамановского рассеяния, включая резонансное рамановское рассеяние;

изучить основные свойства флуоресценции молекул при их взаимодействии с прозрачной поверхностью;

проанализировать новые возможности для экспериментального изучения взаимодействия молекул (атомов) со стеклянной поверхностью при применении оптических волокон и волоконных интерферометрических устройств;

установить природу углубления адсорбционного потенциала резонансной молекулы вблизи поверхности с применением поляризационного механизма взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью;

установить взаимосвязь между изменениями энергии адсорбированных на поверхности молекул (атомов) и спектрами их флуоресценции и PPP;

разработать метод управления потоком молекул (атомов) через тонкие стеклянные капилляры и фильтры из мелкопористого стекла с помощью резонансного лазерного излучения;

изучить возможность образования электронной связи между молекулами C₆₀ и поверхностью ZnO с наноструктурным рельефом и её отражение в спектрах рамановского рассеяния и (или) флуоресценции.

Объектами исследования являются атомы ксенона и молекулы брома вблизи поверхности стекла (тонкий стеклянный капилляр или пористое стекло), а также молекулы фуллерена C₆₀, нанесенные на поверхность ZnO с наноструктурным рельефом. Было также изучено воздействие окружающих физических условий на характеристики флуоресценции сложных молекул в биомембранах.

Предметом исследования являются физическая природа взаимодействия незаряженных молекул (атомов) с поверхностью прозрачного твёрдого тела, включая поляризационный механизм, спектры НРР и РРР, поглощения и флуоресценции указанных объектов, лазерно-стимулированный механизм сильного взаимодействия между молекулами фуллерена и поверхностью оксида цинка в композите «C₆₀ + ZnO», а также физические свойства флуоресценции молекул хлорофилла на биомембранах.

Методы исследований. В исследованиях диссертационной работы применены методы рамановской, адсорбционной и флуоресцентной спектроскопии, включая резонансной. Применялись аргоновый, ксеноновый и гелий-кадмиевый лазеры средней мощности, а также импульсно-периодический лазер на гранате с неодимом, Nd³⁺:YAG, с двойной модуляцией. Для селективной регистрации потока резонансных газов применялась масс-спектрометрия. Для определения физических свойств гетероструктуры из тонкого слоя молекул C₆₀ на наноструктурной поверхности ZnO и воздействия на них резонансного лазерного излучения, применялись атомно-силовая микроскопия, рентгеноструктурный анализ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые, в рамках комплексных аналитических исследований взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью прозрачного твёрдого тела, разработаны и сформированы методики проведения качественного и количественного анализа этого взаимодействия с использованием масс-спектрометрии и спектроскопии рамановского рассеяния;

впервые, на основе теоретических и экспериментальных исследований показано, что взаимодействие незаряженных молекул (атомов) с поверхностью прозрачного твёрдого тела можно описать поляризационным механизмом, связанным с взаимодействием наведенного дипольного момента в них и его «зеркального отображения» в прозрачном твёрдом теле, под действием лазерного излучения;

продемонстрирована и оценена возможность многократного увеличения потенциала взаимодействия (адсорбции) молекул брома с поверхностью стекла

при их облучении резонансным лазерным излучением с длиной волны 514,5 нм за счёт поляризационного взаимодействия в такой системе;

впервые, на основе экспериментальных исследований доказан поляризационный характер взаимодействия атомов ксенона с поверхностью прозрачного пористого твёрдого тела в поле резонансного излучения с длиной волны 488,0 нм. Причем, в этом процессе по спектрам стокс-антисоксовых компонент рамановского рассеяния можно определить электронно-колебательные характеристики системы «атом + поверхность»;

научно обоснована, возможность количественной оценки энергетических изменений взаимодействия молекул (атомов) на поверхности прозрачного твёрдого тела по спектрам рамановского рассеяния и флуоресценции, и показано, что методы флуоресценции и резонансного рамановского рассеяния могут быть эффективным инструментом изучения адсорбции молекул (атомов) на поверхности, а кинетика флуоресценции молекул хлорофилла на биомембране является информативным средством изучения воздействия на них окружающих физических условий;

впервые показано, что при облучении ультрафиолетовым лазерным излучением с длиной волны 325 нм происходит качественное усиление взаимодействия «молекула – поверхность» в гетероструктуре из тонкого слоя молекул C₆₀, нанесенного на поверхность ZnO с наноструктурным рельефом; при этом динамику такого процесса можно контролировать по интенсивности и спектрам рамановского рассеяния;

продемонстрирована возможность оценки интенсивности взаимодействия между молекулами C₆₀ и поверхностью ZnO по спектральным характеристикам рамановского рассеяния и флуоресценции в частности показано, что интенсивность полосы рамановского рассеяния с частотой максимума при 1080 см⁻¹ является прямым показателем силы взаимодействия в системе «C₆₀ + ZnO».

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

разработаны экспериментальные установки для изучения диффузии молекулярного брома и атомарного ксенона через стеклянные капилляры под действием лазерного излучения, позволяющие определять физическую природу взаимодействия молекул/атомов со стеклянной поверхностью, а также воздействия на него лазерного излучения;

впервые установлены параметры поляризационного взаимодействия молекул (атомов) с прозрачной поверхностью, в том числе при облучении такой системы резонансным лазерным излучением;

показана возможность контроля силы взаимодействия между молекулой (атомом) с прозрачной поверхностью по интенсивности и спектрам стокс-антисоксовых компонент рамановского рассеяния излучения такой системой;

впервые продемонстрирована возможность установления сильного взаимодействия между молекулами фуллерена C₆₀ и поверхностью кристалла ZnO в гетероструктуре из тонкослойного композита «C₆₀ + ZnO» при ее облучении высокоинтенсивным УФ лазерным излучением;

предложен новый метод изучения взаимодействия сложных молекул с развитой твердотельной поверхностью (включая молекулы хлорофилла и биомембрану) с помощью спектрального анализа лазерно-индуцированной флуоресценции в непрерывном и импульсно-периодическом режимах.

Достоверность результатов исследований подтверждается применением прецизионных методов лазерной спектроскопии, включая НРР и РРР, а также флуоресценции, использованием тонких стабильных каналов в стеклянных капиллярах и сквозных пор в пористом стекле, а также высокочувствительной масс-спектрометрии, рентгеновского анализа и атомно-силовой электронной микроскопии. Полученные экспериментальные результаты по изменению потоков молекул (атомов) под действием лазерного излучения сопоставлены с вычисленными, на основе молекулярно-кинетической теории, которое показало хорошее их совпадение. Экспериментальные результаты диссертационных исследований и сделанные на их основе выводы согласуются с данными теоретического рассмотрения взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью.

Научная и практическая значимость результатов исследования заключается в полученных в ней физических результатах по изучению взаимодействия незаряженных молекул (атомов) с поверхностью твердого тела и его усиления при облучении лазерным излучением, а также в возможности его контроля по параметрам рамановского рассеяния, особенно РРР. Впервые показано, что такое взаимодействие имеет всеобщий характер и может относиться не только к молекулам на поверхности, но и к атомам инертных газов. Изучение взаимодействия в системе «молекула – поверхность» в случае композита «С60 + ZnO» выявило огромное многообразие физико-химических свойств обеих его составляющих. Физические характеристики рамановского рассеяния такими наноразмерными системами несут в себе важную информацию о их структуре и энергетике.

Результаты по управлению газового потока через узкокапиллярные системы и пористые среды, а также по контролю интенсивности взаимодействия прозрачной поверхности молекулярными (атомарными) частицами, расположенных на нём могут использоваться при разработке методов контроля химических и биохимических реакций в различных системах, включая живые объекты. Метод формирования сильного взаимодействия в переходе «С60-ZnO» может применяться для разработки тонкослойных гетероструктур для различных преобразователей энергии.

Практическая значимость исследований связана с возможностью конструирования новых, высокоэффективных устройств управления и контроля молекулярных и атомарных потоков на основе капиллярных и пористых стеклянных структур, а также гетерогенных тонкослойных структур с применением наноматериалов.

Внедрение результатов исследования.

Результаты исследований раман-спектроскопии взаимодействия незаряженных атомов и молекул с поверхностью прозрачного твёрдого тела:

по управлению газового потока через узкокапиллярные системы и пористые среды, а также по контролю интенсивности взаимодействия прозрачной поверхности с молекулами (атомами) были использованы (справка № 02/14-299 Академии Наук Республики Узбекистан от 26.01.2024 г.) при выполнении гранта № ОТ-F2-45; "Взаимодействие структурированного светового поля с нанобъектами". Полученные результаты позволили выявить минимумы интенсивности света, пропорциональные отношению радиуса цилиндра к длине волны, при облучении поверхности прозрачного диэлектрика цилиндрической формы коротковолновым излучением. Научные результаты по увеличению адсорбционного потенциала взаимодействия (адсорбции) молекул на поверхности стекла и по установлению интенсивного поляризованного взаимодействия атомов ксенона со стеклянной поверхностью в поле резонансного излучения использовались в численных расчётах для сравнения с результатами исследования проекта по изменению интенсивности поля в зависимости от размеров нанобъекта;

по исследованию спектральных характеристик и значительного увеличения потенциала взаимодействия (адсорбции) атомов ксенона на поверхности прозрачного твёрдого тела при облучении резонансным монохроматическим излучением, которые проявляются в спектрах рамановского рассеяния в виде стоксовых и антистоксовых компонент, а также метод определения химической адсорбции молекул на поверхности прозрачного твёрдого тела, были использованы (справка № 2/1255-294 Академии Наук Республики Узбекистан от 09.02.2024 г.) при выполнении научно-технических задач прикладного гранта № ФА-Атех-2018-17; "Разработка экспрессной высокочувствительной термоионной методики обнаружения и анализа следовых количеств новых психоактивных веществ". Полученные результаты позволили оценить энергию связи адсорбированных органических молекул на нагретой поверхности металла, а также выявить центры локализации зарядов на поверхности оксидов металла при адсорбции молекул;

по исследованию рамановского рассеяния тонким слоем границы (интерфейса) C_{60} - ZnO и возможность оценки взаимодействия между молекулами C_{60} и поверхностью ZnO по спектральным характеристикам рамановского рассеяния и флуоресценции, а также вывод, что интенсивность полосы рамановского рассеяния с частотой максимума при 1080 см^{-1} является прямым показателем силы взаимодействия в системе « $C_{60}+ZnO$ » были использованы (справка №02/17-804 Министерства высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан от 18.03.2024 г.) при выполнении научно-технических задач гранта № ОТ-Атех-2018-503 "Модификация электронной структуры, эмиссионных и оптических свойств поверхности слоев Si , Ni и их оксидов ионной бомбардировкой". Полученные результаты позволили оценить силы взаимодействия молекул фуллерена C_{60} с

поверхностью оксида цинка ZnO в области интерфейса по спектральным характеристикам рамановского рассеяния.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 22 международных и республиканских конференциях.

Публикация полученных результатов исследований. Полученные по теме диссертации результаты изложены в 40 научных трудах, из них 15 научных статей в рецензируемых журналах, в том числе 7 в иностранных журналах, и 8 статей в республиканских научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, 1 монография, 13 тезисов в международных научных конференциях, 9 тезисов в республиканских конференциях, а также две методических пособия для соискателей, студентов и научных работников.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Диссертация содержит 221 страницу текста, включая 41 рисунок и 4 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность исследований по теме диссертационной работы, сформулированы цель и задачи диссертации, определены объекты, предметы и методы исследований, а также связь диссертационных исследований с приоритетными направлениями развития науки и технологий в республике. Изложена научная новизна исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоретическая и практическая значимость, приведены данные о внедрении результатов, их апробации, а также сведения об объёме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Изучение взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью прозрачного твёрдого тела методами лазерной спектроскопии (обзор литературы)**» проведён обзор литературы по теме исследований. Проанализированы экспериментальные и теоретические работы по изучению взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью, особенно прозрачных, а также роль в этом лазерного излучения. Описан поляризационный механизм такого взаимодействия, который является наиболее последовательным и в количественном отношении более точно описывает имеющиеся экспериментальные результаты. Раскрыта определяющая роль резонансного лазерного излучения, связанная с образованием электрического диполя в этих молекулах (атомах) за счет смещения зарядов и их «зеркального отображения» на поверхности. Показана коллективная природа такого взаимодействия, которая также учитывает взаимодействие таких диполей между собой и их ориентацию относительно поверхности. При этом подчеркнута критичность близкого

расположения молекул (атомов) к поверхности (меньше длины волны лазерного излучения - λ).

С позиций основных закономерностей теории диффузии газов проанализировано прохождение потока молекул (атомов) через узко-канальчатые структуры (тонкие стеклянные капилляры или сквозные поры в пористом стекле) и влияние на него лазерного излучения. Рассмотрены основные физические факторы, влияющие на скорость потока молекул (атомов), а также представлены аналитические выражения, описывающие влияние условий эксперимента на скорость диффузии.

Представлены основные физико-химические свойства углеродной наночастицы – фуллерена C60 и пленки оксида цинка, ZnO, из которых были получены наноразмерные гетероструктуры с заданными характеристиками. Отсутствие сильной электронной связи между тонкими слоями указанных материалов не позволяет создать из такой гетероструктуры высокоэффективные электронно-оптические устройства. Для устранения такого недостатка применяют различные физико-химические методы, в частности облучают такую структуру интенсивным ультрафиолетовым лазерным излучением с $\lambda = 325$ нм и за счет окисления молекул C60 и их выстраивания в решетку ZnO. При этом контроль развития такого процесса приобретает ключевое значение. В этой главе описаны спектральные свойства рамановского рассеяния составляющих системы «C60 + ZnO», которые позволяют это осуществить.

Во второй главе **«Экспериментальные методы исследования взаимодействия незаряженных молекул (атомов) с поверхностью твёрдого тела»** описаны методы и установки, разработанные для проведения экспериментов диссертационной работы.

Обнаружение увеличения адсорбционного потенциала молекул под действием резонансного поля. Эксперименты по осаждению молекул брома на поверхность кварцевого стекла, облучаемого лазерного излучением с длиной волны $\lambda = 514,5$ нм показали заметное увеличение адсорбционного потенциала молекул под действием резонансного излучения. В этих экспериментах газовая фаза (молекулы) и адсорбент находились в динамическом равновесии, а измерения проводились в стационарных условиях. В такой системе углубление адсорбционного потенциала под действием излучения приводит увеличению числа молекул, адсорбированных на освещаемой лазером поверхности стекла.

Воздействие лазерного излучения на диффузию молекул брома через мелкопористую мембрану и на сорбцию молекул в пористой среде. Возможность управления потоком резонансных молекул с помощью лазерного излучения была изучена в мелкопористых стеклах и тонких стеклянных капиллярах. Эксперименты по фотосорбции показали, что размер канала является определяющим звеном для изменения потока молекул под действием лазерного излучения.

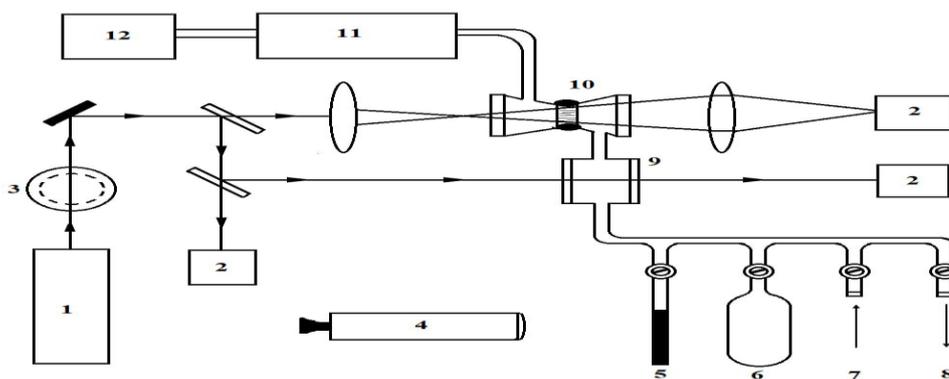


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки по сорбции молекул в пористой среде и прохождению молекул брома через многоканальный фильтр под действием лазерного излучения. 1 – аргоновый лазер ($\lambda=514,5$ нм), 2 – фотоприемники, 3 – ступенчатый аттенюатор, 4 – коллиматор контроля уровня брома, 5 – трубка с бромом, 6 – балластный объем, 7 – напуск примесных газов, 8 – откачка, 9 – реперная кювета, 10 – кювета с пористой мембраной, 11 – масс-спектрометр КМ-2, 12 – электроразрядный насос НОРД-100.

Диффузия молекул может происходить через многоканальный фильтр – сквозные поры или одноканальный фильтр – узкий капилляр. При проведении исследования лазерных гетерогенных процессов в каналах большое значение приобретает материал, из которого эти каналы изготовлены. При этом основное требование сводится к возможности эффективного ввода лазерного излучения в канал.

На Рис. 1 показана блок-схема экспериментальной установки по сорбции молекул в пористой среде и диффузии молекул брома через такой многоканальный фильтр под действием излучения. В экспериментах, в качестве источника излучения использовался аргоновый лазер мощностью ~ 1 Вт. Излучение данного лазера находится в резонансе с переходом $1^1\Sigma^+_{0g} \rightarrow V^3\Pi^+_{ou}$ молекулы брома. А в экспериментах по диффузии молекул SF_6 использовалось излучение CO_2 лазера на длине волны 10,6 мкм мощность 0,2 Вт (линия P20 полосы 00^01-10^00 , находится в резонансе с колебанием $\nu_3 SF_6$).

В качестве адсорбента в экспериментах использовались пластины из пористого стекла с губчатой структурой. Такой материал имеет огромную удельную поверхность - около $100 \text{ м}^2/\text{г}$ с объёмом пор около $0,18 \text{ см}^3/\text{г}$, а радиус пор - порядка 10 нм. Пористые стекла могут быть получены в результате термической и химической обработки стёкол особого состава.

Учитывая, что спектроскопия рамановского рассеяния и флуоресценции являются мощным методом исследования взаимодействия молекул (атомов) с поверхностью твердых материалов, основные спектрально-энергетические характеристики рамановского рассеяния и флуоресценции молекул брома и атомов ксенона, адсорбированных на стеклянной поверхности, изучены с помощью вышеуказанной экспериментальной установки. Эти эксперименты показали, что взаимодействие молекул брома и атомов ксенона со

стеклянной поверхностью под действием резонансного лазерного излучения действительно приводит к значительным изменениям указанных спектров. При этом раман-спектроскопия за счет определения углубления потенциала и соответствующих изменений колебательных свойств, может использоваться для мониторинга физико-химических изменений на поверхности твердого тела, таких как коррозия, окисление или же формирование слоя адсорбата. Взаимодействие атомов и молекул с наноструктурами на поверхности прозрачного твердого тела может также изменять их раман-спектры, что делает этот метод мощным и универсальным инструментом исследования наноматериалов.

При проведении экспериментов по измерению слабоинтенсивного рамановского рассеяния молекулами (атомами) на поверхности прозрачного тела, с учётом того, что материал последнего значительно больше, чем адсорбируемые молекулы (атомы), следует принять меры по выделению рассеянного излучения из соответствующих участков изучаемой системы. Этого можно добиться или селективным облучением только той области, в которой расположены изучаемые молекулы (атомы), или же спектральным выделением отдельной части рассеянного излучения.

Так как в преобладающем большинстве экспериментов изучаемая система включала в себе стекло (стеклянный капилляр, пористое стекло или кварцевая подложка), в их спектре всегда присутствовал рамановский спектр плавленого кварца и его следует учитывать (еще лучше вычленив). На Рис. 2 показан такой спектр, полученный при возбуждении пористого стекла из плавленого кварца излучением аргонового лазера с $\lambda = 514,5$ нм.

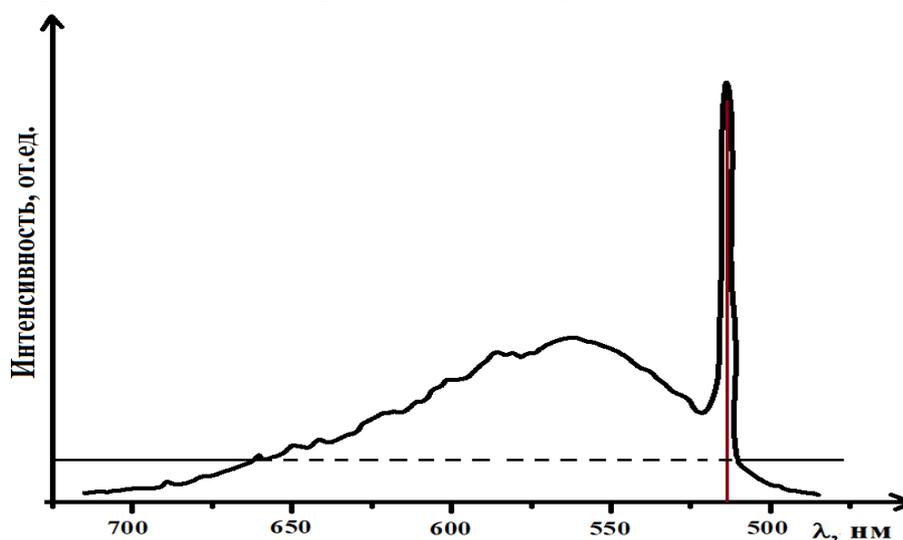


Рис. 2. Спектр рассеяния чистого (без адсорбированных молекул) многоканального фильтра из кварцевого стекла. Длина волны возбуждения $\lambda = 514,5$ нм (красная линия).

Интенсивность рассеяния достаточно слабая, а спектр с максимумом при ~ 440 см^{-1} очень широкий и простирается вплоть до 1000 см^{-1} . В этих условиях, в экспериментах, используя спектрометр высокого разрешения (ДФС-24) узкие линии рамановского рассеяния брома, ксенона и других

частиц, с частотным сдвигом несколько сотен см^{-1} изучены с высокой точностью.

Жгут из множества оптических волокон без оболочки, как оптическая структура с сильно развитой поверхностью и с длиной, которая может на многие порядки превышать толщину альтернативных структур, предложен для вышеуказанных экспериментов для повышения интенсивности взаимодействия молекул (атомов) со стеклянной поверхностью. На Рис. 3 показано поперечное сечение такой оптической структуры. Как можно понять из рисунка, в такой конструкции многократно увеличивается поверхность, на которую могут адсорбироваться молекулы (атомы). В таком волокне, в одномодовом режиме распространения излучения можно управлять интенсивностью его доли, распространяющейся по оболочке, посредством подбора безразмерного волноводного параметра. Кроме того, формируя направленные ответвители в тех же волокнах можно направлять различные спектральные компоненты рассеяния по различным волноводным каналам.

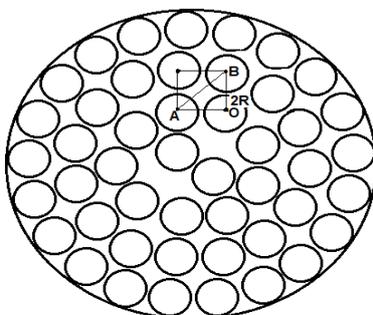


Рис. 3. Поперечное сечение жгута из оптических волокон.

В этой главе также описаны наиболее эффективные и широкоприменяемые методы изготовления и контроля параметров тонких слоев оксида цинка ZnO и молекул фуллерена C_{60} для образования наноразмерной гетероструктуры, а также важнейшие оптические свойства таких материалов. Подчеркнуто, что методы спрей-пиролиза позволяет путем подбора температуры, давления и концентрации ацетата цинка достаточно точно управлять важнейшими физическими, в том числе электронно-оптическими, свойствами наноструктурированного рельефа, а также степенью кристалличности пленки ZnO .

В третьей главе «Спектроскопические исследования адсорбции атомов ксенона на поверхности прозрачного твердого тела» проанализирована роль межатомного взаимодействия в поведении атомов и молекул при различных физико-химических условиях, а энергия взаимодействия атомов предложена как количественная мера для этого. В качестве наиболее важного практического примера влияния энергии межатомного взаимодействия на возможные состояние вещества указано существование гомоядерных двухатомных молекул и преобразование благородных газов в другие агрегатные состояния.

При исследовании взаимодействия атомов и молекул с поверхностью важное значение имеет характер межатомного взаимодействия и его влияние на физико-химические свойства таких систем. Одним из важнейших направлений исследований в этом контексте является задача, как учитывать межатомное взаимодействие при общем взаимодействии инертных газов, например, ксенона, с поверхностью твёрдого тела при облучении лазерным излучением. Одним из мощных методов изучения этого элемента является раман-спектроскопия, которая позволяет буквально «заглядывать» в атомарное строение ксенона под воздействием лазерного излучения. Ксенон, будучи инертным газом, не проявляет себя в обычных условиях. Однако, при взаимодействии с лазерным излучением может наблюдаться рассеяние последнего атомами ксенона на поверхности твёрдого тела, когда можно получить информацию о колебательных состояниях ксенона. Адсорбционный потенциал - это энергетический барьер, который атомы (молекулы) должны преодолеть, чтобы адсорбироваться на поверхности твёрдого тела. Воздействие лазерного излучения может изменить этот потенциал, делая адсорбцию более или менее вероятной. При физической адсорбции атомы и молекулы, находящиеся на поверхности, совершают колебания в адсорбционном потенциале. Наблюдение этих колебаний важно для изучения адсорбционного взаимодействия. Инертные газы, такие как аргон, криптон и ксенон, часто используются в спектроскопических исследованиях межатомного взаимодействия на поверхности твёрдых тел. С этой целью изучены спектральные свойства молекул ксенона на поверхности кварцевого стекла под действием резонансного лазерного излучения. Экспериментально обнаружено рамановское рассеяние излучения аргонового лазера с длиной волны 488,0 нм атомами ксенона, адсорбированного в мелкопористом монодисперсном стекле. Этим подтверждена возможность углубления адсорбции ксенона и значительная деформация энергии атомов за счёт поляризационного взаимодействия с поверхностью.

На Рис. 4 показаны спектры рамановского рассеяния атомами ксенона, адсорбированными в пористом стекле и их изменения при длительном воздействии излучения.

Наблюдаемые полосы стокс-антистоксовых компонент рамановского рассеяния интерпретируются как проявление переходов между различными колебательными состояниями атома ксенона в адсорбционном потенциале. Причем, при длительном облучении лазерным излучением сложная динамика изменений потенциала взаимодействия атомов с поверхностью за счет изменения характера адсорбции в порах соответственно отражается в спектрах стокс-антистоксовых компонент рассеяния. В предположении, что поле адсорбционных сил характеризуется потенциалом Морзе, полученные спектры позволяют определить параметры колебательного движения. В рассматриваемом случае, считая, что величина ангармонизма, $x_e \omega_e = 2,7 \text{ см}^{-1}$, глубина адсорбционного потенциала $D_0 = 1900 \text{ см}^{-1}$, характерный размер потенциала $I = 0,22 \text{ \AA}^0$, основную частоту можно определить, как $\omega_0 = 143,5$

см^{-1} . В эксперименте, первый обертон колебательной полосы наблюдался в частотном интервале $100 \div 200 \text{ см}^{-1}$. Большая интенсивность антистоксовой полосы по отношению к стоксовой требует особого рассмотрения и анализа. Это же касается медленного выравнивания интенсивностей стоксовой и антистоксовой компонент рассеяния при длительном лазерном воздействии.

Электронно-колебательное взаимодействие системы «атом ксенона + поверхность стекла» наряду с низкоэнергетическими компонентами вызывает также компоненты более высоких энергий. После заполнения пористого образца ксеноном наблюдались интенсивные полосы рамановского рассеяния адсорбированного ксенона (лежащие вне области появления полос рамановского рассеяния стекла. Интенсивности сильных полос рамановского рассеяния линейно зависели от интенсивности лазерного облучения в диапазоне $10 \div 200 \text{ мВт}$ и составили приблизительно 10^{-6} от интенсивности рассеяния на частоте возбуждения.

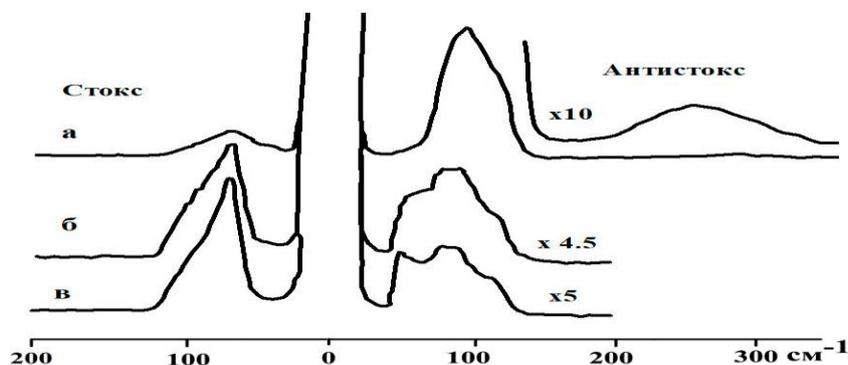


Рис. 4. Спектры рамановского рассеяния атомами ксенона, адсорбированными в пористом стекле: а – спектр рассеяния после 10 часов, б – после 20 часов и в - после 30 часов облучения с длиной волны $\lambda = 488 \text{ нм}$.

Сравнение экспериментально измеренных частотных сдвигов максимумов и границ полос с литературными данными по спектральным линиям, в основном, совпадают с частотами переходов между возбужденными уровнями атомов ксенона. Многие переходы ложатся внутри широких полос рассеяния или на их хвосты, но они плохо спектрально разрешены. С уверенностью можно утверждать, что наблюдаемый в экспериментах спектр рассеяния является спектром рамановского рассеяния на электронно-колебательных переходах адсорбированных атомов ксенона.

Отмечены некоторые особенности наблюдаемого рамановского рассеяния: переходы при таком рассеянии происходят среди нижних возбужденных уровней ксенона, отстоящих, однако, на большом расстоянии от основного ($\sim 10 \text{ эВ}$). Так, переходы с уровней $6s'$, $6p[1/2]_1$, $6p[5/2]_2$ при облучении излучением $514,5 \text{ нм}$ и с $6s'$, $6p[1/2]_1$ при облучении излучением $488,0 \text{ нм}$ могут происходить через возбуждение высоких предионизационных уровней, а переходы с более высоких уровней – через ионизацию (порог

ионизации ксенона $97834,4 \text{ см}^{-1}$). При длительном воздействии лазерного излучения в одно и то же место образца интенсивность антистоксовых полос уменьшается, но при смещении излучения на новый участок образца вид спектра рассеяния восстанавливается.

Следует предположить, что атомы адсорбированного ксенона находятся в возбужденном состоянии или приобретают энергию в момент адсорбции. Причем распределение возбуждения по электронным уровням неравновесное, существует инверсия в заселении отдельных уровней. Интересно, что самый большой пик в антистоксовой компоненте соответствует переходу, на котором получена интенсивная генерация в гелий-ксеноновом лазере. Воздействие лазерного излучения приводит к перераспределению адсорбированных атомов ксенона по энергетическим уровням. Изучение механизма возбуждения ксенона на поверхности требует проведения детального исследования адсорбции инертных газов.

При исследовании спектральных свойств ксенона на поверхности кварцевого стекла под действием резонансного лазерного излучения обнаружено рамановское рассеяние атомарного ксенона вблизи поверхности стекла, что продемонстрировало возможность образования их молекул в возбужденном состоянии при значительной деформации электронной оболочки атомов за счёт поляризационного взаимодействия с поверхностью.

В четвертой главе диссертации «Спектроскопия лазерно-индуцированных изменений энергии молекул брома вблизи поверхности» исследована возможность контроля потока (диффузии) молекул брома в канальчатых структурах (тонкий стеклянный капилляр, пористое стекло со сквозными порами) путем облучения лазерным излучением. Исследованы стоксово и антистоксово компоненты рамановского рассеяния излучения криптонового лазера молекулами брома, адсорбированными на поверхности пористого стекла (Рис. 5). Спектр рамановского рассеяния имеет вид широкой полосы, лежащей примерно от 100 см^{-1} до 320 см^{-1} с максимумом при 260 см^{-1} с неразрешенной тонкой структурой. Коллективное движение молекул брома в порах, повидимому, создает такой широкий спектр рассеяния.

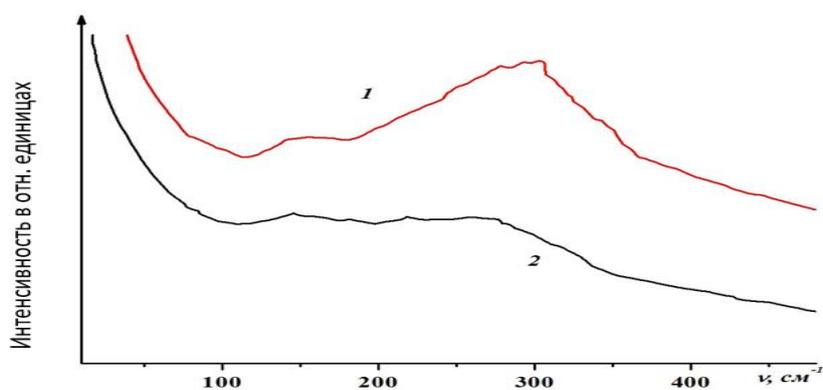


Рис. 5. Рамановское рассеяние брома в порах: стоксово (1) и антистоксово (2) компоненты. Длина волны возбуждения $647,1 \text{ нм}$.

Спектры рамановского рассеяния молекул брома, адсорбированных в каналах мелкопористого фильтра, сильно зависят от их концентрации в порах. При больших концентрациях роль молекул, испытывающих влияние поверхности, мала и спектральные характеристики брома в порах близки к характеристикам свободного брома, а при малых концентрациях за счёт изменения степеней свободы молекулы у поверхности, спектр рамановского рассеяния брома в порах резко отличается от спектра свободного брома. Полученные результаты существенны для понимания гетерофазных процессов, происходящих в мелких порах. Они показывают, что поверхность пор покрыта тонким слоем физически адсорбированных молекул брома, которого трудно устранить.

Изучение спектров раманского рассеяния показало, что молекулы, находящиеся на поверхности стекла совершают колебательное движение как целое. Движение молекулы в последующих слоях мало отличаются от молекул в газовой фазе, их движение в порах происходит по слою адсорбата.

Анализ диффузии адсорбируемого газа через пористую мембрану с учётом диффузии газа по входной поверхности, показал экспоненциальную зависимость изменения потока молекул от потенциала взаимодействия и температуры. В диссертации такая зависимость для молекул брома изучена экспериментально, в пределах от 8 до 64°С (Рис. 6).

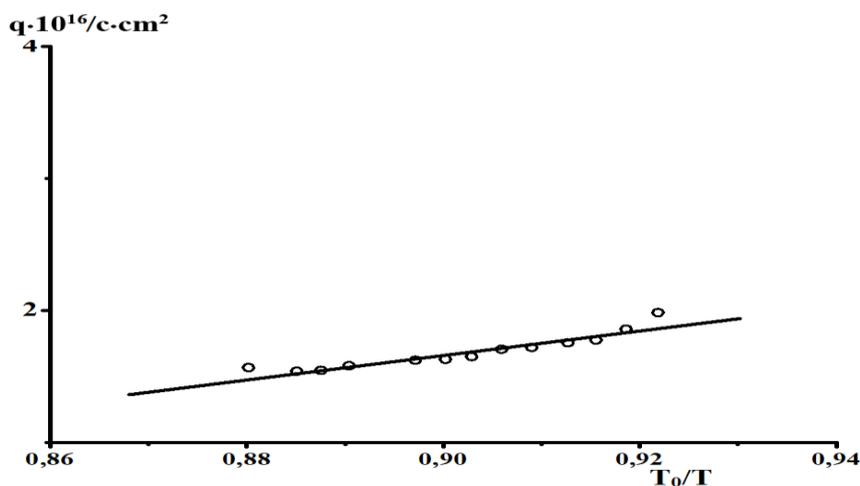


Рис. 6. Зависимость потока молекул брома через пористую мембрану от температуры ($P_0=9 \text{ Тор}$).

Согласно теории диффузии, в рассматриваемом случае стационарный поток молекул через прозрачную мембрану описывается выражением:

$$\frac{q^*}{q_0} = \exp[(1 - \alpha^*)\Delta U^*/kT], \quad (1)$$

где q^* и q_0 — значения потока при облучении системы лазерным излучением и без него, соответственно, ΔU^* — углубление потенциала взаимодействия молекулы с поверхностью при облучении, α^* — соотношение диполя и его отображения на поверхности, а T — температура.

При небольшом значении поглощения излучения в мембране, вышеуказанное выражение для потока молекул удобно выразить как:

$$\frac{q^*}{q_0} = \exp\{[(1 - \alpha^*)\Delta U^*T - (1 - \alpha)U\Delta T^*]/kT^2\}. \quad (2)$$

Такую зависимость потока можно непосредственно сравнивать с данными эксперимента. На Рис. 6 показано такое сравнение: данные наших экспериментов в диапазоне 23-37⁰C ($\frac{T_0}{T} = 0,92 \div 0,88$) хорошо согласуются с теорией.

Воздействие монохроматического света на молекулы брома, диффундирующих в мембране было исследовано в диапазоне значений потока от 0,1 до 100 мг/час см². Во всем этом диапазоне резонансное воздействие при постоянной интенсивности облучения и температуре было одинаково. Зависимость q^*/q_0 от интенсивности излучения при постоянной температуре и потоке ($T=20^0$ C, $q_0=2 \times 10^{15}/c \cdot \text{cm}^2$), вплоть до максимальных интенсивностей излучения ($\approx 0,15$ Вт/см²) продемонстрировала линейный характер (Рис. 7). Из данных этого эксперимента, можно получить, что $\Delta U = 2660 \pm 130$ град см²/Вт. Это означает, что при интенсивности облучения 1 Вт/см² на входной поверхности мембраны адсорбционный потенциал молекул брома увеличивается 1,5 раза, а поток в 8000 раз, что убедительно показывает огромные возможности управления потоком молекул брома с помощью лазерного излучения.

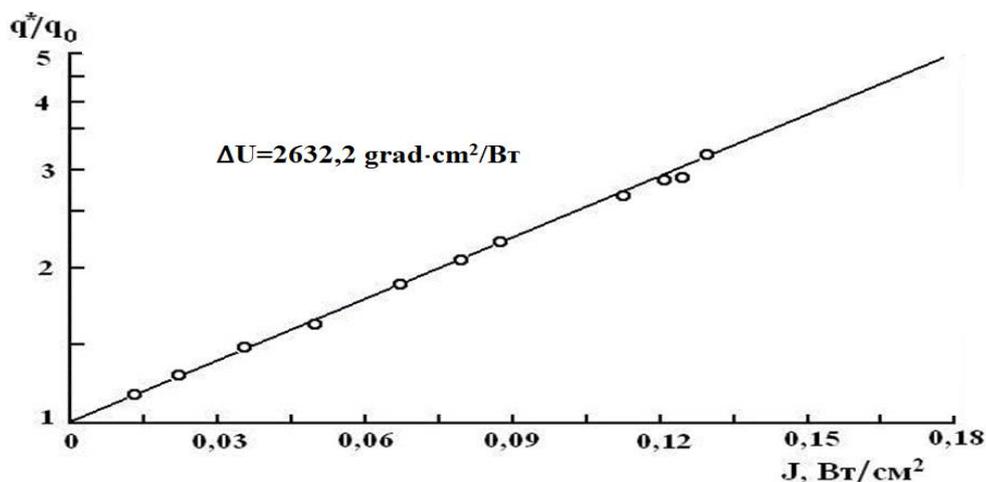


Рис. 7. Зависимость потока брома через пористую мембрану q^*/q_0 от интенсивности лазерного излучения, J.

Таким образом, проведённое нами исследование кинетики лазерных гетерогенных процессов в регулярных порах, как и в работах других авторов, ещё раз подтверждает их поляризационный характер, а также показывает, что в основе лазерного управления диффузией молекул через такие среды лежит мембранный механизм. Эксперименты по непосредственному измерению

времен диффузии молекул показали, что под действием лазерного излучения коэффициент диффузия уменьшается, и это приводит к уменьшению потока.

Экспериментальное исследование диффузии брома через пористые стёкла со сквозными каналами под действием лазерного излучения полностью подтвердило представление о поляризационном воздействии электромагнитного излучения на резонансные молекулы на поверхности. Показано, что управление потоком газа и селекцию веществ можно осуществить, используя возможность диффузии как в узких порах, так и на входной поверхности таких мембран. При этом обосновано, что использование входной поверхности более предпочтительно с учетом характера потенциала взаимодействия ксенона с поверхностью на различных участках мембраны. Вместе с тем, пористая структура стекла со временем изменяется, проницаемость пор сильно зависит от количества адсорбированных на их стенках молекул, в то время как свойства входной поверхности более стабильны. Имеется возможность оптимизировать ее характеристики, используя различные диэлектрические и металлические покрытия, не закрывающие пор. Более того, стеклянные мембраны с таким покрытием могут быть использованы в широком диапазоне длин волн. Подчеркнуто, что трудности в выборе мембран с определенным диаметром пор, их чистотой, а также возникающие при работе с диффузионными потоками на поверхности, могут быть смягчены варьированием температурных условий диффузии.

Процесс диффузии молекул через мелкопористую мембрану чрезвычайно чувствителен к изменениям параметров системы. Критическое воздействие на систему оказывает резонансное излучение и тепло. Интересным свойством рассмотренного механизма воздействия лазерного излучения на диффундирующие молекулы является противоположная направленность изменений потока молекул на различных участках диффузии под действием лазерного облучения. Показано, что резонансное воздействие во всех экспериментах является гораздо более значительным, чем термический эффект лазерного облучения.

Вышеописанная схема контроля диффузии молекул через мембрану из пористого стекла предложена применять в соответствующих устройствах селекции веществ и/или изотопов путем подбора длины волны лазерного излучения для соответствующей группы резонансных молекул. Энергетическая эффективность предложенного подхода может быть значительно выше альтернативных, т.к. для селекции каждой молекулы не требуется по одному фотону.

Таким образом, предложен метод лазерно-индуцированного изменения энергии молекул на поверхности, который позволяет их изменять при фазовом переходе под действием лазерного излучения. Этот метод может быть применен для анализа поверхностных явлений, таких как адсорбция; с учетом этого обстоятельства, спектроскопия лазерно-индуцированных изменений энергии молекул предоставляет собой уникальный инструмент

для исследования химической адсорбции молекул на поверхности. Её применение в различных областях, от катализа до нанofизических процессов, открывает новые горизонты для понимания природы и контроля взаимодействия материалов с определенными физико-химическими свойствами.

В пятой главе «**Взаимодействие между сложными молекулами и развитой поверхностью. Фуллерен C₆₀ на поверхности ZnO**» рассмотрена новая конструкция для изучения взаимодействия молекул с поверхностью твердого тела: углеродные наночастицы - молекулы фуллерена C₆₀, нанесенные на поверхность оксида цинка, ZnO, имеющей наноструктурированный рельеф. В отличие от небольших молекул и атомов и гладкой стеклянной поверхности, в такой системе за счёт уникальных электронно-оптических и структурных свойств составляющих, появляются качественно новые возможности для реализации взаимодействия «молекула + поверхность», позволяющие на этой основе разработать новые гетероструктуры для применения в электронике, фотовольтаике и пр.

Изучены оптические свойства тонкого слоя молекул фуллерена C₆₀ и пленки ZnO, которые позволяют реализовать схожие физические условия взаимодействия молекул с поверхностью, какие были изучены в предыдущих главах: активное поглощение молекулами лазерного излучения, когда поверхность, на которой находятся эти молекулы прозрачна. В рассматриваемой системе спектр поглощения ZnO охватывает только ультрафиолетовую область, а во всей видимой и инфракрасной областях этот материал прозрачен, тогда как C₆₀, имея менее интенсивное поглощение в ультрафиолетовой области, характеризуется достаточно интенсивным поглощением также и в видимой области спектра. Вместе с тем, обе составляющие такой системы обладают уникальными физико-химическими свойствами, что позволяет на их основе создавать новый класс электронно-оптических устройств с несравнимо лучшими характеристиками.

Однако, в такой системе отсутствует сильная электронная связь между молекулами C₆₀ и поверхностью ZnO и это обстоятельство является главным препятствием для достижения высокой эффективности в них фотоэлектрических и электронных процессов. В предложенном ранее методе облучения системы «C₆₀ + ZnO» интенсивным ультрафиолетовым лазерным излучением, для контроля возможности установления указанной электронной связи предложено использовать полосу рамановского рассеяния с максимумом при 1080 см⁻¹, которое, как показали проведенные эксперименты, всегда сопровождает процесс образования такой связи. Вместе с тем, свойства резонансного рамановского рассеяния излучения с длиной волны 325 нм в такой системе указывает на широкие перспективы для установления ее структурных особенностей.

В последней части главы проанализированы возможности применения флуоресценции сложных молекул (хлорофилла), находящихся на биомембране, в качестве индикатора воздействия окружающих условий

(оптимальные температуры, содержание воды и пр.). Последние через соответствующие физико-химические условия на биомембране влияют на спектральные и кинетические характеристики флуоресценции. Показано, что, изучая параметры быстрой (мгновенной), замедленной (с временной задержкой, связанной с обратным движением разделенных зарядов) и переменной (из-за конкуренции с фотохимическими процессами фотосинтеза) флуоресценцию хлорофилла на биомембране можно получить важную информацию о балансе процессов флуоресценции, тепловой диссипации или же фотостимулированных процессов переноса заряда при фотосинтезе.

Общим выводом является то, что рамановское рассеяние и флуоресценция, при облучении молекул (атомов) на поверхности твердого тела, когда они могут интенсивно взаимодействовать между собой, являются информативным средством для контроля такого взаимодействия. Силу взаимодействия, энергетику возникающих при этом колебаний, можно определять по спектральным характеристикам рассеяния и флуоресценции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в диссертационной работе экспериментальные данные и их детальный анализ позволяют сделать следующие выводы:

1. Впервые, экспериментально продемонстрирована возможность качественного усиления взаимодействия атомов ксенона с поверхностью стекла при их облучении резонансным лазерным излучением с длиной волны 488 нм. При этом рамановское рассеяние на колебаниях атомов ксенона, адсорбированных на поверхности, обуславливается исключительно электронно-колебательными переходами.

2. Установлено, что изменение адсорбционного потенциала атомов ксенона под действием резонансного лазерного излучения и образование связи между ними и поверхностью твердого тела можно количественно характеризовать по спектральным свойствам стокс-антистоксовых компонент резонансного рамановского рассеяния.

3. Доказан поляризационный механизм управления диффузионным потоком молекул брома через пористые мембраны при воздействии излучения аргонового лазера с длиной волны 514,5 нм. Показана возможность такого управления и селекции газов, используя свойства диффузии как внутри пор, так и на входной поверхности мембран.

4. Показано, что схема управления диффузией молекул через мембрану из пористого стекла или узкокапиллярный канал, разработанная в диссертационной работе, может применяться в устройствах селекции различных веществ и изотопов, путем подбора длины волны лазерного излучения для соответствующих резонансных молекул. Научно обосновано положение о том, что энергетическая эффективность данного метода

значительно выше альтернативных, т.к. для селекции каждой молекулы не требуется по одному фотону.

5. Показано, что лазерно-индуцированное изменение потенциала взаимодействия молекул в гетерогенных системах является методом, который позволяет определять их физические свойства при фазовых переходах под действием лазерного излучения. Этот метод может применяться для изучения таких поверхностных явлений, как адсорбция, химическая реакция и даже изменение структуры молекул.

6. Спектроскопия лазерно-индуцированных изменений энергии молекул брома и ксенона является уникальным инструментом для исследования химической адсорбции молекул на поверхности. Её применение в различных областях, от катализа до нанофизических процессов, открывает новые горизонты для понимания природы и физического механизма взаимодействия молекул с поверхностью твёрдого тела.

7. Показано, что в системе из тонкой пленки ZnO с наноразмерным рельефом поверхности и слоя молекул фуллерена C₆₀, осажденных на эту поверхность, за счёт специфических оптических и электронных свойств его составляющих, реализуются уникальные условия взаимодействия «наночастица + наноповерхность».

8. Впервые исследованы многофононные спектры резонансного рамановского рассеяния при возбуждении тонкой пленки ZnO лазерным излучением с длиной волны 325 нм, в которых по интенсивностям и спектральным ширинам полос рассеяния произведена оценка характера и природы резонансного рассеяния. Проанализированы теоретические представления о механизмах, приводящих к частотному смещению полос рассеянного излучения.

9. Показано, что спектрально-кинетические свойства флуоресценции молекул, находящихся вблизи поверхности и взаимодействующие с ней, являются информативным инструментом изучения такого взаимодействия и могут характеризовать активность параллельно идущих процессов усвоения световой энергии, а также воздействия на них окружающих условий. Такие системы реализованы и изучены как в виде простых молекул (атомов) на гладкой поверхности стекла, так и биомолекул на биомембранах.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF ION-PLASMA AND
LASER TECHNOLOGIES NAMED AFTER U.A.ARIFOV**

**NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN NAMED AFTER MIRZO
ULUGBEK**

MAVLYUDA ABDUKARIMOVNA ZAKHIDOVA

**RAMAN- SPECTROSCOPY OF THE INTERACTION OF UNCHARGED
ATOMS AND MOLECULES WITH THE SURFACE OF A
TRANSPARENT SOLID**

01.04.05 – Optics

**ABSTRACT OF DOCTORAL DISSERTATION (DSc) ON PHYSICAL AND
MATHEMATICAL SCIENCES**

TASHKENT- 2024

The theme of doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission of the Ministry of Higher Education, Science & Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.4.DSc/FM242.

The dissertation has been prepared at the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has on the website of the Scientific Council at ([www. iplt.uz](http://www.iplt.uz)) and on Information -educational portal “Ziyo Net” (www.ziynet.uz).

Scientific consultant:

Nematov Sherzod Kalandarovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

Official opponents:

Mamadalimov Abdug‘afur Teshaboyevich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
academician

Rakhmatullaev Ilyos Arzimurodovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, docent

Maxmanov Urol Kudratovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior
Researcher

Leading organization:

Tashkent State Technical University

The defense of the dissertation will take place on “ 29 ” may 2024. at 14.30 o‘clock at the meeting of the Scientific Council number DSc 02/30.12.2019. FM .65.01 at the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address 100125, Uzbekistan, Tashkent, Durmon yuli street, 33. Phone./fax: (+99871) 262-32-54, e - mail : info @ iplt . uz).

The dissertation can be found at the Information- Resource Center of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered under No.), (Address: 100125, Uzbekistan. Tashkent, Durmon yuli st., 33. Tel.: (+99871) 262-31-69 .

The abstract of the dissertation was sent out on “ ” 2024.
(Mailing report № on “ ” 2024).

Kh.B.Ashurov,

Chairman of the Scientific Council on
award of Scientific Degrees, Doctor of
Technical Sciences, Professor

I.D. Yadgarov,

Scientific Secretary of scientific
Council on Award of Scientific
Degrees, Doctor of Physical and
Mathematical Science, Professor

U.K. Maxmanov

Chairman of the Scientific seminar
under Scientific Council an Award
Scientific Degrees, Doctor of Physical
and Mathematical Science, Senior
Researcher Doctor of Technical
Sciences, Professor

INTRODUCTION (Abstract of DSc dissertation)

Relivance and necessity of the dissertation topic

At present, when new developments for the control of gas flows and modification of the surface characteristics of materials are widely and actively introduced into production all over the world, the identification of the basic physical properties of the interaction of atoms and molecules with a solid surface as an effective mechanism for solving such problems acquires an important scientific and practical significance. This circumstance is also connected with the wide application of methods for controlling surface chemical reactions, selecting gas flows, as well as applying a thin film of substance with specified characteristics to the surface using laser radiation. To date, the development of materials with certain surface properties using molecular and atomic flows allows obtaining a new level of quality in surface treatment.

All over the world, new technologies for surface treatment, including the imparting of nanophysical properties, as well as controlling the flow of molecules and atoms using surface-to-surface interaction have become priority areas for innovation development. Laser processing and surface nanotechnology methods are widely used. Raman spectroscopy study of interaction of uncharged atoms and molecules with the surface of transparent solid is also a priority in this field. In this case, controlling the force of interaction between molecules (atoms) and the surface of a solid body by changing the intensity of laser radiation, it is possible to control the flow (diffusion) of these molecules (atoms) in various transparent channeled (capillary and porous) structures. Moreover, by precisely matching the wavelength of laser radiation to the absorption wavelength of a certain group of molecules, it is possible to select them from the total flow of various molecules.

In Uzbekistan, also, the identification of the most important properties of interaction of atoms and molecules with solid surface has become the subject of systematic studies of both fundamental and applied character, related to the development of new technologies for materials processing and chemical catalysis. In the recent period, the physics of the impact of high-intensity laser radiation on a solid body has also been intensively studied as a mechanism for the formation of its surface with specified properties, and the structural changes occurring in it have become the basis for new developments.

The dissertation work is aimed at solving, to a certain extent, scientific and technical tasks provided for in the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. DP-2789 of February 17, 2017 "On measures for further improvement of the activity of the Academy of Sciences, organization, management and financing of scientific research works", No. DP-60 of January 28, 2022 "On the strategy of development of new Uzbekistan for 2022-2026", as well as No. DP-4422 of August 22, 2019 "On operative measures to increase energy efficiency of economic and special spheres, introduction of energy saving technology and development of renewable energy sources".

Compliance of the research with the priority directions and areas of development of science and technology of the republic.

This study was carried out in accordance with the priority directions of development of science and technology of the Republic of Uzbekistan - II. "Physics, astronomy, energy and mechanical engineering".

Review of international scientific research on the topic of the dissertation.

Studies on the interaction of molecules and atoms with the solid surface and control of surface phenomena in heterogeneous media under the action of laser radiation are carried out in leading centers and higher educational institutions, including: Institute of Light Physics (Germany), University of California, Berkeley (USA), Florida State University (USA), Nagoya University (Japan), Leiden University (Netherlands), Institute of Nanotechnology and Photonics (USA), Hanyang University (South Korea), Tsinghua University (China), University of Huddersfield (UK), Max Planck Institute for Surface Physics (Germany), Institute of General Physics of the Russian Academy of Sciences (Russia), Ioffe Institute of Physics and Technology (Russia), Institute of Physics and Technology of the Russian Academy of Sciences (Russia). Institute of Ioffe Physics and Technology (Russia), Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and in a number of other scientific centers around the world. The Institute of Light Physics in Germany conducts research on the interaction of laser radiation with materials, including porous structures, and the University of California, Berkeley in the USA conducts research on photochemical processes and surface phenomena under the influence of laser radiation.

The interaction of molecules (atoms) with a surface was studied in the works of the scientific groups of W. King¹, (USA), K. Wada (Japan), N.V. Karlov (Russia), etc. In recent years, this scientific problem has been intensively studied in the works V. Bortolani² (Italy) and I.V. Olenich³ (Ukraine) and a number of other researchers. Issues related to Raman scattering by the "molecule + surface" system, including its resonance type, have been studied in numerous works by P. J. Hendra (Great Britain).

At the Institute of General Physics of the Russian Academy of Sciences under the leadership of Dr. Physics and Mathematics. In the 1980s, Yu.N. Petrova conducted a series of studies on controlling the flow of bromine molecules using thin glass capillaries and developing the physical mechanisms of such processes.

The degree of knowledge of the problem.

The study of processes occurring in the interaction of atoms and molecules with the surface of solid materials under the influence of laser radiation is important for understanding fundamental processes on the surface of materials, as well as for the development of new materials and technologies. Selective molecular processes induced by resonant laser irradiation allow the control of gas

¹ King F.W., Van Duyne R.P., Schatz G.C. Theory of Raman scattering by molecules adsorbed on electrode surfaces // J. Chem. Phys. 1978. Vol. 69. No 10. PP. 4272-4281.

² Bortolani V., March N.H., Tosi M.P. (Eds.). Interaction of atoms and molecules with solid surfaces // Springer Science and Business Media. 2013. 665 P.

³ Olenych I.B., Monastyrskii L.S., Aksimentyeva O.I., Sokolovskii B.S. Effect of bromine adsorption on the charge transport in porous silicon-silicon structures // Electronic Materials Letters. 2013. Vol. 9. No. 3. PP. 257-260.

flow, the practical application of which holds great promise for the separation of substances and isotopes, controlled diffusion, catalysis and vaporization, the possibility of controlling the release of gases into the atmosphere, and the sorption of gases on the solid surface. These studies were mainly aimed at determining individual manifestations of selectivity of laser radiation impact on atoms and molecules adsorbed on the surface. No serious attention was paid to the qualitative change in the interaction of atoms and molecules with the surface in the case of coincidence of the laser radiation wavelength with the absorption wavelength of individual components of such a heterogeneous system. Most importantly, it was considered that excitation and ionization could be the determining mechanisms of selection of such particles, neglecting the energy efficiency of polarization interaction.

In Uzbekistan, the study of the interaction of atomic and ionic particles with the surface of a solid body they carried out at the Institute of Electronics of the Academy of Sciences since the middle of the last century for several decades. These works, aimed at the development of both fundamental mechanisms of such interaction and practical problems of their application, they mainly focused on the interaction of accelerated and charged particles with the surface. In the 80's and 90's of the last century in the Department of Thermophysics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (S.A.Bakhramov, M.A.Kasymdjanov, A.A.Zakhidov) were developed studies of electron-vibrational and nonlinear optical properties of the most important for physical optics media, including highly transparent in a wide range of wavelengths substances (quartz and multi-component glasses, optical fibers, nonlinear resonant gases, molecular materials, etc.). Currently, these studies have been significantly expanded to include nanophysics of such new materials as fullerenes, nanotubes and nanostructured zinc oxide thin film (Sh.U. Yuldashev, A.M. Kokhkharov, S.S. Kurbanov, U.K. Makhmanov, etc.).

Relation between dissertation research and research plans.

The dissertation work was carried out within the framework of the plan of scientific works of the Faculty of Physics of the National University of Uzbekistan and the project of the Program of Fundamental Research of the Academy of Sciences of RUz № K-12-004 "Composite nanomaterials: development and synthesis of elements with specified physical properties" (2015-2017), as well as within the framework of research of the project of the Department of Thermophysics (later Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of RUz): № F2-FA-F147 "Study of physical mechanisms of highly efficient conversion of solar energy in the primary processes of photovoltaics". Dissertation research was also carried out within the framework of implementation of the international project of STCU on development of fiber-optic elements of lidars (2007-2009), projects of the Association of the European Union "INTAS" and the National Science Foundation of Switzerland on study of fluorescence properties of photosynthesis process (2008-2009), project of the American Civilian Research and Development Foundation (CRDF) №3377 on

study of delayed and variable fluorescence of complex biomolecular systems (2011-2012), in which the applicant was a member of the main executors.

The purpose of the dissertation work was to reveal the physical nature of the interaction "molecule (atom) + surface" by Raman scattering, the role of resonant laser radiation in this, changes in the fluorescence of such a system, as well as to show the possibility of controlling the diffusion flow of molecules in glass capillaries and the formation of electronic bonds in the system "molecule C_{60} + surface ZnO" using laser radiation.

To achieve this goal, the following research objectives were formulated:

Develop experimental methods for studying the interaction of molecules (atoms), including fullerene C_{60} molecules, with the surface of a solid body under the influence of laser radiation;

Develop methods for controlling the interaction of molecules with a surface using Raman scattering, including resonant Raman scattering;

Study the basic properties of fluorescence of molecules in their interaction with a transparent surface;

Analyze new possibilities for experimental study of the interaction of molecules (atoms) with glass surface using optical fibers and fiber interferometric devices;

Establish the nature of deepening of the adsorption potential of a resonant molecule near the surface using the polarization mechanism of interaction of molecules (atoms) with the surface;

Establish a relationship between changes in the energy of molecules (atoms) adsorbed on the surface and their fluorescence and XRD spectra;

Develop a method of controlling the flow of molecules (atoms) through thin glass capillaries and filters made of finely porous glass by means of resonant laser radiation;

Study the possibility of formation of electronic coupling between C_{60} molecules and ZnO surface with nanostructured relief and its reflection in Raman scattering and (or) fluorescence spectra.

The objects of research are xenon atoms and bromine molecules near the glass surface (thin glass capillary or porous glass), as well as fullerene C_{60} molecules deposited on the ZnO surface with nanostructured relief. The effect of the surrounding physical conditions on the fluorescence characteristics of complex molecules in biomembranes we also studied (see Chapter V).

The subjects of research. The subjects of research were: physical nature of interaction of uncharged molecules (atoms) with the surface of a transparent solid body, including polarization mechanism, spectra of NRS and RRS, absorption and fluorescence of these objects, laser-stimulated mechanism of strong interaction between fullerene molecules and the surface of zinc oxide in the composite " C_{60} + ZnO", as well as physical properties of fluorescence of chlorophyll molecules on biomembranes.

Research methods. Raman, adsorption and fluorescence spectroscopy methods, including resonance spectroscopy, we applied in the research of the

dissertation. Medium-power argon, xenon, and helium-cadmium lasers, as well as a pulsed-periodic laser on neodymium garnet, Nd³⁺:YAG, with double modulation were used. Mass spectrometry we used selectively record the resonance gas flux. Atomic force microscopy and X-ray diffraction analysis we used to determine the physical properties of the heterostructure from a thin layer of C₆₀ molecules on the nanostructured ZnO surface and their exposure to resonant laser radiation (see Chapter II).

The scientific novelty of the research:

it has been experimentally shown for the first time that the interaction of uncharged molecules (atoms) with the surface of a transparent solid body can be described by a polarization mechanism associated with the interaction of the induced dipole moment in them and its "mirror image" in the transparent solid body under the action of laser radiation;

the possibility of multiple increase of interaction potential (adsorption) of bromine molecules with the glass surface at their irradiation by resonant laser radiation with a wavelength of 514.5 nm due to polarization interaction in such a system has been demonstrated;

the polarization character of the interaction of xenon atoms with the surface of a transparent porous solid in the field of resonant radiation with a wavelength of 488.0 nm has been proved. Moreover, in this process, the electron-vibrational characteristics of the system "atom + surface" can be determined from the spectra of the Stokes-antisox components of Raman scattering;

the possibility of quantitative assessment of energy changes in the interaction of molecules (atoms) on the surface of a transparent solid body by Raman scattering and fluorescence spectra has been scientifically substantiated; it has been shown that the methods of fluorescence and resonant Raman scattering can be an effective tool for studying the adsorption of molecules (atoms) on the surface, and the fluorescence kinetics of chlorophyll molecules on a biomembrane is an informative means of studying the impact of surrounding physical conditions on them;

it is shown for the first time that under irradiation with ultraviolet laser radiation with a wavelength of 325 nm there is a qualitative enhancement of the molecule-surface interaction in a heterostructure made of a thin layer of C₆₀ molecules deposited on the surface of ZnO with nanostructured relief; at the same time, the dynamics of such a process can be monitored by the intensity and Raman scattering spectra;

the possibility to estimate the intensity of interaction between C₆₀ molecules and ZnO surface by spectral characteristics of Raman scattering and fluorescence has been demonstrated, in particular, it has been shown that the intensity of the Raman scattering band with the maximum frequency at 1080 cm⁻¹ is a direct indicator of the interaction strength in the system "C₆₀ + ZnO".

The practical results of the study are as follows:

experimental setups for studying the diffusion of molecular bromine and atomic xenon through glass capillaries under the action of laser study have been

developed, allowing to determine the physical nature of the interaction of molecules/atoms with the glass surface, as well as the effect of laser radiation on it;

the parameters of polarization interaction of molecules (atoms) with a transparent surface, including at irradiation of such a system by resonant laser radiation, have been established for the first time;

the possibility of controlling the strength of the interaction between a molecule (atom) and a transparent surface by the intensity and spectra of the Stokes-antistokes components of Raman scattering of radiation by such a system is shown;

the possibility of establishing a strong interaction between fullerene molecules C_{60} and the surface of ZnO crystal in heterostructure from thin-layer composite " $C_{60} + ZnO$ " at its irradiation by high-intensity UV laser radiation has been demonstrated for the first time;

a method for studying the interaction of complex molecules with a developed solid surface (including chlorophyll molecules and biomembrane) using spectral analysis of laser-induced fluorescence in continuous and pulse-periodic modes is proposed.

The reliability of the research results they confirmed by the use of laser spectroscopy methods, including NRS and RRS, as well as fluorescence, the use of thin stable channels in glass capillaries and through pores in porous glass, as well as highly sensitive mass spectrometry, X-ray analysis and atomic force electron microscopy. The obtained experimental results on the change in the fluxes of molecules (atoms) under the action of laser radiation they compared with the calculated ones, based on molecular kinetic theory, which showed a good match. Experimental results of dissertation research and conclusions made on their basis agree with the data of theoretical consideration of the interaction of molecules (atoms) with the surface.

Scientific and practical significance of the research results.

The scientific value of the dissertation consists in the physical results obtained in it on the study of the interaction of uncharged molecules (atoms) with the surface of a solid body and its enhancement under irradiation with laser radiation, as well as the possibility of its control by the parameters of Raman scattering, especially RRS. It is shown for the first time that such interaction has a universal character and can refer not only to molecules on the surface, but also to atoms of inert gases. The study of the interaction in the "molecule-surface" system in the case of the composite " $C_{60} + ZnO$ " revealed a great variety of physical and chemical properties of both its components. Physical characteristics of Raman scattering by such nanoscale systems carry important information about their structure and energy

The practical significance of the research is related to the possibility of designing new, highly efficient devices for controlling and monitoring molecular and atomic flows based on capillary and porous glass structures, as well as heterogeneous thin-layer structures using nanomaterials.

The obtained results on the control of gas flow through narrow capillary

systems and porous media, as well as on the control of the interaction intensity of a transparent surface by molecular (atomic) particles located on it can be used in the development of methods for controlling chemical and biochemical reactions in various systems, including living objects. The method of formation of strong interaction in the transition "C₆₀-ZnO" can be used for the development of thin-layer heterostructures for various energy converters.

Implementation of research results.

The results of the dissertation work, obtained on the control of gas flow through narrow capillary systems and porous media, as well as on the control of the intensity of interaction of transparent surface with molecules (atoms), were used in the implementation of grant № OT-F2-45; "Interactions of structured light field with nano-objects" performed at the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov in 2017-2020. The obtained results allowed to reveal the minima of light intensity proportional to the ratio of the cylinder radius to the wavelength, when irradiating the surface of a transparent dielectric cylindrical shape cylindrical radiation. Scientific results on increase of adsorption potential of interaction (adsorption) of molecules on glass surface and on establishment of intensive polarization interaction of xenon atoms with glass surface in the field of resonant radiation were used in numerical calculations for comparison with the results of the project research on change of field intensity depending on the size of nano-object. (reference № 02/14-299 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan from 26.01. 2024).

The results of the dissertation work obtained on the study of spectral characteristics and a significant increase in the interaction potential (adsorption) of xenon atoms on the surface of a transparent solid under irradiation with resonant monochromatic radiation, which is manifested in the Raman scattering spectra in the form of Stokes and anti-Stokes components, as well as the use of the method to determine the chemical adsorption of molecules on the surface of a transparent solid were used in the performance of scientific and technical tasks of the applied research. The results obtained made it possible to estimate the binding energy of adsorbed organic molecules on the heated metal surface, as well as to identify the charge localization centers on the surface of metal oxides during the adsorption of molecules. (reference No. 2/1255-294 of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan from 09.02. 2024).

The results of the dissertation work obtained on the study of Raman scattering by a thin layer of the boundary (interface) of C₆₀ and ZnO and the possibility to evaluate the interaction between molecules of C₆₀ and ZnO surface by spectral characteristics of Raman scattering and fluorescence and that the intensity of the Raman band with the frequency of maximum at 1080 cm⁻¹ is a direct indicator of the interaction strength in the system "C₆₀ + ZnO" were used in the performance of scientific and technical tasks of the grant № OT-Atech-2018-503 "Modification of the electronic structure, emission, and interaction between C₆₀ and ZnO". The obtained results allowed us to estimate the interaction forces of fullerene molecules C₆₀ with the surface of zinc oxide ZnO (in the interface region) by spectral

characteristics of Raman scattering (reference №02/17-804 of the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan from 18.03.2024).

Approbation of the work. The results of the dissertation work were reported and discussed at 22 international and national conferences.

Publication of research results. The results obtained on the subject of the dissertation are presented in 40 scientific works, including 15 scientific articles in peer-reviewed journals, including 7 in foreign journals, and 1 monograph, 13 abstracts in international scientific conferences, 9 abstracts in national conferences, as well as two methodological manuals for applicants, students and researchers.

Structure and volume of dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The dissertation contains 221 pages of text, including 41 figures and 4 tables.

E‘LON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I bo‘lim (I часть; part I)

1. Карлов Н.В., Орлов А.Н., Петров Ю.Н., А.М.Прохоров, Якубова М.А. Обнаружение колебательного движения адсорбированных атомов ксенона // Письма в ЖЭТФ, 1981. Т. 34. Вып. 1. – С. 13-15. **IF 1.4**
2. Карлов Н.В., Орлов А.Н., Петров Ю.Н., Прохоров А.М., Якубова М.А. Обнаружение электронно-колебательных переходов в спектре комбинационного рассеяния света адсорбированными атомами ксенона // Письма в ЖЭТФ, 1981. Т. 34. Вып. 4. – С. 189-192. **IF 1.4**
3. Karlov N.V., Laguchov A.S., Orlov A.N., Petrov Yu.N., Prokhorov A.M., Yakubova M.A., Heterogeneous selective processes under the action of laser radiation // Physical-chemical series, Springer-Verlag. – Berlin, Heidelberg, 1986. Vol. 9. – P. 505-506. **IF 4.177**
4. Захидова М.А., Хайдаров А.М. Об одном эффективном методе управления диффузией газа с помощью резонансного лазерного излучения // Известия АН УзССР, 1990. Серия физическая. N. 6. – № 3. – С. 85-87.
5. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Kasymdzhanov M.A., Khabibullaev P.K. Induction of the in vivo chlorophyll fluorescence excited by CW and pulse-periodical laser radiation // Uzbek Journal of Physics, 1996. Vol. 6. – P. 42-47.
6. Захидов Э.А., Захидова М.А., Хайдаров А.В. Гигантское комбинационное рассеяние света молекулами в волоконно-оптических структурах с металлическим покрытием // Узбекский физический журнал, 1997. – № 5. – С. 40-43.
7. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Kasymdzhanov M.A., Kurbanov S.S., Khabibullaev P.K. Nonphotochemical Quenching of Fluorescence in Photosynthetic Systems Exposed to Environmental Stresses // Doklady Biochemistry and Biophysics, 2001. Vol. 378. – P. 206-209. **IF 0.8.**
8. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Kasymdzhanov M.A., Kurbanov S.S., Khabibullaev P.K. Diagnostics of the Optimum Temperatures for Photosynthesis by Measuring Chlorophyll Fluorescence in Plants // Doklady Biological Sciences, 2002. Vol. 382. – P. 44-47. **IF 0.69**
9. Захидова М.А. Замедленная флуоресценция пурпурных фотосинтетических бактерий *Blastocholis Viridis* // Вестник НУУЗ. – Т., 2005. – № 3. – С. 68-71.
10. Захидова М.А. Лазерное резонансное управление переносом молекул брома через пористые стеклянные мембраны // Узбекский физический журнал. – Т., 2009. Т. 11. – № 1. – С. 36-46.
11. Захидова М.А. Спектроскопия адсорбированных атомов и молекул вблизи поверхности индуцированная лазерным излучением // Узбекский физический журнал. – Т., 2009. – № 4. – С. 279-289.

12. Захидова М.А. Спектроскопия изменений энергии атомов и молекул вблизи поверхности индуцированная лазерным излучением // УзМУ хабарлари. – Т., 2009. – № 2. – С. 134-140.

13. Захидова М.А., Захидов Э.А. Флуоресцентные методы контроля фотосинтетических процессов преобразования солнечной энергии. – Ташкент: Издательство Фан ва технология, 2015. – 92 с.

14. Захидов Э.А., Захидова М.А., Каххаров А.М., Нематов Ш.К., Нусретов Р.А., Кувондиқов В.О., Сапарбоев А.А. Спектроскопия комбинационного рассеяния интерфейса тонкой наноструктурированной плёнки ZnO и фуллерена C60 // Оптика и спектроскопия, 2017. Том 122. – № 4. – С. 627-634. **IF 0.74**

15. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Kokhkharov A., Nematov Sh.K., Nusretov R.A. Modification of ZnO film surface by C60 molecules: Raman and photoluminescent spectroscopy of the interface ZnO-C60 // Uzbek Physical Journal, 2017. Vol. 19. No 4. – P.220-228.

16. Захидова М.А., Шомуродова Ш.А. Селективные фотопроцессы в поле резонансного лазерного излучения // Научные разработки евразийский регион. – Москва: Издательство Инфинити, 2019. – С. 238-243.

17. Захидова М.А. Гетерогенные процессы, индуцированные резонансным лазерным излучением. **Монография**. – Ташкент: Innovatsiya-Ziyo”, 2021. – 129 с.

18. Zaxidova M.A., Rasulova M.E. Optika. – Toshkent: Innovatsiya-Ziyo, 2022. – 229 b.

II b'lim (II часть; part II)

19. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Khaydarov A.V. Surface Enhanced Raman Scattering of light by biomolecules in fiber-optic structures with metallic cover / Proceedings of the International Conference on Raman Scattering. – Wurtzburg, Germany, 1992. – P. 21.

20. Захидов Э.А., Захидова М.А., Хайдаров А.В. Гигантское комбинационное рассеяние света биомолекулами в волоконно-оптических структурах с металлическим покрытием / Труды Международной конференции “Альтернативные лазерные технологии”. – Москва, 1992. Ч. 2. – С. 46.

21. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Kasymdzhanov M.A., Khabibullaev P.K. Raman Spectroscopy of the atoms and molecules on the glass surface / Abstracts of the International Conference on Raman Spectroscopy. – Hong Kong, 1994. – P. 53-55.

22. Zakhidova M.A., Kasymdzhanov M.A., Kurbanov S.S., Khabibullaev P.K. Fluorescence Test of Functioning and Efficiency of Photosynthetic Systems under environment Stresses / 9th Congress of FAOBMB. Book of Abstracts. – Lahore, Pakistan, 2001. November 5-9. – P. 9-10.

23. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A. Short Wavelength Fluorescence

Spectroscopy of Bchl b of purple photosynthetic bacteria / Book of Abstracts of 10th European Conference on Spectroscopy of Biomolecules. Szeged. – Hungary, 2003. – P. 33.

24. Захидова М.А. Температурная зависимость флуоресценции пурпурных фотосинтетических бактерий *Blastochloris Viridis* / Труды Республиканской научно-практической конференции “Лазерная физика и прикладные аспекты лазерной физики”. – Ташкент, 2004. – С. 44-48.

25. Захидов Э.А., Захидова М.А., Нематов Ш.К. Энергетическая эффективность преобразования солнечной энергии в процессе фотосинтеза / Материалы конференции “Физика в Узбекистане”. – Т., 2005. – С. 132-133.

26. Захидова М.А. Фотоингибирование и флуоресценция хлорофилла / Труды научно-практической конференции “Лазерная физика, прикладные аспекты оптики и лазерной физики”. – Ташкент, 2006. 22 декабря. – С. 74-79.

27. Захидова М.А. Фотосинтетические системы как биологический функциональный элемент / “Экспериментал ва назарий физика” илмий-амалий анжуман мақолалари тўплами. – Тошкент, 2006. – Б. 126-129.

28. Zakhidov E.A., Zakhidova M.A., Khabibullaev P.K. Study of interfacial effects using Surface Enhanced Raman Scattering at pulse-periodical laser excitation / Abstracts of 6th Korea-Uzbekistan Joint International Symposium on Quantum Functional Semiconductors. – Seoul, Korea, 2007. – P. 11-12.

29. Захидова М.А. Модельные фотосинтезирующие системы с высокой эффективностью преобразования солнечной энергии функционирующие как полупроводниковые элементы / Материалы Международной конференции “Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах”. – Ташкент, 2007. – С. 170.

30. Захидова М.А. Квантовая эффективность управления диффузией газов через капилляр / Материалы Республиканской конференции “Современная физика и ее перспективы”. – Ташкент, 2009. – С. 184-188.

31. Нематов Ш.К., Миртоджиев Ф.М., Таджибаев И.И., Захидова М.А., Захидов Э.А. Мультиплексор последовательности оптических солитонов на основе нелинейной волоконной петли / “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни”. РИАК-7. – Тошкент, 2014. – Б. 133-136.

32. Захидова М.А. Селективные гетерогенные процессы в поле резонансного лазерного излучения / Материалы Республиканской конференции “Микроэлектроника, нанозарралар физикаси ва технологиялари”. Андижан, 2015. – С. 337-339.

33. Захидова М.А., Мамаджанова Д.Б. Селективное управление газовыми потоками в поле резонансного лазерного излучения / Международная научно-практическая онлайн-конференция “Интеллектуальные технологии в образовании”. – Ташкент, 2021. – С. 1713-1722.

34. Захидова М.А., Хурасанова Г.М. Селективные фотопроцессы в поле лазерного излучения / Международная научно-практическая онлайн-

конференция “Интеллектуальные технологии в образовании”. – Ташкент, 2021. – С. 2033-2035.

35. Захидова М.А., Давлатова С.А. Селективное управление газовыми потоками в поле лазерного излучения / “Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни”. РИАК-14. – Тошкент, 2021. – Б. 231-234.

36. Захидова М.А., Гиясова З.Р. Резонансные селективные гетерогенные процессы в лазерном поле // Academic Research in Educational Sciences. CSPI Conference III, 2021. Vol. 2. – P. 673-678. Google Scholar Scientific Library 673 www.ares.uz.

37. Захидова М.А., Хурасанова Г.М. Контролирование выбросов газов в атмосферу управляя адсорбцией молекул в гетерогенных средах под действием света / ТГТУ им. Ислама Каримова. Научно-техническая Международная конференция. – Ташкент, 2022. – С. 429-432.

38. Захидова М.А. Процесс адсорбции и десорбции в гетерогенных системах, индуцируемые лазерным излучением / II Международная конференция “Современные тенденции развития физики полупроводников: достижения, проблемы и перспективы”. – Ташкент, 2022. – С. 52-54.

39. Захидова М.А., Нематов Ш.К. Раман спектроскопия взаимодействия молекул с поверхностью твёрдого тела / Материалы Международной конференции “Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах”. – Фергана, 2023. – С. 30-32.

40. Захидова М.А. Взаимодействие между сложными молекулами и развитой поверхностью. Фуллерен C₆₀ на поверхности ZnO / Сборник трудов Республиканской конференции “Роль одарённой молодёжи в развитии физики”. – Ташкент, 2024. – С. 276-280.

Avtoreferat «O‘zMU xabarları» jurnali tahririyatida tahrirdan o‘tkazilib, o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlar o‘zaro muvofiqlashtirildi.

Bosmaxona litsenziyasi:



9338

Bichimi: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» garniturası.

Raqamli bosma usulda bosildi.

Shartli bosma tabog‘i: 3,75. Adadi 100 dona. Buyurtma № 2924.

Guvohnoma № 851684.

«Tipograff» MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.

Bosmaxona manzili: 100011, Toshkent sh., Beruniy ko‘chasi, 83-uy.