

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI**

**Guliston Davlat Universiteti
Fizika – matematika fakulteti**

“FIZIKA ” kafedrası

**Akramov Umid Berdiqul o'glining 5140200- fizika
ta'limi yo'nalishi bo'yicha bakalavr darajasini olish
uchun “Nanotexnologiya va ulardan foydalanish
imkoniyatlari” mavzusidagi**

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

**Rahbar katta o'qituvchi:
f-m.f.n. U.T. Davlatov**

**“Fizika”
Kafedrasining _____
Yigilishi qarori bilan
Himoyaga tavsiya etiladi
Kafedra mudiri Sh.K. Niyozov**

Guliston - 2016 y

Mundarija

Kirish.....	
I – BOB. Nanotexnologiya nimani o'rgatadi. Uning imkoniyatlari va istiqbollari tugrisida.....	
1.1 Nanotexnologiya qo'llanilayotgan sohalarning imkoniyatlari va istiqbollari.....	
1.2.Kvant mexanikasining imkoniyatlari va istiqbollari.	
1.3 Nanozarrachalarni magnit molekulyar xossalari.....	
II-BOB. Yarim o'tkazgichli nanoplyonkalarni fizikaviy va kimyoviy xossalarini o'rganish. Nanoplyonkalar va nanostrukturalarni o'rganishning an'anaviy usullari va qurilmalari.....	
2.1 Qattiq jisimning elektron tuzilishi. Elektron sathlarning belgilanishi.....	
2.2. Oje – jarayon. Oje – elektron spektrometr qurilmasining asosiy qismlari.....	
2.3.Fotoelektron spektroskopiya, ikkilamchi ionlarning mass – spektroskopiyasi.....	
III-BOB. Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy zondli usullari. Skanlovchi-tunnel' mikroskop, atom – kuchlanishli mikroskop. Kontaktli atom-kuchlanishli mikroskopiya usullari. Ularning qurilmalari, ishlash prinsiplari.....	
3.1.Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy skanlovchi-tunnel' mikroskop usullari.....	
3.2.Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy atom-kuchlanishli mikroskop zondli usullari.....	
3.3 Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy kontaktli atom-kuchlanishli mikroskopiya usullari.....	
Xulosa.....	
Foydalangan adabiyotlar.....	

K i r i sh

Bitiruv malakaviy ishining mavzusining asoslanishi va uning dolzarbligi.

Ma'lumki, klassik mexanika moddiy zarralarning aniq chiziqlar, ya'ni traektoriyalar bo'ylab harakat qilishini miqdoriy qonuniyatlar yordamida o'rganadi. Bunda zarraning boshlang'ich holatini ifodalovchi shartlar ma'lum bo'lsa, kelgusida uning qanday bo'lishi ham aniqlanadi. Oqibat, fanda chuqur iz qoldiradigan va olamning mexanik manzarasini yaratish (barcha hodisalarni mexanik qonunlari asosida tushuntirish) ga intilish paydo bo'ldi.

Afsuski, olamni faqat mexanika qonunlari asosida desak, xato bo'lmaydi. XIX asr oxiri XX asr boshlarida matematika sohasida erishilgan yutuqlar (differentsial hisob, Minkovskiy geometriyasi) tufayli mexanik qonunlarning yangi ko'rinishlari paydo bo'ldi. To'liq tenglamalarning otasi Ervin Shryodinger tomonidan yaratilgan mikrozarralarning harakat (Shryodinger) tenglamalari klassik tasavvurlarga sig'maydigan natijalarga olib keldi. Masalan, energiyaning kvantlanishi (klassik mexanikada esa energiya uzluksiz bo'ladi). O'sha davrda bu tenglamalar to'g'risida fikr yuritishga jazm qiladigan inson yo'q edi. Sababi, bunga ma'lum ma'noda "fandagi shakkoklik" deb ham qaralgan.

Kvant fizikasining asoschilaridan biri M. Plank 1879 yili Myunxenda dissertatsiyasini himoya qilgandan keyin ustози Filip fon-Jolliga nazariy fizika bilan shug'ullanish niyati borligini aytadi. Ustoz esa o'z navbatida nazariy fizika poyoniga etgani, faqat ba'zi xususiy hollar, boshlang'ich va chegaraviy shartlarni o'zgartirib differentsial tenglamalarning yechimini topish qolgani, umuman, bu "istiqbolsiz ish" bilan shug'ullanish befoydaligini uqtiradi.

Shunga qaramay, Plank nazariy fizika bilan shug'ullanishni davom ettirib, 1900 yili elektromagnit nurlanishning diskret ekanligini kashf qildi. 1905 yilda Eynshteyn tomonidan elektromagnit maydonning energiyasi diskret strukturaga egaligi, undagi eng kichik zarra fotonni aniqlaydi, keyinchalik atomning kvant nazariyasi va kvant mexanikaga asos soladi. U davrda kvant mexanikasi tushunchalarining ilm aqli tomonidan qabul qilinishi qiyin kechdi. Boisi, birinchidan, kichik zarralarning kichik o'lchamlarda harakat traektoriyasi

degan tushunchaning yo'qligi, ikkinchidan, Veyner Geyzenberg tomonidan kiritilgan noaniqlik prinsipi edi. Unga ko'ra, kichik o'lchamlarda zarrachaning impulsi va koordinatasi (energiya yoki vaqt)ni bir vaqtda katta aniqlikda o'lchab bo'lmaydi.

Tadqiqot obekti va predmeti.

Fizikadan bilamizki "nano" o'lchov birliklarning old qo'shimchasi bo'lib, milliarddan birini ifodalaydi. Masalan, 1 nanometr – metrning milliarddan biri degani. Inson soch tolasi o'rtacha 100 000 nanometr ekanini hisobga olsak uning qanchalik kichik o'lchamligi haqida tasavvurga ega. Nano asli yunoncha "nanos" degan ma'noni anglatadi. Atomlar va ular orasidagi masofa ham nanometr ulushlarida o'lchanadi.

Moddalarning fizik va kimyoviy xususiyatlari ham atomlarning turiga, tuzilishiga va o'zaro munosabatlariga bog'liq. Bugungi ilmiy tadqiqotlar atom o'lchamidagi nanotuzilmalar hajmiy modda xususiyatlaridan anchagina farqlanishini ko'rsatmoqda. Nanotuzilmalardagi fizik va kimyoviy jarayonlarning izog'lash esa yangi qonuniyatlarni keltirib chiqarmoqda. Sodda qilib aytganda, bir necha atom o'lchamlardagi obektlarning noan'anaviy xususiyatlarni o'rganadigan, ularda sodir bo'ladigan jarayonlarning qonuniyatlari... Tatbiq qilish yo'llarini ko'rsatadigan yangi yo'nalish bugun nanotexnologiya deyiladi.

Tadqiqotning maqsad va vazifalari.

Ushbu Bitiruv malakaviy ishining maqsad va vazifasi nanotexnologiyani yanada rivojlanishida yarim o'tkazgichlar asosida nanoplyonka va nanokristallar olish va ularni o'rganishning asosiy usullari, noyob xususiyatlari asosida nanomateriallar va nanoelektronika sohasida qo'llanilishi bo'yicha sharoitlardan kelib chiqib samarali ishlatish, ularning optimal ko'rsatkichlari va rejimlarini, parametrlari va tavsiflarini o'rganish, ularni tadbiq etish tushunchalarga ega bo'ladilar.

Nanotexnologiya atamasini birinchi bo'lib, 1974 yilda yapon olimi Norio Taniguchi (NARIO TANIGUCHI) aloxida atomlarni boshqarib, yangi ob'ekt va materiallar tuzish jarayonini izoqlash uchun ishlatgan edi. Ushbu sohada ilk texnik

vositalar Shveytsariyaning IBM laboratoriyalarida ixtiro qilingan. 1982 yili skanirlovchi zondli mikroskopni ixtiro qilgan Gard Binnig (GERD BINNIG) va Genri Rorerlar (HENRI ROHRER) to'rt yildan so'ng ushbu ixtiro uchun Nobel mukofotiga sazovor bo'lishgan. 1986 yilga kelib, atom-kuch mikroskopi qilindi. Bu uskunalar nafaqat nanodunyoni tomosha qilishga, balki yangi nanoob'ektlarni qurishga ham imkon bermoqda. Shu bois, bugun dunyo nanotexnologik inqilob ostonasida turibdi desak adashmagan bo'lamiz.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi.

Ushbu Bitiruv malakaviy ishida: qattiq jism yuzalari to'g'risida umumiy ma'lumotlar, yuzalarga elektronlar oqimini yo'naltirishga asoslangan usullar, fotoelektronlar spektroskopiyasi usullari, yuzalarni tekshirishda ionlardan foydalanish usullari, nanokristallarni o'rganishning zamonaviy usullari haqida ma'lumotlar keltirilgan.

Tadqiqot natijalarining nazariy va amaliy ahamiyati.

Yigirma-o'ttiz yil ilgari bitta kompyuter bir xonaga sig'mas edi. Ko'p o'tmay stolimiz ustida turadigan darajaga keldi. hozir esa cho'ntagimizga sig'adiganlari bor. Taraqqiyot shu sur'atda davom etadigan bo'lsa, ertaga soatimizga yoki uzugimizga taqiladigan kompyuterlar ishlab chiqarilsa ham ajablanmasak bo'ladi. Zero, nanotexnologiya yana shunday imkoniyatlarga yo'l ochmoqda. Xato tushunmaylik, nanotexnologiya maqsadi, faqat "mitti"lashtirishdan iborat emas. Texnikada biror vazifani bajarish uchun material, energiya va vaqt sarfi katta ahamiyatga ega. Nanotarmoqdagi miniatyurlashtirishga intilish ham qulaylikdan tashqari ana shu unsumni tejash maqsadida yuzaga kelmoqda.

So'ngi yillardagi tadqiqotlar nagijasida mikroelektron asbob yasash uchun moddaning nafaqat sirt qatlami, hatto bir necha atom qatlamining o'zi etarli bo'lib, qolgan hajm esa ortiqcha material sarfi ekanligi ma'lum bo'ldi. Bundan tashqari jism sirtidagi jarayonlar yanada tezroq bo'lishi uchun, yupqa va o'ta yupqa qatlamli qurilmalar vaqt tejashda ham tejamkorlik imkoniyatini beradi. Shuningdek bitta yoki bir necha atom qatlamlaridan tashkil topgan nanotuzilmalarda fizik va

kimyoviy jarayonlarning o'zgacha tus olishni ilm soxasidayangi nanofanlarni keltirib chiqaryapti. Kvant nazariyasi, sirt fizikasi va kimyosi, kristallografiya, molekulyar biologi, biokimyo nanofanlarning asosini tashkil qiladi.

BMI tarkibining qisqacha tavsifi. BMI ishi kirisn, uchta bobdan, xulosa, ishlatilgan adabiyotlar ruyhati va ilovadan tashkil topgan.

BMIbetdan iborat vata rasmni, hamdata jadvalni o'z ichiga oladi.

I – BOB. Nanotexnologiya nimani o'rgatadi. Uning imkoniyatlari va istiqbollari tugrisida.

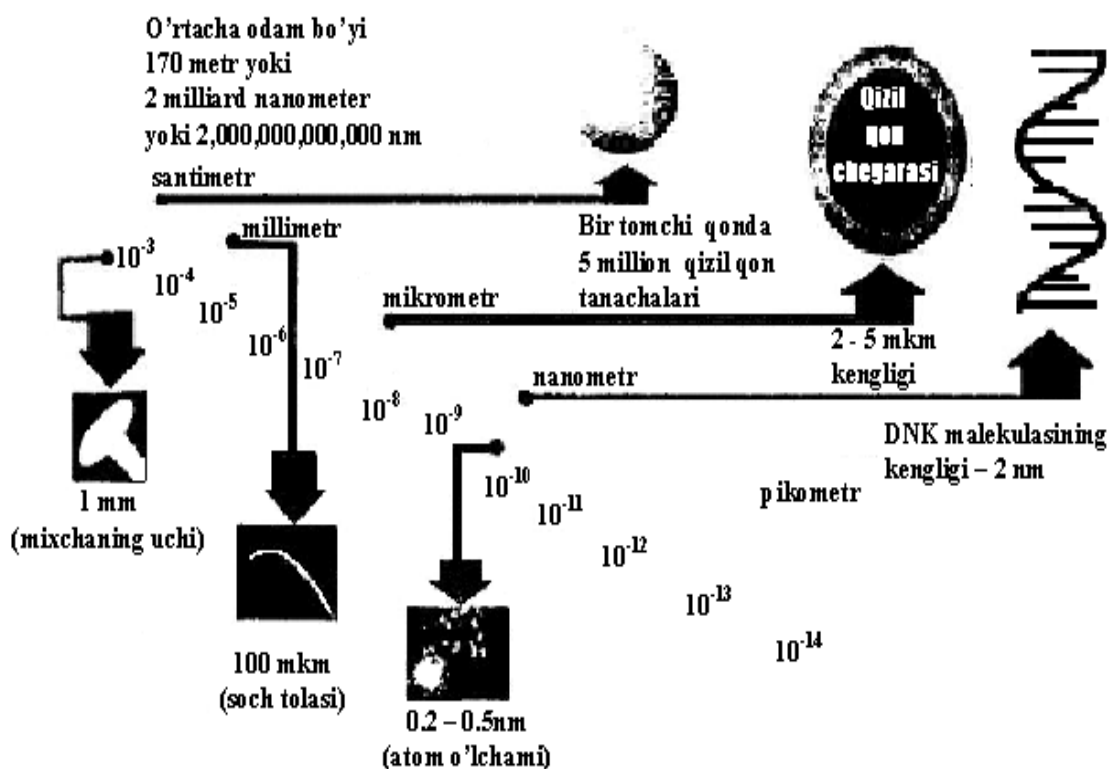
1.1 Nanotexnologiya qo'llanilayotgan sohalarning imkoniyatlari va istiqbollari

Fullerenlar deb ataluvchi futbol va gerbi to'pi shaklidagi kristall strukturalarga ega uglerod klasterlaridan (ko'p atomli molekulalar) o'stirilayotgan bir va ko'p qatlamli nanonaychalar nanoelektronika tarmoqiga yo'l ochishi natijasida yaqin o'n yil ichida an'anaviy kremniy chiplarining o'rnini egallashi mumkin. Chunki 50 nanometrdan kichik o'lchamdagi elementlardan tashkil topgan mikrosxemalarda kvant-mexanik effektlar qisqa tutashuvlarga olib keladi. Uglerodli nanonaychalar esa bunday kamchiliklardan xoli. Ularning kristall panjarasiga ozgina ta'sir qilish bilan elektrofizik xususiyatlarini o'zgartirish mumkin. Natijada bir nanometr diometrli metall va yarim o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega uglerodli nanonaychanning bog'lanishidan diod, dielektrik ustidagi nanonaychadan esa maydon tranzistori kanali yasaladi. Bunday nanoasboblarning laboratoriya sharoitida allaqachon sinab ko'rilgan. Nanonaychalarning qalinligi soch tolasidan o'n ming marta kichik ammo mustaqamligi po'latdan o'n marta katta. Kelajakda bir necha metr uzunlikdagi nanonaychalar sintez qilinishga erishilsa sanoat va texnikada katta o'zgarishlar ro'y berishi mumkin. Chunki, yuzlab kilogram yukni ko'taradigan soch tolasidek ingichka material ko'plab soxalarda asqotishi turgan gap.

Yaqinda Kornel(CORNELL) universitetida o'ta kichik og'irlikni ya'ni 10 grammni o'lchay oladigan nanoelektromexanik tarozi ishlab chiqildi. Nanotexnologiyalari yordamida o'ta sof materiallar olish mumkinligi ham isbotlangan. Ma'lumki materialning bardoshlilik uning kristall nuqsonlardan va begona modda atomlaridan holi ekaniga bog'liq. Oxirgi izlanishlar tekis terilgan, begona atom yoki molekulalardan xoli nanokukunchalar bilan qoplangan sirtlarning arzon hamda tashqi ta'sirlarga (emirilish, issiqlik, namlik, nurlanish va hokazo) chidamli ekanligini ko'rsatgan. Athlon va Intel Pentium

elektromexanik chiplariga ishlov berilayotganda oltingugurt yodidan iborat nanokukun bilan silliqilanishi ushbu firmalarning mashhur bo'lib ketishida juda muhim rol o'ynaydi.

Fanning nanokimyo tarmoqida noan'anaviy xususiyatlarga ega materiallarni sintez qilishga erishilmoqda. Masalan, 3-5 nanometrli oltin nanokukunlari ajoyib katalizator ekani ma'lum bo'lgach, Yaponiyadagi bir shirkat uni hojatxonadagi yoqimsiz hidlar tashuvchi molekulalarni parchalaydigan hid yutgich sifatida ishlab chiqarishni yo'lga qo'ydi.

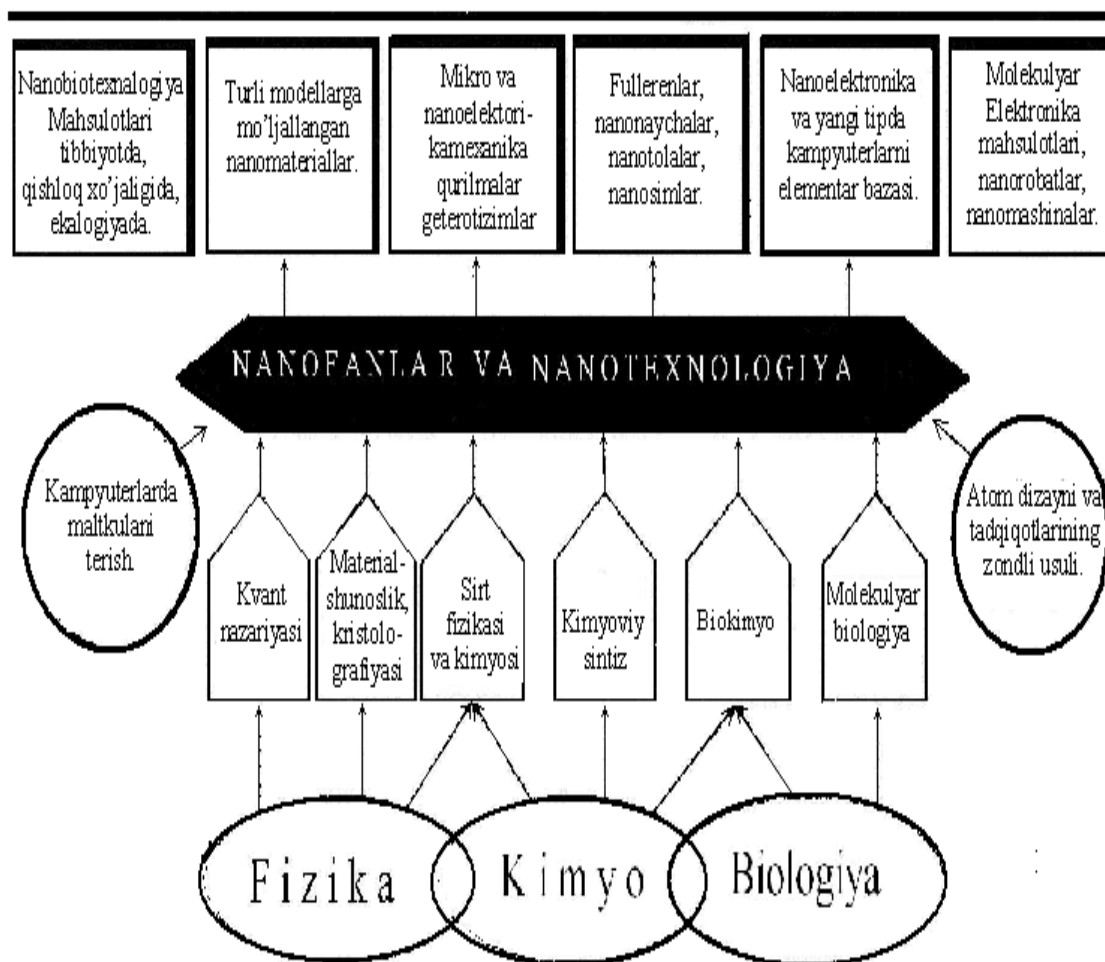


1-rasm. Nanotexnologiyaning iqtisodiy rivojlanish tizimi

hozirgi tozalash texnologiyalarida neftning deyarli 20 foizi qayta ishlash imkoni yo'q. So'ngi yillarda begona molekulani umuman o'tkazib yubormaydigan nanokatalizatorlar ustida ilmiy-tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bunday uskuna o'rdamida neftning 100 foizini qayta ishlash imkoni tug'ilishi mumkin

Ko'pchilik tadqiqotchi va ekspertlarning fikricha,

1 – jadval



XXI asr nanofanlar va nanotexnologiyalar asri bo'radi. 2016 yili nanotexnologiyalar tarmoqining ulushi jahon iqtisodida 1,1triliard dollarni tashkil qilishi kutilmoqda.

Molekula va hujayra o'lchamlaridagi bioobjektlar va biojarayonlar bilan shug'ullanuvchi soha –nanotexnologiya yo'nalishida erishilayotgan natijalar ham kishini hayratga soladi.



2-rasm.C₆₀ fullerening sxematik ko'rinishi

Nyu-York universitetining xodimlari Nadrian Sekmen (Nadrian Seeman) va Uilyam Shermen (William Sherman) “ikki oyoqda” harakatlanuvchi biologik nanoqurilmani ishlab chiqishda muvaffaq bo'lishgan. DNK molekulalaridan yasalgan va mitti konteyner vazifasini bajara oladigan bu nanorobotni murakkab nanotuzilmalarni yig'ishda ishlatish mumkin. “Nfuture” jurnalining yozishicha, AQSh ning Perdu (Purdue Institute) va Rossiyaning Bioorganik kimyo institutlari tadqiqotchilari hamkorlikda virusni biokimyoviy igna sifatida ishlatib, hujayra ichiga implantatsiya qilishga erishganlar. Tirik hujayra ichiga kira oladigan “bioigna” dan sog'lom DNK ni xavfli o'smaga aylanayotgan hujayralar ichiga joylashtirishda foydalanish mumkin. Bu esa kelajakda nanotibbiyotdagi gen-terapiya qurilmalarini xavfli o'smalarni davolashda ishlatish imkonini beradi.

1.2 Kvant mexanikasining imkoniyatlari va istiqbollari.

«Global Industry Analysis» kompaniyasining mutaxassislari nanotexnologiya olamida Yaponiya, AQSh va Evroittifoq, mamlakatlari peshqadam, degan axborot tarqatdi. Sababi, aynan shu mamlakatlar nanotexnologiyaning rivojiga eng ko'p miqdordagi investitsiyalar kiritishni rejalashtirgan. Xususan, nanotexnologiya sohasidagi izlanishlar hamda ishlab chiqarish uchun 2006—2010 yillar davomida Yaponiya hukumati 6 milliarddan ko'proq, AQSh 5,6 milliard hamda Evroittifoq mamlakatlari 4,5 milliard dollar sarmoya sarflamoqchi. Rossiya esa nanotexnologiyani 2011 yilgacha rivojlantirish

uchun 8 milliard dollar ajratishni mo'ljallayotgani haqida xabarlar bor. Mamlakatimizda "Nanotexnologiya" jurnalini chop etish, unda mazkur sohadagi yutuqlar xaqida batafsil ma'lumot berib borish zarur, degan fikrdaman. Mavzuga qaytadigan bo'lsak, fan tarixchisi Richard Buker fikricha, nanotexnologiya tarixini yoritish ikki sababga ko'ra juda xam murakkab. Birinchidan, bu tushunchaning o'zi noaniq, misol uchun, nanotexnologiya tushunchasi ko'pincha odatdagi texnologiya atamasi doirasiga sig'maydi. Ikkinchidan, insoniyat qadim zamonlardan beri o'zi bilmagan holda nanotexnologiya bilan tajriba qilishga uringan. "Nanotexnologiyaga kirish" kitobining muallifi Charlz Pul ushbu fikrga bir misol keltiradi: Britaniya muzeyida qadimgi Rim ustalari yasagan "Likurga Kubogi" (kubokda buyuk spartanlar qonunining yaratuvchisi hayotidan lavxalar tasvirlangan) saqlanadi, U shishaga qo'shilgan oltin hamda kumushning mikroskopik zarrachalarini o'zida mujjassamlashtirgan. Kubok turlicha yoritilganda, rangi to'q-qizildan toza zaringacha o'zgaradi Xuddi shunday texnologiyalar O'rta asrda Evropa cherkovlari vitraj (surat soladi-gan rungli oyna)larini tayyorlashda ham qo'llanilgan. Grek faylasuf olimi Demokrit nanotexnologiyaaning "otasi" degan qarashlar xam bor. U moddaning eng kichik zarrachasini tariflash uchun eramizdan 400 yillar muqaddam ilk bor grekcha "atom" ("bo'linmaydigan") so'zini ishlatgan. 1661 yili irlandiyalik kimyogar Robert Boyl o'z maqolasida Aristotelning Yerdagi hamma narsa to'rt elementdan — suv, tuproq, olov va havodan tarkib topgan degan qarashi (o'sha davr al-kimyo, kimyo va fizikaning falsafiy asosi)ni tanqid qiladi. Boyl barcha narsalar "korpuskulalardan" o'ta kichik qismlardan tashkil topgan, ularning turlicha birikuvi har xil modda va buyumlarni hosil qiladi. degan qarashni ilgari surgan. Keyinchalik Demokrit va Boyl g'oyalari ilm ahli tomonidan tan olinadi. balki hozirgi zamin nanotexnologiyasidagi o'ktamlik ilk bor Amerikalik ixtirochi Jorj Ismen 1883 yili fotoplenka gayerlnganida ro'y bergandir.

Quyidagi voqealar ham nanotexnologiya olamida muhim o'ringa ega.

- 1905 yili Shveytsariya fizigi Albert Eynshteyn shakar molekulasining o'lchami taxminan 1 nanometr ekanligini asosla bergan o'z maqolasini e'lon qiladi:

- 1931 yil. Nemis fiziklari Maks Knoll va Ernst Ruska birinchi marotaba nanoolamni o'rganish imkonini bergan elektron mikroskopni ixtiro qilishdi;
- 1968 yil. Amerikaning "Bell" kompaniyasi ilmiy bo'limi hodimlari Alfred Cho va Jon Artur yuzani ishlashda nanotexnologiyani nazariy asoslarini yaratishdi;
- 1974 yil. Aslida atom va molekulalarning 10 darajasi 9 o'lchamga ega. "Nano" qo'shimchasi 10 darajasi 9 ni bildiradi shu tariqa "nanotexnologiya" atamasi paydo bo'ldi. Yapon fizigi Norio Taniguchi esa "nanotexnologiya" so'zini ilmiy ibora sifatida fanga kiritdi va bir mikrondan kichik bo'lgan mexanizmlarni shunday nomlashni taklif etdi;
- 1981 yil. Germaniyalik fiziklar Gerd Binnig va Genrix Rorer alohida atomlarni ko'rsata oladigan mikroskop yasashdi;
- 1985 yil. Amerikalik fiziklar Robert Kerl, Xerold Kroyu va Richard Smeyli diametri bir nanometr bo'lgan buyumlarni aniq, o'lchay oladigan texnologiya yaratishdi;
- 1986 yil. Nanotexnologiya keng jamoatchilikka ma'lum bo'ldi. Amerikalik Futurolog Erik Drekslarning kitobi bosmadan chiqdi va unda nanotexnologiya yaqin kelajakda jadal rivojlanishi haqida bashorat qilingandi;
- 1989 yil. IBM kompaniyasining hodimi Donald Eygler o'z firmasi nomini Ksenon atomlari bilan platina plastinkasi ustiga terdi. Chizma ilmiy va boshqa jurnallarda namoyis etilgach ilm ahli larzaga keldi;
- 1993 yil. AQShda Feynman mukofoti berila boshlandi;
- 1998 yil. Golland Fizigi Seez Dekker nanotexnologiya asosida transistor yasadi;
- 1999 yil. Amerikalik fiziklar Jeyms Tur va Mark Rid alohida molekula molekulyar tizim sifatida harakatlanishi mumkinligi aniqladi;
- 2000 yil. AQSh hukumati Nanotexnologiya sohasida milliy tashabbus (National Nanotechnology Initiative)ni ma'qulladi. Nanotexnologik izlanishlar davlat tomonidan moliyalashtirildi. Davlat byudjetidan 500 million dollar ajratildi;
- 2001 yil. Mark Ratnerning "Nanotexnologiya: yangi katta g'oyaga kirish kitobida nanotexnologiya inson hayotining bir qismiga aynan 2001 yili

aylanganligi, o'sha yili ikki muhim voqea: obro'li ilmiy «Science» jurnali nanotexnologiyani – “Yil yangiligi”, mashhur “Forbes” biznesjurnali esa “Yangi ko'p ahdli g'oya” deb ataganligi takidlandi. Hozirgi paytda nanotexnologiyaga nisbatan davriy ravishda “yangi sanoat revolyutsiyasi” iborasining qo'llanishi odat tusiga kirib boryapti, degan fikr-xulosalarini ilgari surdi.

Ayni kunda nanotexnologiya quyidagi yo'nalishlarga bo'lib qo'llaniladi:

1. Ananaviy kimyoviy usullar yordami bilan (“nanoko'lamdagi texnologiya” deb ataluvchi) nanomateriallar yaratish (nanoo'lchamli elementlari mavjud bo'lgan buyumlar).

2. Oksil, DNK va boshqa organik molekulalardan foydalanib, faol nanotizilishlarni yaratishga intilish.

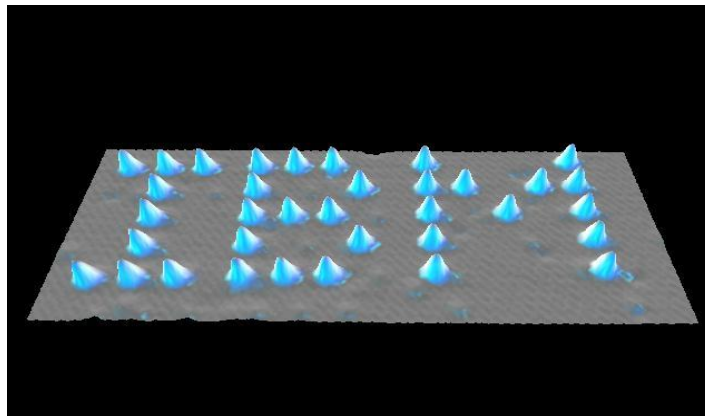
3. Elementlari bir nechta atomdan tarkib topgan elektron chizmalarni yasash.

4. “Molekulyar sanoat” deb nomlanuvchi nanomexanik yondashish doirasida nanoo'lchamli qurilmalar, jumladan, nanomashinalar (ya'ni, o'lchami molekuladay bo'lgan mexanizm va robot) yaratish; atom va molekulalarni bevosita boshqarish va ulardan istalgan narsani yasash.

Agar to'rtinchi masala hal bo'lganida edi, o'z-o'zidan qolgan uchtasining ham yechimi topilardi. nanotexnologiya deganida oldin faqat ushbu to'rtinchi masala tushunilardi. Bu qarash, umuman olganda, nanotexnologiya tushuncha t sini aniq yoritib beradi. Lekin moliyaviy masalalardagi chigallik va muammolar tufayli yuqoridagi birinchi uchta yo'nalish xam nanotexnologiya buyicha izlanish deb e'tirof etila boshlandi, Bu, albatta, izlanish ishlarida birmincha qulayliklar va imkoniyatlarni ochib berdi. Shu bilan bir-ga, nanotexnologiya tushunchasini biroz chalkashtirib ham yubordi. Dastlabki uchta yo'nalishni rivojlantirish maqsadi xam avvalo to'rtinchi masalani xal qilishga qaratilgandir.

Richard Feynman 1959 yil 25 dekabrda o'tkazilgan Amerika fiziklar jamiyatining yillik majlisidagi maruza-sida insoniyat oldidagi ko'plab muammolar odamlar alohida atomlarni boshqarishni o'rganganidan so'ng echimini topadi, deb bashorat

kilgan, ta'kidlash joizki, Feymanga 1965 yili kvant elektrodinamikasi soxasida bajargan ishlari uchun Nobel mukofoti berilgan. kvant elektrodinamikasi esa xozirda nanofan soxalaridan biriga aylangan. Biroq faqat 1981-83 iillarga kelibgina Shveytsariyaning IBM kompaniyasi fiziklari Genrix Rorer va Gerd Binnig aloxida atomlarni ko'rsatadigan, ularni o'rnidan ko'chirib, bir joydan boshqaa joyga o'tkaza oladigan, ya'ni skanerlaydigan tunel mikroskopni yaratishdi. Oradan besh yil o'tgach, 1986 yili ular nanotexnologiya so-xasidagi ushbu misilsiz yutuqlari uchun Nobel mukofoti bilan taqdirlandilar. 1989 yili IBM ning yana bir olimi Donald Eygler platina plastinkasi ustiga inert ksenon gazining 35 atomlarini o'zi istagandek joylashtirib, o'z kompaniyasining logotipini (emblemagini) chizdi.



3 – rasm: 35 dona ksenon atomi yordamida platinaga IBM so'zininng tasviri

Jahon bo'ylab ilmiy jurnallarda tarqalgan ushbu fotosurat insoniyatni lol qoldirdi. Insoniyat tarixida atom ketidan atomni joylashtirib, o'ta kichik tuzilmani yaratish natijasida nanotexnologiya asri boshlangan edi. Lekin nanotexnologiyaning imkoniyatlari faqat shular bilangina cheklanmadi, unga nisbatan bo'layotgan fizik ishlar kundan-kunga ortib bormoqda. Bu fizik,ish Erik Drekslarning 1986 yili "Yaratish mashinalari" ilmiy-ommabop kitobi bosmadan chiqandan so'ng juda xam kuchayib ketdi. E.Dreksler texnologik jarayonni ikkiga bo'lib ko'radi. Birinchisi, unda kashf qilingan texnologiya bo'lib, milliartlab atomlarning yalpi ko'chish jarayoni ro'y beradi. Buni E.Dreksler "balk" deb ataydi. Uning ta'rifiga ko'ra, Gird Binnig aa Genrix Rorerning 1981 yilgi kashfi-texnologiya yo'lidan yurib taraqqiy etib kelgan.

Richard Feynman taklif etgan texnologik jarayonni esa E.Dreksler yangi texnologiya deb belgilab, uni yapon fizigi bergan ibora bilan "nanotexnologiya deb nomlaydi. Qachonlardir u molekulyar texnologiya nomi bilan atalgan. Demak, adabiyotlardagi molekulyar texnologiya va nanotexnologiya atamalari bir texnologiyaning ikki xil nomlanishi xolos.

1991 yili Erik Drekeler nanotexnologiya soxasi bo'yicha birinchi bo'lib ilmiy daraja olishga musharraf bo'ldi. 1992 yili u "Nanotuzilmalar: molekulyar mashinalar, ishlab chiqarish va xisoblashlar" nomli ilmiy monografiyasini chop ettirdi. Bu nanotexnologiya soxasida xozircha to'la va chu qur mazmunli kitob xisoblanishi bilan axamiyatli. Nanotexnologiya va an'anaviy texnologiyalar o'rtasida jiddiy farq bor. Birinchidan, hozirda bizda mavjud asboblarnanodarajada ishlay olish imkonida mukammal emas - atomar aniqligida faqt ba'zi buyumlarnigina ishlab chiqarish mumkin. Ikkinchidan, nanodarajada bo'linganida odatiy fizika qoonunlari o'zgaradi: kvant ta'sirlar va molekulalar o'rtasidagi o'zaro bog'liqlik sezila bosh-laydi, shu bilan bir qatorda, og'irlik va ishqalanish kuchlari uncha katta bo'lmay qoladi. Nanoo'lchamli ob'yektlarni loyihalash va qurishdagi qiyinchiliklar qisman shu bilan ham bog'liqdir.

Nanotexnologiyadagi birinchi yo'nadish an'anaviy kimyoviy va mikroelektron texnologiyalarning mantiqiy davomidir. Avval bu yo'nalish nanotexnologiyaga mutlaqo oid emas, deb qaralar edi. Nanotizimlarni organik moddalar asosida yaratish tirik organizmlardan nusxa ko'chirish mumkinligi nuqtai nazaridan e'tiborga loyiqdir, lekin shu bilan bir qatorda u "qurilish materiallarining" ma'lum bir sinfinigina qo'llash imkoniyati bilan cheklangan, Vujudga kelishi lozim bo'lgan tirik organizm uchun qancha aminokislota, DNK, RNK, oqsil, hujayra va h.k.lar kerakligi haqidagi ma'lumotlar DNKda jamlangan bo'ladi. Hozirgi davrda biologlar jonli olam bunyod bo'lishi uchun, avvalambor, aminokislotalar vujudga kelishi kerak, degan xulosaga kelishdi. Shu bilan birga, eng oldin DNK va undagi dastur ham bo'lishi lozim, keyin shart-sharoit, geologik davr va boshqalarga qarab, u yoki bu ko'rinishdagi evolyutsion jarayon kechadi. Avvalo, aynan shu yo'l nanotexnologiya taraqqiyotida ildamlilik bilan bosib o'tilishi

kerak. Yuqoridagi ikki yo'nalish qisqa vaqt ichida amaliyotda qo'llanishi mumkinligi bilan olimlar e'tiborini ko'prok tortdi, keyinchalik erishilgan yutuqlar imkoniyatlarini asosan nanomexanik yo'nalishda qo'llash rejalashtirilmoqda. Nanotexnologiyaning taraqqiyoti bosqichma-bosqich bo'lishi shart emasligi bilan ham ahamiyatlidir.

Nanomexanik tuzilmalarni hozirning o'zida yaratish mumkin va ushbu yo'nalishda E.Deksler, qator olimu injenerlar va tashkilotlar katta shijoat bilan ish olib borishmoqda.

Nanomexanik yo'nalish zahirida zarur ish-harakatlarni bajara oladigan nanoo'lchamlardagi suniy qurilmalarni yaratish yotadi. Shunday davr keladiki, sanoatda molekulalarni yig'ish darajasi nanorobotlarni o'lchamlari yuz nanometr atrofida bo'lgan va ma'lum dastur asosida atomlar ustida barcha boshqaruvlarni bajara oladigan qurilmalarni yaratish (yig'ish va buzish) imkonini beradi, deb yozadi Deksler. U alohida atomlar yoki oddiy molekulalardan turli-tuman buyumlarni yaratadigan nanorobotlarni «assemblerlar» deb nomlaydi. Agar bunday yig'ish ishlari alohida nanorobotlar tomonidan emas, balki bir butun tizim orqali bajarilayotgan bo'lsa, u holda, nanofabrika haqida so'z boradi.

Har qanday holatda ham atomlar yoki ularning bloklari bilan ishlash uchun nanomanipulyatorlardan foydalaniladi. Nanorobotning har manipulyatori (boshqaruv dastagi) o'ta kichik o'lchamlarda bo'lganligi sababli, bir sekundda million operatsiyalarni bajarishi mumkin. Katta suratda parallel ishlayotgan (nanofabrikada yoki ko'plab alohida assemblerlardagi) millionlab nanomanipulyatorlar yordamida har qanday material, ob'yektni amalda behisob miqdorda juda ham tez va arzon ishlab chiqarish mumkin bo'ladi. Nanofabrikalar yoki assemblerlar homashyo sifatida amalda har qanday modda: tuproq, kimyoviy va kundaliklik chiqindilarni ishlatishi mumkin. Asosiysi, homashyoda ishlab chiqarish muljallangan barcha unsurlarning etarlicha mavjud bo'lishidir. Qisqasi, ularga ko'rsatib qo'ysangiz bo'lgani, istagan buyumingizni dastur orqali berilgan topshiriq asosida, o'ziga keragicha dastyorlarni ham yasab olgan holda, tez ishlab beradi...

O'lchamlari bakteriyalardek. manipulyator, dvigatel va kompyuterlar bilan ta'minlangan bunday nanorobotlar inson buyrugiga binoan har qanday vazifani amalda bajarishi mumkin.

Nanotibbiyot inson tanasining barcha hujayralaridagi har qanday muammolarni: arteriyalarni skleroz toshmalardan tozalash, infeksiyalarni yoki rak hujayralarini yo'q qilish, hatto organizmning barcha hujayralarini genetik darajada qaytadan dasturlab chiqish imkoniyatlariga ega bo'ladi.

Nanomashinalar yaratish yo'lida birinchi qadamlar hozirning o'zida qo'yilyapti. Bugun kompyuter dasturlari asosida un minglab atomlarni o'zida jamlagan nanoqurilmalar loyihalashtirilyapti. Jahonning eng ilgor nanotexnologlaridan biri R.Fraytas tomonidan tibbiyotga oid bir nechta nanoqurilmalarning asosiy loyihalari ishlab chiqilgan: respiratsit (eritrotsitning sun'iy o'rindoshi), mikrobivor (leykotsitning o'rnini bosuvchi) va xromallyutsit (hujayradagi xromosomalarni almashtirish uchun nanorobotlar).

Kris Feniks oddiy nanofabrikaming loyihasini ishlab chiqqan. 2007 yili «Foresight Unconferenceda Robert Fraytas va Ralf Merkl nanoob'yektlarning mexanosintezi uchun tuqqiz molekulyar asboblarning yig'indisini namoyish etishdi. Bu nanofabrikalar va molekulyar ishlab chiqarish yo'li tomon qo'yilgan ulkan qadam bo'ldi.

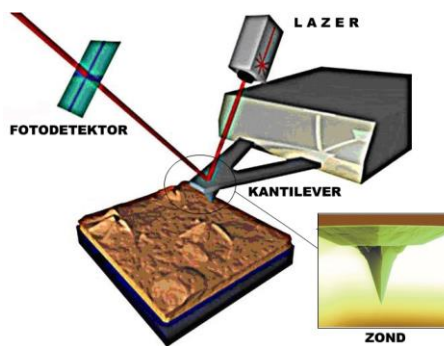
Oxirgi bir necha yillarda nanomexanika istiqbolini ko'rsatuvchi qator muhim natijalar qo'lga kiritildi. Masalan, 2005 yili energiyani alohida fotonlar sifatida oluvchi va yassi sirt bo'ylab harakatlanuvchi "nano-avtomobilning bir nechta molekuladan iborat bo'lgan shossedagi g'ildiragi yaratildi. Nanorobotlar dvigatellari uchun bir necha xil prototiplar, ATF-sintezlar asosida ishlab chiqilgan. 2007 yili Berklidagi Laurens laboratoriyasida bitta nanotrubka yordamida radiopriemnik yaratilgani haqida axborot tarqaldi. Bu esa, o'z navbatida, nanorobotlar radioaloqalar orqali bir-biri va boshqaruvchi kompyuter bilan signal almashishi mumkinligini namoyish etdi. 2008 yili Osaka universiteti olimlari nanotexnologiya misolida kremniy atomlarini Qalay atomlari bilan almashtira oladigan "atom" perosini yaratishga erishgani haqida «Pink Tentacle» jurnali xabar

tarqatdi. Izlanuvchilar yarim soat mobaynida 2 ga 2 nanometr o'lchamli yuzada "atom" perosi yordamida kremniyning kimyoviy belgisi "Si"ni, qalayning alohida atomlarini yotqizib yozishga erishishgan. Ushbu nanotexnologik ishxona havo haroratida bajarilgan. Olimlarning fikricha, bundan-da maydaroq, yozuvga erishish mumkin emas. "Atom" perosi ilgari kashf qilingan skanerlaydigan atom-kuch mikroskopi zondining yarim o'tkazgich sirtiga yaqinlashtirilganida kremniy atomlarini qalay atomlariga almashtirish ta'siriga asoslangandir.

AQShning nanotexnologiya bo'yicha milliy tashabbus tashkiloti (NNI) bashoratiga asosan 2020 yillarda molekulyar nanotizimlar yaratiladi. AQShdagi nanotexnologiyalar markazining hisob-kitoblariga ko'ra esa mazkur maqsad yo'lida kuchlar jamlanib yo'naltirilsa, molekulyar sanoat (nanoassemblerlar yoki nanofabrikalar) 2015 yil-dayoq barpo qilinishi mumkin.

Yaqin kelajakda nanofabrikalar etakchi o'ringa ega bo'lishi kutilmoqda. Superkompyuterlar nanorobotlar bilan birgalikda inson miyasi tuzilishini va uning ishlash mexanizmini tushunishi, bu orqali inson ongidan kuchli bo'lgan sun'iy ongni yaratish imkonini beradi. Insoniyatning barcha xizmatlarini qilish, ularning

moddiy to'kin-
ta'minlashni
mumkin bo'ladi.
nosog'lom organ va
sog'lomlariga
imkoniyatiga ega



sochinligini
 mashinalarga topshirish
Odamlar o'z
to'qimalarini
almashtirib, yangilash
bo'lishadi.

4– rasm: Atom-kuchlanishli mikroskop

Ixtiyoriga qarab, inson tashqi qiyofasini ham tanib bo'lmas darajada o'zgartirishi mumkin. Katta tezliklarda harakatlanadigan kosmik kemalarni va fazoda ulkan turar joylarni bunyod etish insoniyatning samoga tezlik bilan yo'l

olishi, yulduzlar va boshqa energiya mambalari atrofini betinim o'zlashtira boshlashiga turtki bo'ladi.

Biroq nanotexnologiyalar taraqqiyoti misli ko'rilmagan xavfni ham o'zida mujassam etgan. Eng xavflisi, bu "ko'kimtir shilliqlik"ning paydo bo'lishidir, ya'ni betinim ko'payib boruvchi nanorobotlar (replikatorlar) maqsadli ravishda sayyoramizdagi odamlar, jonivorlar, o'simliklar, butun organik hayotni yuk qilishidir. Bunday holat nanorobotlar harbiy qurol sifatida ishlatilganda ro'y berishi mumkin. Shuning uchun xam nanotexnologiyaning rivojini moliyalashtirish ko'proq. xarbiy tashkilotlarni qiziqtirmoqda. Bu kabi tang fojiaaviy ahvol yuzaga kelmasligi, ayniqsa, qurollanish sohasida mazkur yutuqlar qo'llanishining oldini olish maqsadida jamoatchilik nazorati lozim bo'ladi. Dreksler taklif etgan himoya tamoyillaridan biriga ko'ra, mabodo qo'llanilayotgan qurollar nazoratdan chiqsa, ularning o'zlari mustaqil ravishda vaziyatni aniqlab, hosil bo'lgan qurolni qirib tashlashi orqali xavfni yo'q qilishga erishishdir. Lekin bu kabi faol qalqonlarni hosil qilishning o'zi ham molekulyar texnologiyaga talab tug'diradi.

Bugunga kelib, nanotexnologiya taraqqiyoti xavf tug'diradigan yo'nalishda ketmasligini nazorat qilish bo'yicha usullar, loyihalar xam taklif etilgan. Dasturlar ichidagi eng mukammallaridan biri E.Dreksler ishtirokiragi «Nanorex» kompaniyasi tomonidan yaratilgan «Nanoengineer» dasturidir.

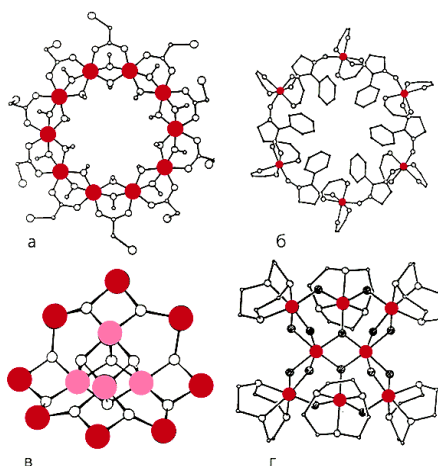
Yana aytish joizki, ayni paytda kvant olami qonunlariga bo'ysunishi bilan hammani xayratga solayotgan makroob'yektlar ham olimlarni juda qiziqtirayapti. Bunga misol Boze-Eynshteyn kondensatidir. Unda millionlab atomlardan tashkil topgan ushoqdek kichik bulut bir butun atomdek harakatlanadi. Shu paytgacha insoniyatga materiyaning to'rt ko'rinishi — gaz, suyuq, qattiq va plazma holatda bo'lishi ma'lum edi. Boze-Eynshteyn kondensati bo'yicha tajribalardan materiyaning beshinchi ko'rinishi ham mavjud ekanligi aniqlandi.

Bu fenomen haqida Albert Eynshteyn xind fizigi Shatendranat Bozening hisob-kitoblarini tahlil qilib, 1924 yili ilm ahliga ma'lum qilgan edi. Kondensat ko'p o'rinlarda, masalan, kvant kompyuterlar elementa sifa-tida ishlatilishi ehtimoli borligi bilan kam katta ahamiyatga ega. 2005 yili Amerika olimlari Roy

Glauber va Jon Xollning Boze-Eynshteyn kondensati xususiyatlari, aniqrogi, lazer spektroskopiyasi bilan bog'liq hodisalar ustida olib borgan izlanishlari uchun Nobel mukofoti bilan taqdirlanganligi kondensatni o'rganish ahamiyati katta ekanidan dalolat. Boze-Eynshteyn kondensati kashfiyotchilaridan biri, 2001 yilgi Nobel mukofoti sovrindori Wolfgang Ketterle kondensatdan bo'lakchalarni «burdalab» olish mumkinligini ko'rsatib o'tgandi. Bu - atom lazerini qurish, ya'ni yorug'likni nurlantiruvchi lazerni emas, moddani nurlantiruvchi lazerlarni yasashga erishish mumkin degani. Bunday lazerlar bilan nanometr aniqlikdagi o'ta kichik tuzilmalarni yasash imkoni tug'iladi. Bu kashfiyot nanotexnologiya olamida sezilarli siljishlarga olib keldi. Alohida atomlarni boshqarish uchun atom lazerlari hozirgi paytdagi eng aniq vositadir. qolaversa, bu kashfiyot nanotexnologiya taraqqiyotini yangi bosqichga olib chiqishi, shubhasiz.

1.3 Nanozarrachalarni magnit molekulyar xossalari.

Tarkibida nodir Yer elementlari va o'tish guruhi metallari ionlari bo'lgan molekulyar kristallarga magnit molekulyar nanoklasterlar deyiladi. Bu kristallarning tarkibiy qismi bo'lgan molekulalar murakkab tuzilishga ega. Ular qo'shimcha ichki erkinlik darajasi-magnit momentiga ega. Aynan shu magnit momenti ularning hossalarga hilma-hillik bag'ishlaydi va ularni tashqi magnit maydoni yordamida boshqarishga imkon beradi. Aytish joizki magnetizm mohiyatan kvant mexanik hodisadir. Mendeleev jadvalining ko'pgina elementlari atomlari, elektron spinlari kompensatsiyalanmagani tufayli magnit momentiga ega. Ular orasida o'tish guruhi metallari (Fe, Co, Ni, Mn va b) lantanoidlar (nodir yer elementlari va aktanoidlar) eng ko'p e'tiborga molikdir.



5– rasm: Yuqori spinli molekulyar klasterlar: Fe_{10} (a), Mn_6 (b), Mn_{12} (b), Fe_8 (r). Metal ionlari rang bilan ko'rsatilgan.

Odatda molekular diamagnitdir, ammo ba'zida masalan, kislorod molekulari bundan istisno bo'lishi ham mumkin. Mikroskopik moddalarning magnit xossalari unchalik oddiy emas, chunki alohida atom yoki molekularlarning magnit momentlari murakkab darjada. Alohida atomlarning magnit xossalari juda yaxshi tushunarli. Hozirga qadar, tarkibida o'tish guruxi yoki nodir yer elementlari atomlari mavjud bo'lgan magnit kristallarning xossalari batafsil o'rganilgan bo'lsada, qator savollar ochiq qolmoqda.

Gap shundagi, bu materiallarda mavjud uzoq magnit tartib alohida atomlarning magnit xossasi hissalarining oddiy superpozitsiyasi emas. Magnit tartiblanish – bu janoaviy kvant mehanik hodisa bo'lib, uning asosida Pauli prinsipi bilan bog'liq atom spinlari orasidagi o'ziga xos ta'sirlashuv yo'tadi. Bu almashinuv ta'sirlashuvi deyiladi.

Almashinuv ta'sirlashuvi moddaning makroskopik sohalarida spinlarning parallel joylashuvini (ferromagnitizm) panjarining qo'shni tugunlarida antiparallel joylashivi ferromagnetizm yoki magnit tartiblanishning boshqa murakkab shakllarini yuzaga keltirish mumkin. Magnetik klasterlar yoki magnit molekular alohida atomlarning mikroskopik magnetizmini va kristall holda amorf jismlarning makroskopik magnetizmini birlashtiruvchi bo'g'imdir. Shuning uchun ular ba'zan mezoskopik atamasi o'rta, o'raliq ma'nosini bildirib, modda

makroskopik jism sifatida shakllanmagan , biroq alohida atom emas, balki atomlar majmuasi bo'lganda ularning xossalarini tavsiflashda ishlatiladi.

Ana shunday xossalarga ega molekulalar o'tish guruhi elementlari ishtirokida qurilgan (Fe, Mn va b.) yuqori spinli metaloorganik molekulalar yoki magnit molekulalar deb ham ataladi. 5-rasm.

Takidlash lozim, bu molekulalarning uyg'unligi va mukamalligi kishini hayratda qoldiradi! .. Misol tariqasida oddiy Fe₁₀ klasterlarni ko'qib chiqaylik. Bu – xlor kislorod va uglorod ionlari bilan o'ralgan o'nta Fe ionlari, ular orasidagi ta'sirlashuv antiferromagnit xarakterga ega. Shu sabab molekilaning asosi holatiga spini nolga teng SO Fe magnit klasterini bir molekula doirasidagi antiferromagnit deyish mumkin.

Nano nima... Keyingi o'n yillikda jahon jamoatchiligi lug'at boyligiga "nano" so'zi kirib keldi, ho'sh nano nima qisqa qilib aytganda nano milliarddan bir qismdir.

Nanotexnologiya tushunchasi uchun tugal va aniq ifoda yo'q , ammo mavjud mikrotexnologiya asosida bu o'lchamlarni nanometrdagi texnologiya deb yuritish mumkin . Shuning uchun mikrodan nanoga o'tish bu moddani boshqarishdan atomni boshqarishga o'tish demakdir.Sohaning rivoji deganda esa asosan uchta yo'nalishda tushuniladi:

- o'lchami atom va molekulalar o'lchamlari bilan solishtirarli electron sxemalarini tayyorlash;
- nanomashinalarni loyihalash va ishlab chiqish;
- alohida atom va molekulalarni boshqarish va ulardan alohida mirkoobyektlarni yig'ish.

Bu yo'nalishdagi izlanishlar ancha vaqtda buyon olib borilmoqda 1981- yilda tunnelli mikroskop yaratilib, alohida atomlarni ko'rish mumkin bo'ldi. Shunday buyon texnologiya sezilarli takomillashtirishdi. Bugun bu yutuqlarni kundalik hayotda ishlatamiz: lazerli disklarni ishlab chiqarish; Jumladan DVD disklardan nanotexnogik usulsiz doydalanish mumkin emas.

Soha taraqqiyotidagi asosiy bosqichlarni bir eslab ko'raylik

1959 yil. Nobel mukofoti sohibi Richard Feynman kelajakda alohida atomlarni boshqarish, Odam har qanday moddani sintez qilishi mumkinligini boshorat qildi.

1981-yil Binig va Rorer tomonidan moddalardan atomlar darajasida ta'sir qila oladigan skanlovchi tunnel mikroskopning yaratilishi.

1982-1985 yillar sistemalarda atomlar aniqlikka erishildi.

1986- yil atom quvvatli mikroskop yaratilib , u tunnel mikroskopidan faqrli ravishda har qanday, masalan, tok o'tkazmaydigan material bilan ham ta'sirlasha oladi.

1990 yil alohida atomlarni boshqarishga erishildi.

1994- yil Sonoatda nanotexnologik usullarning qo'llanila boshlanishi.

Nanorobotlar davri boshlanyapti... Ko'pgina mutaxassislar mikrotexnologiya tarixi Richard Feymaninng 1959- yili Amerika fiziklar jamiyatida o'qigan mashhur maruzasidan so'ng boshlangan degan fikrda. U mikrotexnologiya potensialini boy buyoqlarda tasavvur etadi. Maruzalarida kompyuterlar , axborotni saqlash qurilmalari , electron qismlar va robotlar mitti xolatda tasvirlangan edi.Feymaning mikroelektonika borasidagi boshoratlari tez (aniqrog'i 1960-1970 yillarga keliboq) amalga oshdi. 1980-yilda esa yetakchi universitetlar va davlat laboratoriyalarda nisbatan arzon usullarda mitti mexanik detallar yaratila boshlandi. Buning uchun mikroelektromexanik sistemalar (MEMS) texnologiyasi ishlab chiqildi.

Amalda MEMSning ilk tijorat mahsulot paydo bo'lishi uchun 30 yil kerak bo'ldi. Keng tarqalgan daslabki MEMS texnologiyalari qollanish sensorlari parijda har bir necha yilga o'rnatilib, to'qnashuvchi paiqash va havo yostiqchasi ishga tushurish uchun ishlatilardi. Hozirda yiliga 50 millionta bu kabi sensorlar ishlab chiqariladi. Shuningdek Sandiya firmasi ham samarali mikroskopik sensorlar yarata boshladi.1990 yili yaratilgan avtonom root MARV 1 kub duyum hakmda bo'lgan 4 marta kichiklashtirishga imkon tug'ildi. BU kabi robotlar kompyuter orqali boshqariladi, bajaradigan vazifafalari esa turli-tuman .Shu bilan birga , borotlardan inson faoliyatini nazorat qilish razvedkada vaboshqa maqsadlarda foydalanish mumkin.

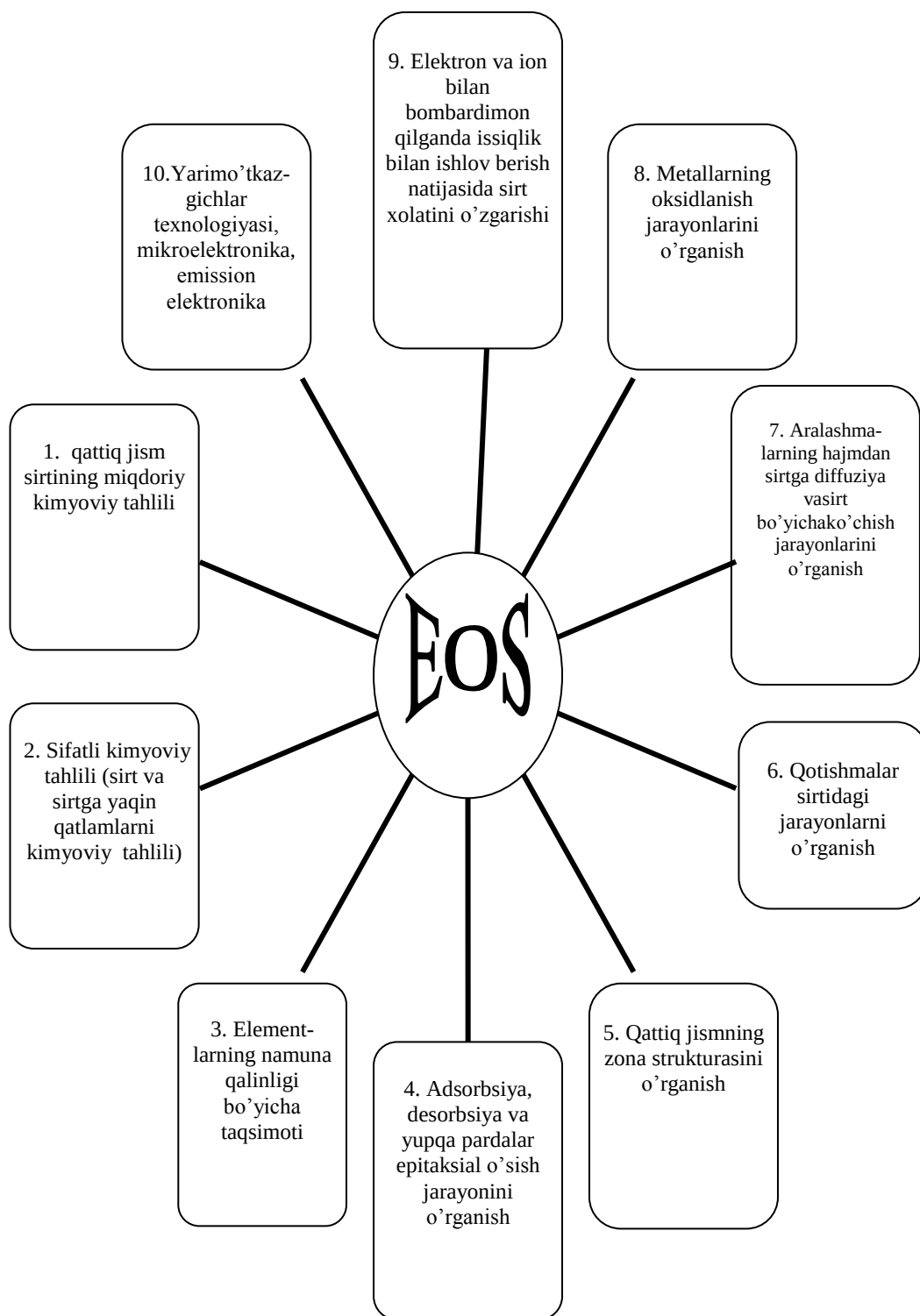
II – BOB. Yarim o'tkazgichli nanoplyonkalarni fizikaviy va kimyoviy xossalarini o'rganish. Nanoplyonkalar va nanostrukturalarni o'rganishning an'anaviy usullari va qurilmalari.

Oje – elektronlarning spektroskopiyasi (OES) keyingi paytlarda qattiq jism sirtlarining kimyoviy tarkibini tahlil qilishda eng ko'p tarqalgan usullardan biri bo'lib qoldi. Bu usulning asosiy avzalliklari quyidagilardan iborat: qalinligi $5 \div 20 \text{ \AA}$ bo'lgan yuza qatlamlari katta aniqlik bilan juda tez (bir necha minut) fursatda tahlil qila oladi. Mendeleev jadvalidagi (H va He dan boshqa) hamma elementlar to'g'risida miqdoriy ma'lumot bera olishi bilan birgalikda, atomlar orasidagi kimyoviy bog'lanishlarni ham aniqlash imkonini beradi.

Hozirgi paytda OES faqatgina ilmiy izlanishlardagina emas, balki standart analiz metodi sifatida elektron asbobsozlikda keng qo'llanilmoqda. U ayniqsa yarim o'tkazgichlar texnologiyasida, metalshunoslikda, katalizda, mineralogiyada va foydali qazilmalarni analiz qilishda, kristallarni o'stirishda keng qo'llanilmoqda.

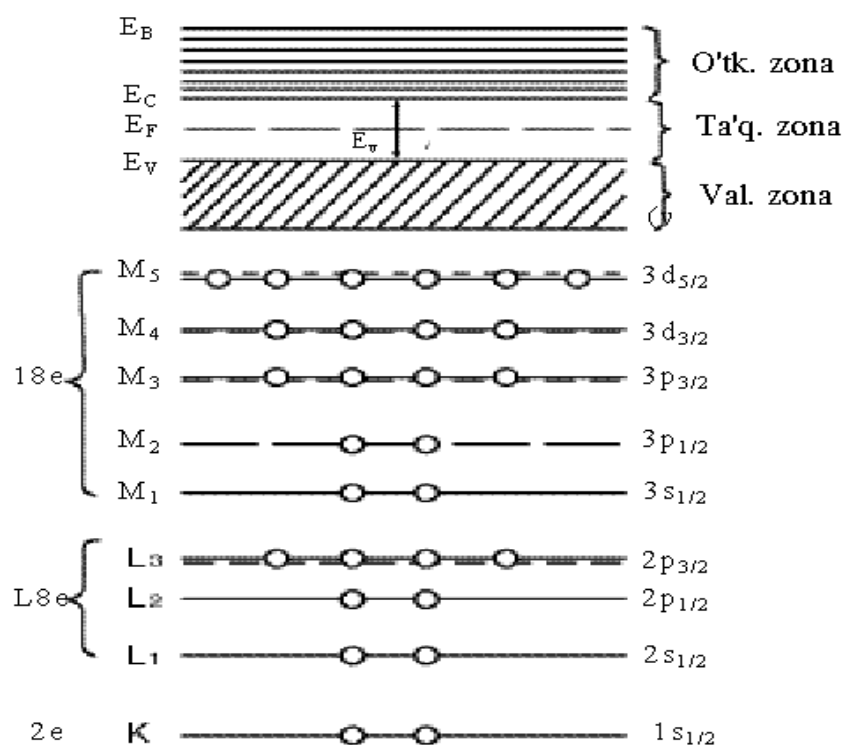
OES bilan bir paytda yuzalarni ionlar yordamida yemirish usulini qo'llab jismlarning yuza osti qatlamlarini (hajmini) ham tahlil qilish mumkin. Ishlatilish sohalari jadvalda berilgan.

OES metodning yaratilishi, prinsipi, to'rlari, imkoniyatlari va olingan natijalar to'g'risida rus va ingliz tillarida juda ko'p ilmiy monografiya va maqolalar e'lon qilingan. Biz bu yerda faqatgina oje-prosess, EOS metodining prinsiplari va qurilmalar to'g'risida qisqacha to'xtalib o'tamiz.



2.1.Qattiq jismning elektron tuzilishi. Elektron sathlarning belgilanishi

Qattiq jism bir-biriga juda yaqin joylashgan ($1\div 3 \text{ \AA}$) atomlar to'palamidan iborat sistemadir. Bunday sistema atomlarning tashqi ya'ni valent elektronlarini umumlashtirish tufayli vujudga keladi. Qattiq jismda nechta atom bo'lsa (1sm^3 da taxminan 10^{22} atom bo'ladi) shuncha atomlarning valent elektronlari umumlashgan bo'ladi. Pao'li prinsipiga asosan bitta elektron sathda (qavatda) 2 tadan ortiq elektronlar joylasha olmaydi. Shuning uchun valent elektronlar bir-biriga juda yaqin joylashgan sathlarda ikkitadan bo'ilib joylasha boshlaydi. Yonma-yon joylashgan sathlar orasidagi energetik masofa $\sim 10^{-22}$ - 10^{-22} eV atrofida bo'lganligi uchun, qattiq jismning valent elektronlari o'zaro bir-biriga yopishib to'rgan sathlardan iborat butun bir zonani tashkil qiladi deb qarash mumkin. Masalan, Pd uchun valent zona kengligi ~ 6 eV, Si uchun esa ~ 12 eV ni tashkil qiladi.



6-rasm:Qattiq jismda elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi. E_V – vakuum sathi, E_F – Fermi sathi, E_S – o'tkazuvchanlik zonasining (O'Z) pastki chegarasi, E_V – valent zonaning (VZ) yuqori chegarasi, T_Z – ta'qiqlangan zona.

Alohida atomlarda valent elektronlari o'tishi mumkin bo'lgan bo'sh sathlar mavjud. Qattiq jismda bu sathlar qo'shilishi natijasida o'tkazuvchanlik zonasi vujudga keladi. Agar valent zonaning yuqoridagi va o'tkazuvchanlik zonasining pastki chegaralari bir-biriga juda yaqin joylashgan (yoki qo'shib ketgan) bo'lsa bunday jismlar o'tkazgich bo'ladi. Agar bu atomlar orasida biror E_g energetik farq bo'lsa, bunday moddalar yarim o'tkazgich (shartli ravishda $E_g \leq 2,5$ eV) yoki dielektrik ($E_g \geq 2,5$ eV) bo'ladi.

Atomlardagi valent elektronlar joylashgan sathlardan pastki sathlardagi elektronlar, bu elektronlar qattiq jism tarkibiga kirganda ham shu atomga tegishli bo'lib qolaveradi, ya'ni umumlashmaydi. ularni negiz yoki o'zak (ostovnie) elektronlar deb ataymiz. Ammo ularning energetik holati biroz o'zgarishi mumkin. Albatta bu o'zgarish valent zonaga yaqin sathlarda ko'proq bo'lib, o'ndan o'zoqlashgan (ya'ni atom yadrosiga yaqinlashgan) sari kamayib boradi.

Qattiq jismlarda sathlar atomlardagi kabi harflar yoki sonlar bilan belgilanadi. Qattiq jismda elektronlarning energiya bo'yicha taqsimlanishi va sathlarning belgilanishi (germaniy misolida) 6-rasmda keltirilgan. Endi bu rasimga izoh beramiz.

1. Yadroga eng yaqin joylashgan sath K harfi yoki 1 raqami bilan belgilanadi. Bu sathda 2 tagacha elektron joylashishi mumkin. Uni $1S_{1/2}$ deb belgilash mumkin.

2. K dan keyingi sathlar to'pilamini L yoki 2 deb belgilanadi. Bu to'pilamdagi 4 ta sathda 8 tagacha elektron joylashadi. Bu sathlar L_1 yoki ($2S_{1/2}$), L_2 ($2P_{1/2}$), L_3 ($2P_{3/2}$) deb belgilanadi. L_3 ya'ni ($2P_{3/2}$) sath bir-biriga juda yaqin joylashgan 2 ta sathdan iborat bo'lganligi uchun unda 4 tagacha elektron bo'ladi.

Keyingi bir necha sathlar to'pilamini M yoki 3 deb belgilanadi. Bu to'pilamda 9 ta sath bo'lib, ularda 18 tagacha elektronlar joylashishi mumkin. Bu sathlardagi belgilashlar: $M_1 - 3S_{1/2}$ (2 ta elektron), $M_{2-3} P_{1/2}$ (2ta), $M_3 - 3P_{3/2}$ (4 ta), $M_4 - 3d_{3/2}$ (4 ta), $M_5 - 3d_{5/2}$ (6 ta).

M dan keyingi sathlar to'pilami N yoki 4 deb belgilanadi. Bu to'pilamda 32 tagacha elektron bo'lishi mumkin. Bizning misolimiz (6-rasm) shartli ravishda Ge

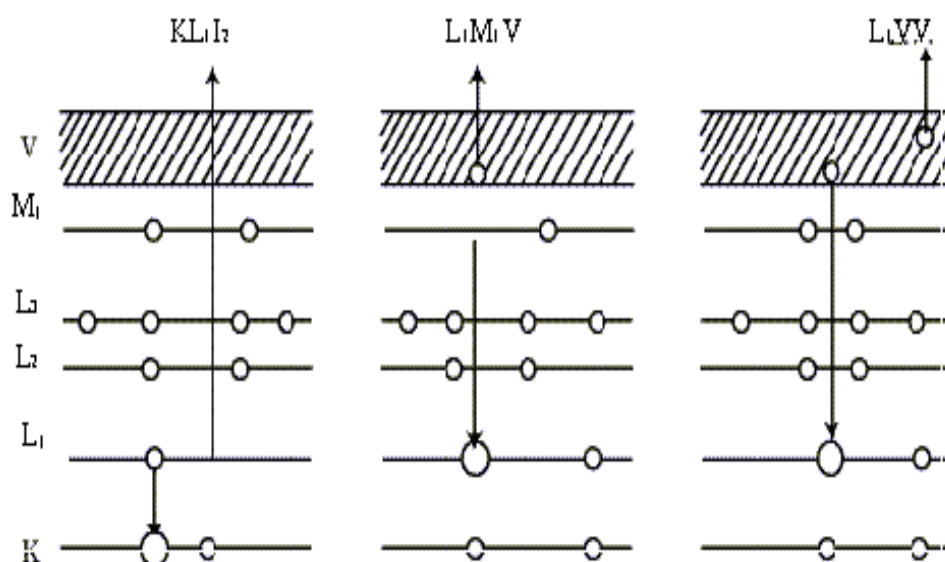
ga to'g'ri kelganligi uchun bu sathlar to'pilamida 4 ta elektron bo'ladi. Bu elektronlar umumlashib valent zonani tashkil qiladi.

Sathlarni hisobga olganda Ge atomi uchun elektron konfigo'rasiyalarni quyidagicha yozish mumkin: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^2$. s, p va d larning daraja ko'rsatkichlari shu sathlardagi elektronlarning soniga teng bo'ladi. Ge atomi uchun 4 $S^2 4P^2$ valent elektronlarga to'g'ri keladi. Qattiq jismda bu elektronlar valent zonani tashkil qilganligi uchun V deb belgilanadi. Boshqa belgilashlar atomdagidan farq qilmaydi.

2.2.Oje – jarayon. Oje – elektron spektrometr qurilmasining asosiy qisimlari

Energiyasi yetarli darajada katta bo'lgan birlamchi elektron jism atomlarining ichki sathlarining bittasidan, masalan, K dan elektron o'rib chiqarish mumkin. Bu bush qolgan joy tezda (10^{-12} - 10^{-13} ichida) yuqori sathlardan biridagi (masalan, L_1 dagi) elektronning o'tishi bilan to'ladi. Bu o'tish natijasida $E_k - E_L$ energiya ajralib chiqadi. Bu energiya xarakterli rentgen nurlanish holida ajralishi mumkin yoki boshqa (masalan, L_2) sathdagi elektronga berilishi mumkin. Agar aytilgan energiya elektronga berilib uni vakuumga chiqarsa uchib chiqqan elektron oje-elektron, ko'rib o'tilgan jarayon esa oje - jarayon deyiladi. Bu o'tishlar quyidagicha belgilanadi: $KL_1 L_2$

Demak oje-jarayon uchta bosqichdan iborat bo'lar ekan: ichki sathlarning birida vakant (bo'sh) joy hosil bo'ladi; yuqoridagi sathlardan biridagi (yoki valent zonadagi) elektron bilan vakant joy to'ldiriladi; ajralib chiqqan energiya yuqori sathlardagi yoki valent zonadagi elektronlardan biriga berilib uni vakuumga chiqaradi. (Ajralib chiqqan energiya albatta to'ldiruvchi elektron joylashgan sathdagi yoki o'ndan yuqoridagi sathlardagi elektronga beriladi).



7-rasm: Oje o'tishlar. KL_1L_2 – K sathda vakansiya xosil boladi, L_1 dagi elektron uni to'ldiradi, L_2 dan oje-elektron uchib chiqadi; $L_1 M_1V$ - L_1 dagi vakansiya M_1 dan to'ldiriladi, V dan oje-elektron chiqadi; L_1VV - L_1 dagi vakansiya V dan to'ldiriladi va V dan oje-elektron chiqadi.

7-rasmda oje-o'tishlarga ayrim misollar keltirilgan. Oje-elektronlarning energiyasi E_{wxy} umumiy holda taxminan quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_{wxy} = E_w - E_x - E_y \quad (1)$$

w - vakansiya hosil bo'lgan sath: x - vakansiyani to'ldirish uchun elektron bergan sath: y - oje-elektron uchib chiqqan sath.

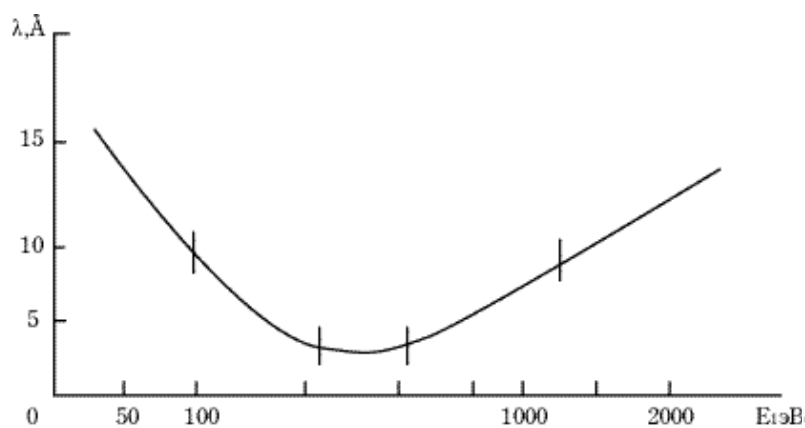
Oje-elektronlarning energiyasini aniqroq hisoblash uchun quyidagi empirik formuladan foydalanish mumkin:

$$E_{wxy} = E_w(z) - E_x(z) - E_y(z) - 1/2 \{ E_y(z+1) - E_y(z) + E_x(z+1) - E_x(z) \} - \phi_a \quad (2)$$

Bu yerda, z - tekshirilayotgan elementning tartib nomeri, ϕ_a - oje-elektronlarni qabul qilib olayotgan elektrod (analizator)ning chiqish ishi.

Demak, oje-jarayon uchun kamida 2 ta elektron sath bo'lishi kerak ekan. Shuning uchun ham N va Ne atomlari uchun oje-o'tish ro'y bermaydi. Elementning tartib nomeri oshib borgan sari unda ro'y beradigan oje-o'tishlarning soni ham ortib, ya'ni har xil energiyali oje-elektronlar hosil bo'ladi. Har qanday elementdagi bir necha oje-o'tishlar energiyasi, boshqa elementdagi oje-o'tishlarning energiyasi bilan hech qachon bir xil bo'lmaydi. β 'ni oje-elektronlarning energiyasini analiz qilib har qanday elementni aniqlash mumkin.

Oje-elektronlarning chiqish chuqurligi λ , ikkilamchi elektronlarning erkin yo'l uzunligiga teng bo'lib, ularning energiyasiga bog'liq bo'ladi. Bu chuqurlik elementning to'riga unchalik bog'liq emasligi tajribada aniqlangan. 5.2-rasmda barcha elementlar uchun universal bo'lgan oje-elektronlar energiyasi va chiqish chuqurligi orasidagi bog'lanish $E_{oje}(\lambda)$ berilgan.



8-rasm: Oje-elektronlar chiqish chuqurligi va energiyasi orasidagi bog'lanishi ifodalovchi egri chiziq.

Rasmdan ko'rinadiki λ ning qiymati E_{oje} - 50 -100 eV bo'lgan oraliqda eng kichik 5-6 eV ni tashkil qiladi.

Oje – elektron spektrometr qurilmasining asosiy qismlari

Jism yuzasini tekshirish uchun o'ndan chiqayotgan oje-elektronlarni analiz qilish metodi oje-elektron spektroskopiya deyiladi. Oje-elektronlar soni juda kam bo'lganligi uchun ular hosil qilgan tok ikkilamchi elektronlar tokining to'xtatuvchi potensialga (energiyaga) bog'lanish $i_2(U)$ egri chiziqida umuman sezilmaydi. Ikkilamchi elektronlarning energetik spektrida (ya'ni $N(E)=di_2/dE_2$) oje-elektronlar

juda kichik intensivlikka ega bo'lgan cho'qqichalar hosil qiladi. ularni yaqqol sezish uchun spektrdan yana bir marta hosila olinadi:

$$N(E)=d^2 i_2(E)/dE^2 \quad (3)$$

Oje-elektronlarni hosil qilish, ularni qabul qilish va ko'chaytirish hamda differensiallangan energetik spektrlarini yozib olishlarni amalga oshiruvchi qurilmalar oje-elektron spektrometrlar deb ataladi. Analizatorining tuzilishi va ishlash prinsipiga qarab spektrometrlarning to'rlari har xil bo'ladi. Biz shulardan eng ko'p tarqalgan ikki to'rini ko'rib o'tamiz. Boshqa tipdagi analizatorlar ham mohiyat jihatdan bulardan tubdan farq qilmaydi.

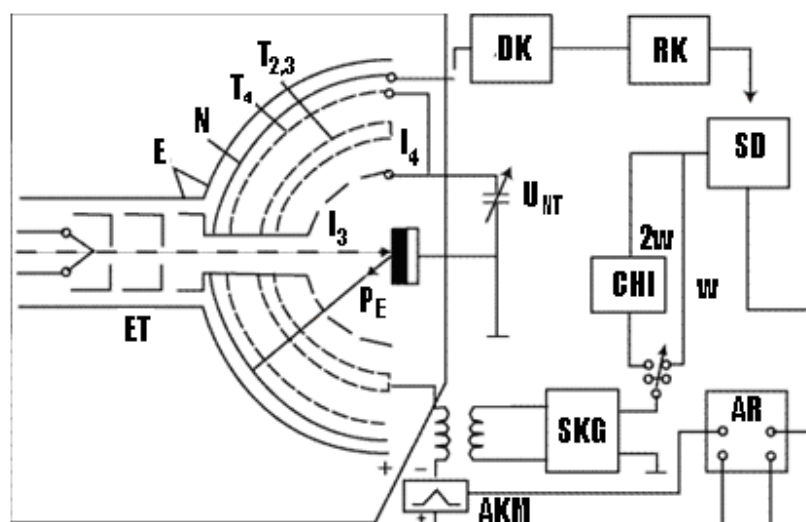
1. To'xtatuvchi (tormozlovchi) maydonli analizatorga ega bo'lgan spektrometrlar.

Eng oddiy ko'rinishdagi OES qurilmasi quyidagilardan iborat bo'ladi: yuqori vakuumli ($P=10^{-7}\text{Pa}$) kamera, elektron to'pi, nishon (tekshirilayotgan jism) va elektron analizator (spektrometr). OES yuzaning holatiga katta darajada bog'liq bo'lganligi uchun tekshirishlar o'ta yuqori vakuum sharoitida olib borilishi kerak. Elektron to'pi yuqori darajada fokuslangan (nishondagi o'lchami 100-150 mkm), intensivligi kerakli darajada ($i_1=10^{-6}\div 10^{-3}\text{mA/sm}^2$) katta bo'lgan birlamchi elektronlar oqimini hosil qiladi. Ko'pincha bu elektronlar energiyasi $E\approx 1-5\text{ keV}$ oralig'ida bo'ladi. Analizator esa ikkilamchi elektronlarni energiya bo'yicha taqsimlanishini analiz qilishga xizmat qiladi.

To'xtatuvchii maydonli analizator sferik (yarim sferik) ko'rinishdagi to'rlar (2 tadan 4 tagacha) va kollektordan iborat bo'ladi. To'tta to'rga ega bo'lgan analizatorli spektrometrning chizmasi 9-rasmda keltirilgan. Bu yerda T_1 to'r nishondan uchib chiqayotgan ikkilamchi elektronlarning maydonsiz fazoda harakatlanishini ta'minlashga xizmat qiladi. Buning uchun nishon bilan to'r T_1 taxminan bir xil potensialga ega bo'lishi kerak. (ular orasidagi kontakt potentsiallar farqi U_{nt} manba yordamida kompensasiya qilinadi.) Shuning uchun ikkilamchi

elektronlar T_1 gacha o'z yo'nalishlarini o'zgartirmay etib keladi. Ikkilamchi elektronlarni to'xtatuvchii potensial (maydon) T_1 va T_2 oralig'ida beriladi.

U_t potensialning to'r katakchalari o'rtasida ham bir xilda qolishini ta'minlash uchun T_2 ga juda yaqin qilib T_3 to'r joylashtiriladi. Energiyasi to'xtatuvchii maydon energiyasidan katta bo'lgan ikkilamchi elektronlar kollektorga K tushadi. K va T_{23} to'rlar orasidagi sig'imni keskin kamaytirish uchun ular orasiga T_4 to'r joylashtiriladi. Potensialni sekin-asta 0 dan U_1 gacha monoton o'zgartira borib $i_2(U_2)$ ya'ni $i_2(E_2)$ bog'lanish egri chizig'ini yozish mumkin. Bu bog'lanishning hosilasini olish uchun T_{23} to'rga U_t bilan birgalikda w chastotali ozgina ko'chlanish ($\Delta U = K \sin \omega t$) beriladi. Bu yerda $K = 0,5 \div 3V$ atrofida bo'ladi.



9-rasm: To'xtatuvchi maydonli analizatorga ega bo'lgan spektrometr. ET – elektron to'p, E – ekran, K – kollektor, $T_{2,3} \div T_4$ – to'rlar, N – nishon, DK va RK – dastlabki va rezonans kuchaytirgich, SD – sinxron detektor, CHI – chastotani ikkilantiruvchi, SKG – sinusoidal kuchlanishlar generatori, AKM – arrasimon kuchlanish manbasi, AP – avtomatik yozuvchi asbob.

Natijada kollektorga o'tayotgan ikkilamchi tok w chastota bilan modulyasiyalangan (tebrangan) bo'ladi, ya'ni uni quyidagicha yozish mumkin: $I_2(U_2 + \Delta U)$. Bu ifodani Teylor qatoriga yoyib chiqamiz:

$$I_2(U_2 + K \sin \omega t) = I_{2\omega}(U) + I_2^I K \sin \omega t + I_2^{II} K^2 \frac{\sin^2 \omega t}{2} + \dots + \quad (4)$$

Ma'lum almashtirishlardan keyin (3.4.2) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$I_2(U + K \sin \omega t) = I_{20}(U) + (I_2^I K + \frac{I_2^{III}}{2} K^3 + \dots) \sin \omega t - (\frac{I_2^{II}}{4} K^2 + \frac{I_2^{IV}}{48} K^4 + \dots) \cos \omega t \quad (5)$$

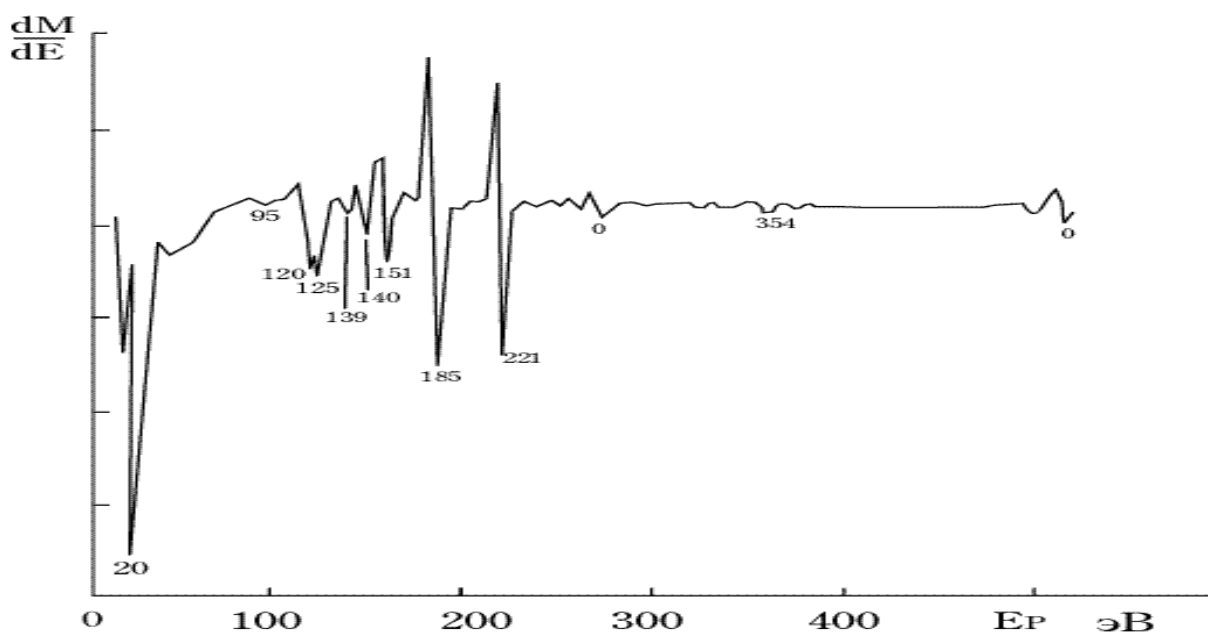
Bu yerda $I_{20}(U)$ - vaqtga bog'liq bulmagan hamma hadlarni o'z ichiga oladi. $K \ll U$ bo'lganligi uchun K^3 va o'ndan yuqori darajali hadlarni tashlab yuborsak:

$$I_2(U + K \sin \omega t) = I_{20}(U) + I_2^I (K \sin \omega t) - \frac{I_2^{II}}{4} K^2 \cos 2\omega t \quad (6)$$

Qabul qilibchi sistemadagi dastlabki va rezonans kuchaydirgichlarni hamda sinxrom detektorni ω chastotada ishlaydigan qilib sozlansa yozib oluvchi priborda $N(E)$ qayd qilinadi. $N(E)$ spektr ikkilamchi elektronlarning birinchi garmonikasining amplitudasi $I_2^I K$ ga proporsional bo'ladi. Qayd qiluvchi sistemani 2ω chastotaga sozlab $I_2^{II} K^2$ amplitudaga proporsional bo'lgan $N^1(E)$ signallarni yozib olish mumkin.

10-rasmda Mo monokristali uchun $N(E)$ spektrlari keltirilgan. Oje-spektrda Mo dan tashqari S va O ga tegishli cho'qqilar aniq ko'rinib to'ribdi.

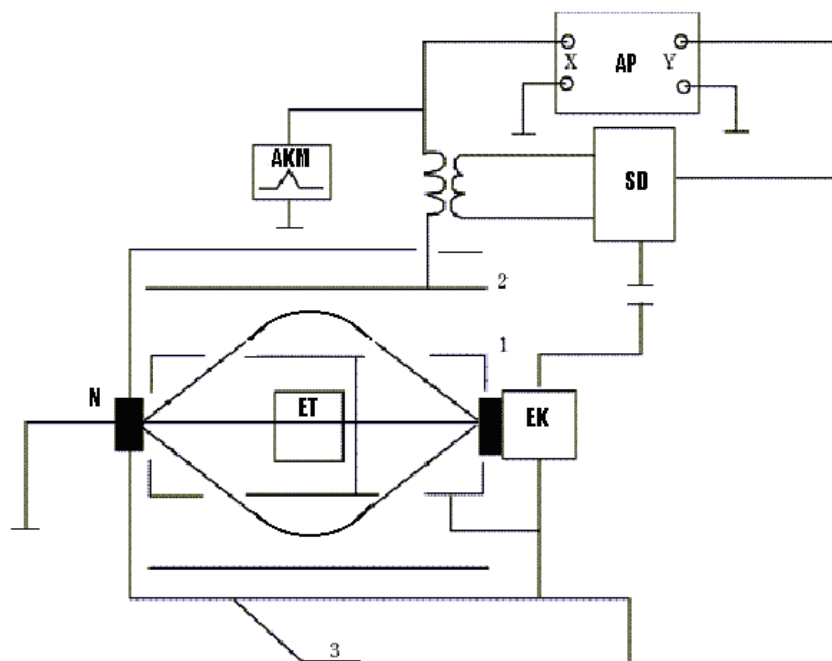
Ko'rib o'tilgan oje-spektrometrda har xil burchaklar ostida chiqayotgan barcha ikkilamchi elektronlar qayd qilinganligi uchun ular hosil qilgan tok katta bo'ladi. Ammo bunda kerakli oje-signallar bilan birgalikda boshqa signallar (shovqin) ham kollektorga etib keladi va qayd qilinadi. Eng yaxshi hollardagina signalning shovqinga nisbatini 10^2 ga yetkazish mumkin. Bunday analizatorlarning ajrata olish qobiliyati $\Delta E \sim 0,5 \div 1\%$ atrofida bo'ladi. ΔE - ajratish lozim bo'lgan ikki yonma-yon cho'qqi orasidagi energetik interval.



10-rasm: Molibden monokristallining oje-spektri.

Silindrik ko'zguli analizatorga ega bo'lgan spektrometrlar.

Bunday analizator bitta markaziy o'qqa ega bo'lgan ikkita (ichki va tashqi) silindrdan iborat bo'ladi. Ichki silindr ichiga optik o'qi analizatorlarning markaziy o'qi bilan ustma-ust tushadigan qilib elektron to'pi joylashtiriladi. Analizator ikkita fokusga ega bo'lib, ulardan biriga nishon, ikkinchisiga esa ikkilamchi elektronlarni qabul qiluvchi asbob (elektron kuchaydirgich-EK) o'rnatiladi. Nishondan emitterlangan elektronlar radial yo'nalishlar bo'ylab harakatlanib ichki silindrdagi halqasimon tirqish orqali o'ta boshlaydi. Tashqi silindrga berilgan manfiy potensial ma'lum energiyali elektronlarni orqaga qaytarib, ikkinchi halqasimon tirqish orqali EK ga yo'naltiradi. Analiz qilinayotgan elektronlarning energiyasi tashqi silindr potensialiga proporsional bo'ladi. Maydonning ekvipotensialligini saqlash uchun halqasimon tirqishlarga to'rlar qoplanadi. Elektronlar ichki silindr orqali EK ga tushmasligi uchun ET ning orqa tomoniga to'siq qo'yiladi (11-rasm).



11-rasm: Silindrik ko'zgu analizatorli spektrometr. EK – elektron kuchaytirgich, T – tosiq, 1 va 2 – ichki va tashqi silindrlar.

Bu usulda yozib olingan signal to'g'ridan-to'g'ri ikkilamchi elektronlarning spektri $N(E)$ ni beradi. Oje-signallarni yozish uchun tashqi silindrga qo'himcha ozgina sinusoida kuchlanish $\Delta U = K \sin \omega t$ beriladi. Bu spektrometrda signalning shovqinga nisbati 10^3 va o'ndan katta bo'ladi. Ajrata olish qobiliyati esa $0,2 \div 0,5\%$ ni tashkil qiladi. Demak, silindrik ko'zguli analizatorlarning sezgirli va aniqlik darajasi to'xtatuvchii maydonli analizatorlardan ancha yuqori bo'ladi.

2.3 Fotoelektron spektroskopiya, ikkilamchi ionlarning mass – spektroskopiya.

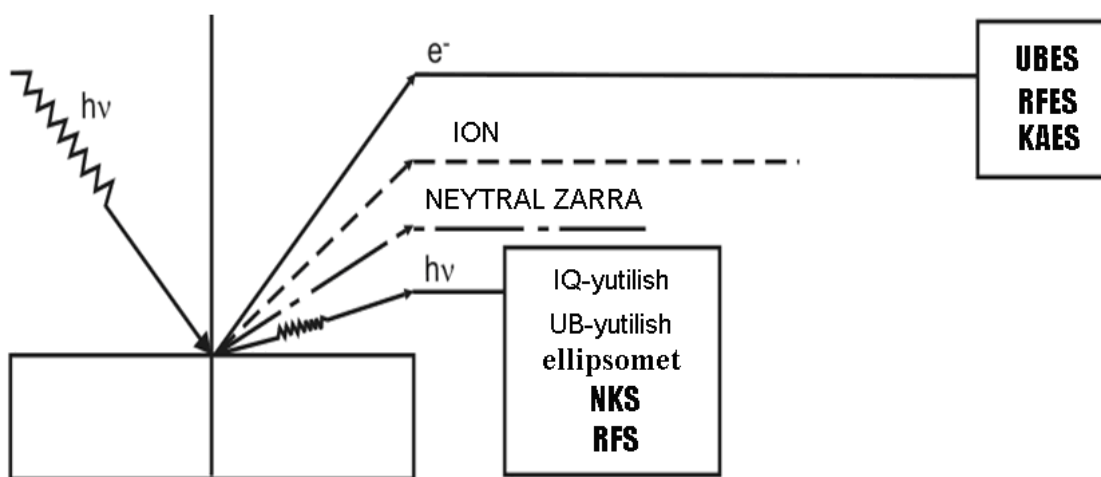
Yuzalarni tekshirishda fotonlar oqimidan foydalanish. Yuzalarni diagnostika qilishda zond sifatida ishlatiladigan zarralarning orasida fotonlar yuza xususiyatlariga eng kam ta'sir qiladigan zarradir. Bunga sabab, birinchidan, fotonning impul'si juda kichik, ikkinchilan, u neytral zarra bo'lganligi uchun yuzalarning zaryadlanib qolishiga bog'liq bo'lgan jarayonlar keskin kamayadi. Fotonlardan foydalanishning salbiy tomonlari ham bor. Kerakli diapazonda

fotonlarning kuchli intensivlikka ega bo'lgan oqimini olish juda qiyin. Bundan tashqari ikkilamchi zarralarni hosil qilish effekti juda kam. Shuning uchun yuza qatlamlardan chiqayotgan signallar juda kichik bo'ladi. Ammo sezgirliги yuqori bo'lgan zamonaviy detektorlardan foydalanib bunday signallarni katta aniqlik bilan qayd qilish mumkin.

Asosan foto-elektron va foto-foton emissiyaga asoslangan usullar ko'p qo'llaniladi. (3.8-rasm). Yuzaga tushayotgan va undan qaytayotgan fotonlarning to'lqin uzunliklariga qarab to'rtta guruhga ajratish mumkin: infra-qizil(IQ), ko'zga ko'rinadigan, ul'trabinafsha(UB) va rentgen nurlari.

Bu usul orasida quyidagilarni alohida ta'kidlash mumkin:

1. IQ-yutilish. Bunda IQ fotonlar yuzaning monomolekulyar tebranba holatni vujudga keltirish mumkin: IQ ning bu tebranishlardan yutilishini analiz qilib yuza qatlamning molekulyar tuzilishi haqida ma'lumot olinadi. Yarim o'tkazgichlarda va dielektriklarda IQ nurlar yutilishi natijasida donor satxlardan o'tkazuvchanlik zonasiga, valent zonadan akseptor satxlarga elektronlar o'tishi ro'y beradi. Bu esa donor va akseptor satxlarning energetik holatini aniqlash imkonini beradi.



12.-rasm: Fotonlar bilan nurlantirishga asoslangan usullar: UBES-ul'trabinafsha nurlar

fotoelektron spektroskopiyasi; RFES- rentgen nurlar FESi; KAES- kimyoviy analiz uchun elektron spektroskopiya; NKS- nurlarning kombinasion sochilishi; RFS- rentgen-foton spektroskopiyasi.

2. Ko'zga ko'rinuvchi nurlar diapazonida ellipsometriya va nurlarning kombinasion sochilishi (NKS) usullari qo'llaniladi. Ellipsometriya metodida

yuzaga yaxshi kontrol qilinadigan nurlar dastasi yuboriladi va uning qaytishida qutblanish fazasining o'zgarishi analiz qilinadi. Bunda yuzaning holati to'g'risida ma'lumot sindirish ko'rsatkichini o'lchash orqali olinadi.

NKS metodi, yoruglik material bilan ta'sirlashishi natijasida xar xil o'tishlarning vujudga kelishiga asoslangan. Sochilayotgan fotonlar bunday o'tishlar natijasida o'z energiyasini oshirishi yoki kamaytirishi mumkin. Emissiyalangan fotonlar chastotalarining o'zgarishini analiz qilib, tekshirilayotgan jism yuzasi to'g'risida ma'lumot olinadi.

3. UB(ultra binafsha)-yutilish. Bu usul ko'proq yuza va yuza osti qatlamlarida elektronlarning energetik taqsimoti xaqida eng aniq ma'lumotlar bera oladi. Bu usul yordamida yuza qatlamlarning zonaviy tuzilishi va zona parametrlari aniqlanadi.

4. Rentgen-foton spektroskopiyasi. Rentgen nurlar ta'sirida jismdagi atomlarning elektronlari bir satxdan ikkinchi satxga o'tadi. Bunda koldik energiya nurlanish (foton) hosil qilishi mumkin. Bu nurlanishlarning chastotalari va intensivliklarini analiz kilib yuza xolati to'g'risida juda kerakli ma'lumotlar olinadi.

Foto-elektron emissiyaga asoslangan metodlar juda ko'p. Ularning eng asosiylari:

Ul'trabinafsha fotoelektronlarning spektroskopiyasi (UBES). Yuzalardan ul'trabinafsha nurlar ta'sirida uchib chikkan elektronlarning energiya buyicha taksimlanishi analiz qilinadi. UBES valent zonasidagi elektronlarning energiya buyicha taqsimoti (spektri) haqida to'g'ridan-to'g'ri informasiya beradi. Bundan tashqari zonalarning parametrlarini (kengligi, Fermi satxining o'rni, zonalarning egilishi va boshqalar) aniqlashga imkon beradi.

Rentgen fotoelektronlarning spektroskopiyasi (RFES). Bu metod valent zona va undan pastda joylashgan elektron sathlar to'g'risida ma'lumot bera oladi.

Kimyoviy analiz uchun elektron spektroskopiya (KAES). Bu metod OES metodiga o'xshash. Bunda pastki elektron satxlardagi bo'sh o'rinlar elektron ta'sirida emas, rentgen nurlari ta'sirida xosil qilinadi. KAES-yordamida material

yuzasining elementar va kimyoviy tarkibi, atomlarning konsentrasiyalari aniqlanadi.

Ikkilamchi ionlarning mass-spektroskopiyasi (IIMS)

Ilgari ko'rib otganimizdek, qattiq jism yuzasiga ionlar kelib urilganda undan to'rt xil turdagi zarralar uchib chiqishi mumkin. Shulardan ionlar va neytral atom (molekula)larning uchib chiqishi yuzaning emirilishiga olib keladi. Bu zarralarni massa buyicha tahlil qilish jismning yuza tarkibi haqida to'g'ridan-to'g'ri ma'lumot beradi. Ikkilamchi ionlarni tahlil qilish nisbatan oson bo'lgani uchun hozirgi paytda IIMS usuli juda ko'p qo'llaniladi. Bu usulning sezgirligi juda yuqori bo'lib, ko'pgina elementlar uchun $10^{-4}\%$ ni tashkil qiladi. OES dan farqli ravishda bu usul yordamida N va Ne ni ham aniqlash mumkin. Ammo uchib chiqayotgan ionlarning miqdori juda ko'p kattaliklarga bog'liq bo'lganligi uchun bu usul yordamida miqdoriy tahlil ko'p qiyinchiliklarga olib keladi. Bundan tashqari agar jism yuzasining tarkibi juda ham murakkab bo'lib unda har xil birikmalar mavjud bulsa, ularni massa buyicha ajratish (ayniqsa katta massalarda) qiyinlashadi. Lekin maxsus usullar qo'llash orqali tahlilni katta aniqlikda olib borish mumkin.

Yuzaning yendirilish kattaligi unga tushayotgan birlamchi ionlarning energiyasiga, massasiga va tushish burchagiga bog'liq bo'ladi. IIMS usulida ko'pincha O_2^+ va Ar^+ ionlari ishlatiladi. Bunda ularning energiyasi $\sim 1-20$ keV atrofida bo'ladi.

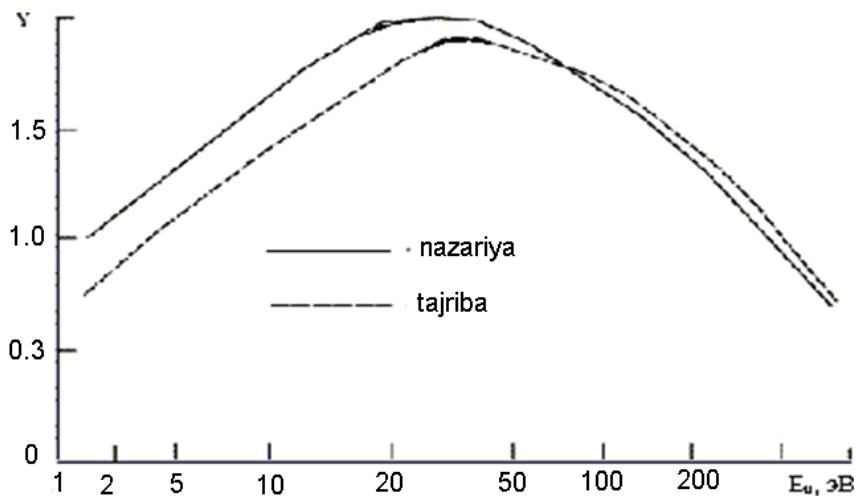
Yuzalarni tahlil qilishda tushayotgan ionlarning intensivligini kichik, tushish burchagini (normalga nisbatan) esa kattaroq ($80-85^\circ$) qilib olishga harakat qilinadi. Bunda yuzaning yendirilishi ancha kamayadi. Hajmiy tahlil qilish uchun esa yuzaning yendirilish tezligi oshiriladi. Umuman yendirilish tezligini juda katta: 10^{-5} dan 10^3 E/s gacha oraliqda o'zgartirish mumkin.

Qattiq jism yuzalari ionlar bilan to'piga tutilganda u emiriladi. Emirilish tezligi birinchi galda yuzadagi moddalarning uchib chiqish kattaligi Y ga bog'liq bo'ladi.

Moddalarning uchib chiqish kattaligi materialning tuzilishi va tarkibiga hamda ionlar dastasining parametriga bog'liq bo'ladi. Y ning qiymati juda katta

diapazonda o'zgarishi mumkin. Ammo chuqurlik buyicha atomlarning taqsimlanishini aniqlashda asosan energiyasi bir necha kiloelektronovol't bo'lgan o'rtacha massali ionlar ishlatiladi. Bunday hol uchun Y ning qiymati 0,5 dan 20 gacha bo'ladi.

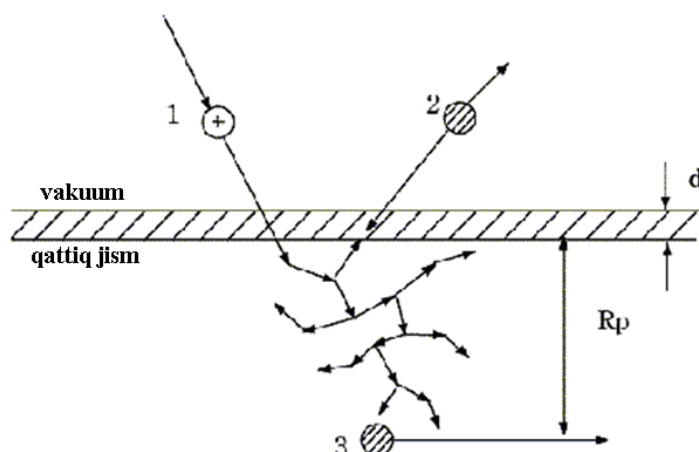
13-rasmda kremniyni argon bilan to'piga tutilgan hol uchun $Y(E_1)$ bog'lanish egri chizig'i keltirilgan. Bunda nazariy va tajribaviy natijalar bir-biriga yaxshi mos keladi. Nazariy hisoblarda ionlar energiyasini yadroviy to'qnashuvlarda yo'qotadi va bu yo'qotish juda ko'p atomlar ishtirok etadigan kaskadli to'qnashuvlar uchun sarf bo'ladi deb faraz qilingan (14-rasm). Hozirgi paytda juda ko'p ion va qattiq jism kombinasiyalari uchun Y ning qiymati aniqlangan. To'qnashuv jarayonida jism atomlari yuzaning eng yuqori qatlamlaridan uchib chiqadi. Yuzaga kelib urilgan ion o'z energiyasini jism atomlariga beradi. Bu atomlar o'z navbatida boshqa atomlar bilan to'qnashib ularga o'z energiyasini beradi. Natijada yuzaga yaqin joylashgan atomlar yetarli darajada energiyaga ega bulsa, undan ajralib chiqadi.



13-rasm: Kremniy atomlari uchib chiqish kattaligining Ar^+ ionlarining energiyasiga bog'liqligi.

Tushayotgan ion to'qnashuvlar jarayonida energiyasining bir qismini yo'qotib vakuumga qaytib chiqishi yoki qattiq jism ichida qolib ketishi mumkin. Birlamchi ionlar (atomlar)ning jism ichida joylashib qolishi legirlanish yoki implantasiya deyiladi.

Yendirilish kattaligi joyidan qo'zg'atilgan va uchib chiqayotgan atomlarning soniga proporsional bo'ladi. chiziqli kaskad uchun qo'zg'atilgan va uchib chiqayotgan atomlar miqdori birlik qatlamdagi yadroviy energiya yo'qotishga proporsional bo'ladi. U holda ionlarning tik tushayotgan holi uchun moddalarning uchib chiqishi:



14 – rasm: Ionlarning qattiq jism bilan to'qnashishining shakliy tasviri: 1–birlamchi ion, 2 – uchib chiqayotgan zarra (ion yoki neytral atom), 3 – implantasiya qilingan atom (jismda joylashib qolgan ion), R_1 – birlamchi ionlarning kirish chuqurligi, d – jism moddalarining uchib chiqish chuqurligi.

$$Y = \Lambda F_o(E_o) \quad (7)$$

bo'ladi. Bu yerda Λ - moddaning hamma xususiyatlarini, shu jumladan sirtiy bog'lanish energiyasini ham ifoda etadi, $F_o(E_o)$ - energiyaning yuzada yutilish zichligi. U ionning turi, energiyasi va tushish burchagiga, nishonning parametrlariga (elementlarning tartib nomeri, massasi va konsentrasiyasiga) bog'liq bo'ladi. Uni qo'yidagicha ifodalash mumkin:

$$F_o(E_o) = \gamma N S_n(E_o) , \quad (8)$$

bunda N-nishon atomlarining konsentrsiyasi, $S_n(E_0)$ -yadroviy tormozlanishning kundalang kesimi, γ -tushish burchagiga bog'liq bo'lgan ko'paytma, $NS_n(E) = (dE/dx)_n$ -yadroviy yo'qotish energiyasi. Uni qo'yidagi formuladan topish mumkin:

$$NS_n(E) = \frac{dE}{dX} \Big|_n = N \frac{\pi^2}{2} Z_1 Z_2 e^2 a \frac{M_1}{M_1 + M_2}, \quad (9)$$

bu yerda Z_1 va Z_2 - ion (tushayotgan atom) va nishon atomlarining tartib nomeri, M_1 va M_2 - ularning massalari, a - Tomas-Fermining ekranlash (himoya) radiusi.

(7) – formuladagi Λ ning kattaligini eng sodda holda qo'yidagicha ifodalash mumkin:

$$\Lambda = \frac{0,042}{NU_0} (e/eV) \quad (10)$$

Bu yerda N - jism atomlarining m^{-3} da ifodalangan konsentrsiyasi, U_0 - sirtning bog'lanish energiyasi (eV). U_0 ni sublimasiya temperaturasi (taxminan bug'lanish energiyasiga teng) orqali aniqlash mumkin. Umuman U_0 ning qiymati 2 dan 4 eV gacha bo'ladi.

hisobga olib (7) formula yordamida Y ni aniqlash mumkin. Bunda γ ning qiymati M_2/M_1 nisbatga va tushish burchagiga bog'liq ekanligini va u 0,2 dan 0,4 gacha o'zgarishini hisobga olish kerak. Jism yuzasiga tik tushayotgan o'rtacha massali ionlar uchun γ ning o'rtacha qiymati $\sim 0,25$.

Misni Ar^+ ionlari bilan to'piga tutilayotgan hol uchun Y ni hisoblaymiz. (9) formuladan foydalanib NS_n ni topamiz:

$NS_n = 124 \text{ eV/e}$, Cu uchun: $U_0 = 3 \text{ eV}$, atomlar zichligi $N = 8,5 \cdot 10^{-2}/e^3$, u holda,

$$Y = \frac{0,042 \cdot 0,25 \cdot 1,24}{8,45 \cdot 10 \cdot 3} = 5,1.$$

Bu natija tajribada olingan qiymatga juda yaqin. Tajribada $Y = 6$.

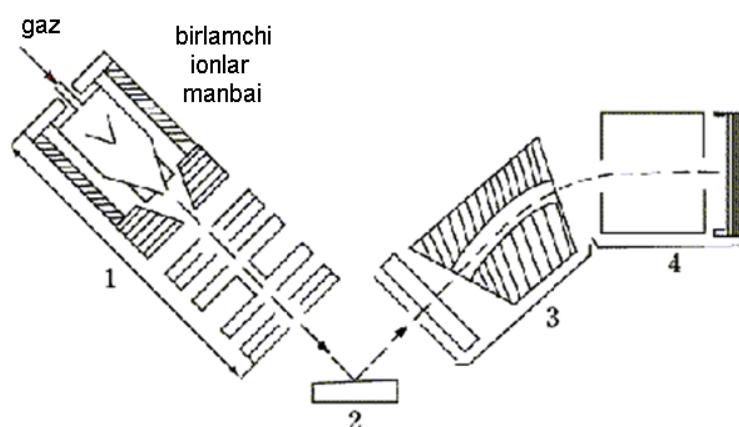
Jism ionlar bilan to'piga tutilganda undan neytral atomlar, bir va bir necha marta ionlashgan musbat va manfiy ionlar hamda har xil klasterlar uchib chiqishi

mumkin. Yuzaning holatiga qarab bitta jismning o'zi uchun uchib chiqayotgan ionlarning soni neytral atomlarga nisbatan o'nlab, yuzlab marta o'zgarishi mumkin.

Jism tarkibini undan birlamchi ionlar ta'sirida uchib chiqayotgan ikkilamchi ionlarning massasani tahlil qilish yo'li bilan o'rganish ikkilamchi ionlarning mass-spektroskopiyasi deyiladi. IIMS qurilmasi o'ta yuqori vakuumli ($R \leq 10^{-6} \text{Pa}$) asbob ichiga joylashtirilgan to'rtta asosiy qismlardan iborat bo'ladi (15-rasm):

- a) birlamchi ionlar to'pii. Bu to'pi ionlar manbai va fokuslovchi qurilmadan iborat bo'ladi;
- b) maxsus o'rnatilgan nishon;
- v) ikkilamchi ionlarni tortuvchi diafragmalar va elektrostatik linzalar va analizator;
- g) ionlarni massa buyicha (m/e) tahlil qiluvchi qurilma.

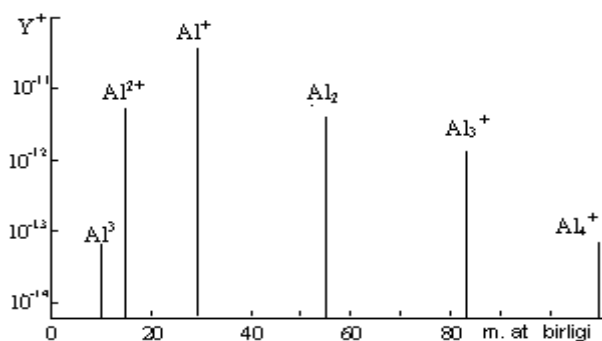
Ikkilamchi zarralar ichidan musbat yoki manfiy ionlar tortib olinadi. Bu ionlar elektrostatik linzalar orqali mass-analizatorlarga kelib tushadi. Kraterning qirralaridan chiqqan ionlar qayd qilinmasligi uchun asosan ion tushayotgan yuzaning o'rta qismidan chiqqan ikkilamchi ionlarga qabul qilib olinadi. Manfiy ionlarning ham, musbat ionlarning ham spektri juda murakkab tuzilishga ega bo'ladi.



15-rasm: Ikkilamchi ionlar mass-spektrometrining chizmasi: 1 – birlamchi ionlarning to'pii, 2 – nishon, 3 – elektrostatik analizator, 4 – mass-analizator.

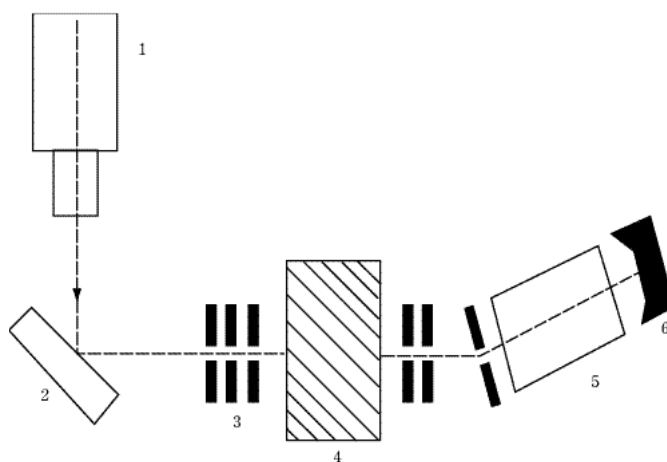
Hattoki o'ta toza materialning spektrida ham juda ko'p chiziqlar (cho'qqilar) mavjud bo'ladi. 16-rasmda Al ni Ar^+ ionlari bilan to'piga tutish natijasida olingan ionlarning mass - spektri keltirilgan. Spektr bir, ikki va uch marta ionlashgan Al atomlari hamda ikki, uch va to'rt atomdan tuzilgan klasterlardan iboratdir. Ammo deyarli hamma vaqt bir marta ionlashgan atomlarning chiqishi eng katta bo'ladi.

Ion-neytral zarralarning mass-spektroskopiyasi (INZMS)da uchib chiqayotgan ikkilamchi ionlarning konsentrasiyasi yuza holatiga bog'liq ravishda, aynan bir jism uchun 100, hatto 1000 martagacha o'zgarib turishi mumkin.



16-rasm: Al plastinkasining ikkilamchi ion mass-spektri.

Shuning uchun IIMS usuli yordamida konsentrasiyalarni to'g'ri aniqlash mumkin emas. Matrisa yuzasining toza emasligiga bog'liq bo'lgan effektlardan qutilish uchun ikkilamchi ionlar o'rniga uchib chiqayotgan neytral zarralarni qayd qilish maqsadga muvofiqdir. Bu usulda neytral atomlar avvaliga musbat va manfiy ionlardan ajratib olinadi, keyin esa ular ionlashtiriladi. INZMS qurilmasining chizmasi 17-rasmda keltirilgan.



17-rasm: Ion-neytral zarralarning mass-spektrometri: 1 – ion to'pii, 2 – nishon, 3—to'rlar, 4 – ionlash kamerasi, 5 – mass-analizator, 6 – detektor.

Bu qurilmaning IIMS dan asosiy farqi shundaki, unda mass-analizatorning oldiga ionlash kamerasi o'rnatilgan bo'ladi. Nishon va ionlash kamerasi orasiga qo'yilgan to'rlarga shunday potentsiallar beriladiki, ular musbat hamda manfiy ionlarning nishondan kameraga, kameradan esa nishonga o'tishiga yo'l qo'ymaydi. Neytral atomlarni ionlash uchun siklotronlarda tezlashtirilgan elektronlar bilan o'yg'otilgan plazma qo'llaniladi. Ayrim hollarda plazmaning o'rniga kuchli lazerlardan foydalanish mumkin.

Tekshirilayotgan qandaydir neytral zarralarni A deb belgilasak, uni ionlashdan keyin hosil bo'lgan signalni qo'yidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$I_A^0 = i_p Y_A J_A r_A , \quad (11)$$

bunda i_p - birlamchi ionlarning toki, Y - A zarralarning to'la chiqish kattaligi, J_A - uchib chiqqan neytral zarralarning ionlashishi darajasi, r_A - asbob doimiysi.

Asl metallar (Au, Pt, Pd) uchun J_A ning qiymati 10^{-1} , qiyin eriydigan metallar uchun esa 10^{-2} gacha bulishi mumkin. INZMS usulning sezgirliigi IIMSnikiga yaqin bo'lib, 10^{-3} ni tashkil qiladi. Yuza holatiga harab uchib chiqayotgan neytral zarralarning soni sezilarli o'zgarmasligi uchun INZMS usulini miqdoriy analiz uchun ham qo'llash mumkin.

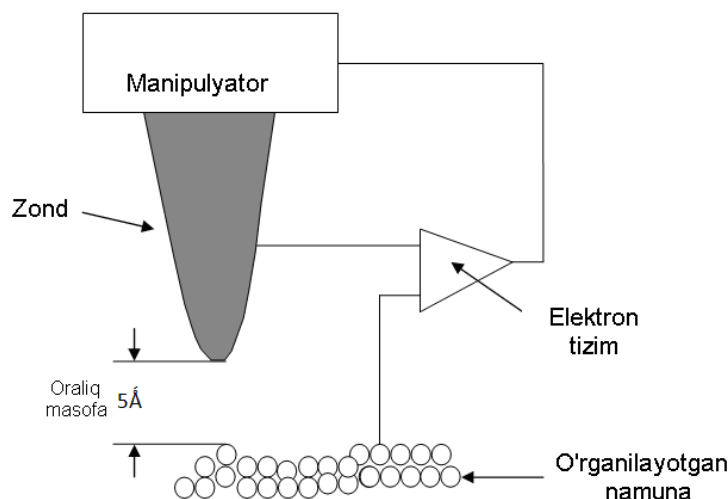
III – BOB. Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy zondli usullari.
Skanlovchi- tunnel' mikroskop, atom – kuchlanishli mikroskop. Kontaktli
atom-kuchlanishli mikroskopiya usullari. Ularning qurilmalari, ishlash
prinsiplari.

3.1. Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy Skanlovchi – tunnel mikroskop (STM) usullari.

. STM ning birinchi nusxasi 1981 yilda IBM firmasining Shveysariya bulimi xodimlari Binning va Rorerlar (ular keyinchalik Nobel' mukofotiga sazovor bo'lganlar) tomonidan yaratilgan.

STM ning ishlash prinsipi elektronlarning vakuum to'siq (bar'er) orqali tunnel (sizib) o'tishi hodisasiga asoslangan. Tunnel effektining nazariyasi 1928 yilda G.A.Gamov tomonidan yaratilgan. Tunnel effekti quyidagicha tushuntiriladi. Zarracha (masalan, elektron) ning energiyasi ma'lum bir kengligi chegaralangan to'siqning balandligidan kichik bulsa, u to'siqdan sakrab o'tmasdan uning ichkarisi orqali sizib o'tishi mumkin. Zond (o'tkir uchli nina) va namuna (taglik) orasidagi masofa STM da to'siq vazifasini bajaradi (18 – rasm).

Masofa kattaligi elektronning to'lqin uzunligiga yaqin bulishi kerak. Shuning uchun STM larda bu masofa (to'siq) kattaligi ko'pincha $L=5 \text{ \AA}$ ga, ya'ni taxminan 2 ta atom diametriga teng qilib olinadi. Zond va namuna (taglik) orasidagi masofa tunnel toki kattaligiga keskin ta'sir qiladi (masofaning $1 \text{ \AA}$ ga o'zgarishi tok qiymatini 10 marta o'zgartiradi). Bu hodisa tunnel masofasini, ya'ni tunnel tokini o'zgartirmay (doimiy bir xil) ushlab turishga asoslangan “kuzatuvchi tizim” ni yaratishga imkon beradi.



18 – rasm: STM dagi “nina-taglik-tokni boshqarish tizimi” ning ko’rinishi.

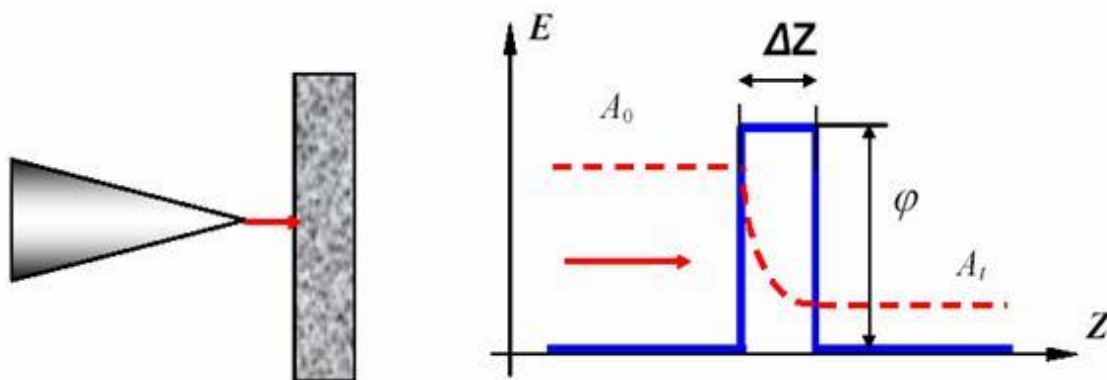
Zamonaviy p’ezomanipulyatorlar texnik jihatdan o’lchash aniqligini $0,1 \text{ \AA}$ gacha kamaytirishni ta’minlaydi. Bu aniqlik analogli va raqamli o’zgartirgichlarda 20-razryadli o’ta katta integral sxemalarni qo’llash orqali ta’minlanadi. O’ta mukammal o’zgartgichlardan foydalanib asbobning aniqligini yanada oshirish mumkin. Tunnel toki doimiy qiymatdan chetga chiqsa bu o’zgarish toki kuchaytirgichga beriladi. Kuchaytirilgan tunnel tokining kattaligi (xatolik signali) zond tagidagi tekshirilayotgan jism yuzasining rel’efiga (notekisligiga) to’g’ridan-to’g’ri bog’liq bo’ladi. Skanlashning tanlab olingan masshtabiga bog’liq ravishda komp’yuter ekranida yuzaning tekshirilayotgan qismining tasviri (skani) hosil bo’ladi. Tekshirilayotgan yuza qismining o’rni tayanch (reper) nuqtaga nisbatan $0,1 \text{ \AA}$ aniqlikda topiladi. Shuning uchun ham bu usul nanoo’lchamli ob’ektlarni, hattoki yuzadagi alohida-alohida atomlarni va molekulalarni juda katta aniqlikda ko’ra olish imkonini beradi, ya’ni STM “atomar” ajrata olish qobiliyatiga ega.

Yuqorida ta’kidlanganidek, zondli mikroskoplarning birinchi vakili STMdir. Bizga ma’lumki, zarraning umumiy energiyasi E , potensial va kinetik energiya yig’indisiga teng. Agar hududning bir oz qismidagi potensial energiyani ko’rinishi quyidagicha bo’lsa,

$$U(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ U_0, & 0 < x < a \\ 0, & x > a \end{cases} \quad (12)$$

umumiy energiya esa $E < U_0$ bo'lsa, unda aytish mumkinki, zarra potensial o'ra hududida bo'ladi. Klassik mexanikada zarra bu energiya bilan baryerdan o'ta olmaydi va unga urilib orqaga qaytadi. Kvant mexaniki nuqtai nazaridan qaranganda, u baryerdan o'tishi mumkin, ya'ni zarra « tunnellanishi » mumkin. Agar bu ehtimollik yetarli katta bo'lsa, unda aytish mumkinki, baryer shaffof-tunellanuvchan.

STMning ishlash prinsipi asosida, tashqi elektr maydon ta'sirida metall zond va namuna o'tkazgich orasida, ingichka tirqish orqali elektronlarni tunnellanish hodisasi yotadi (19-rasm).



19-rasm: Tunnel mikroskopda potensial baryer orqali elektronlarni tunnellanish sxemasi.

STMda zond namuna yuzasiga bir necha angstrom masofagacha yaqinlashtiriladi. Bunda shaffof-tunellanuvchan potensial baryer kengligi ΔZ bo'lib, uning balandligi zond materialidan elektronlarni chiqish ishi φ_P va namunadan elektronlarni chiqish ishi φ_S bilan aniqlanadi. Materialning o'rtacha chiqish ishi quyidagiga teng:

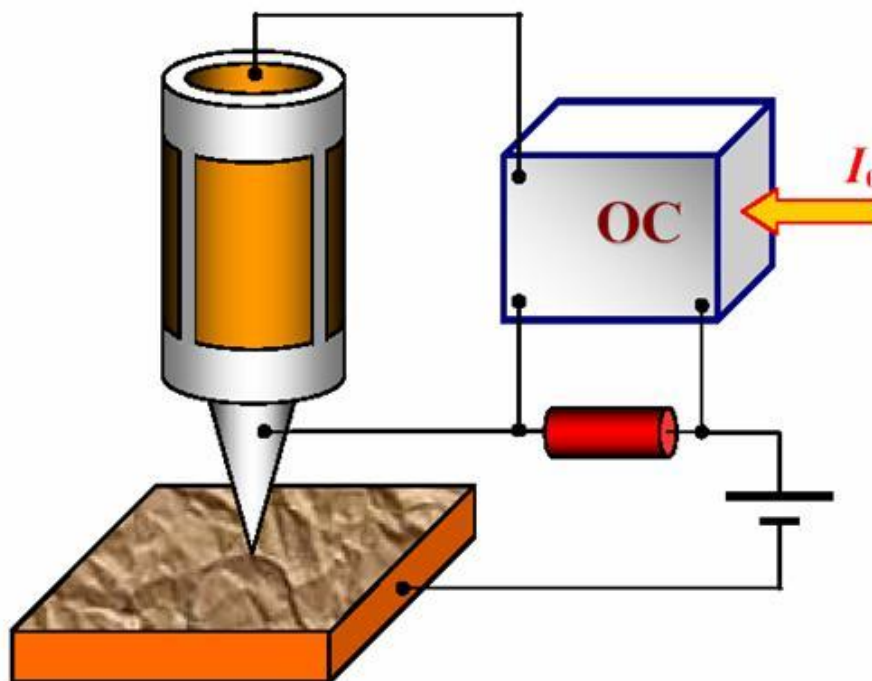
$$\varphi^* = \frac{1}{2}(\varphi_P + \varphi_S) \quad (13)$$

Ikkita metall kontaktda hosil bo'lgan tunnel toki zichligi quyidagicha ifodalanadi:

$$j_t = j_0(V) e^{-\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m\varphi^*} \Delta Z} \quad (14)$$

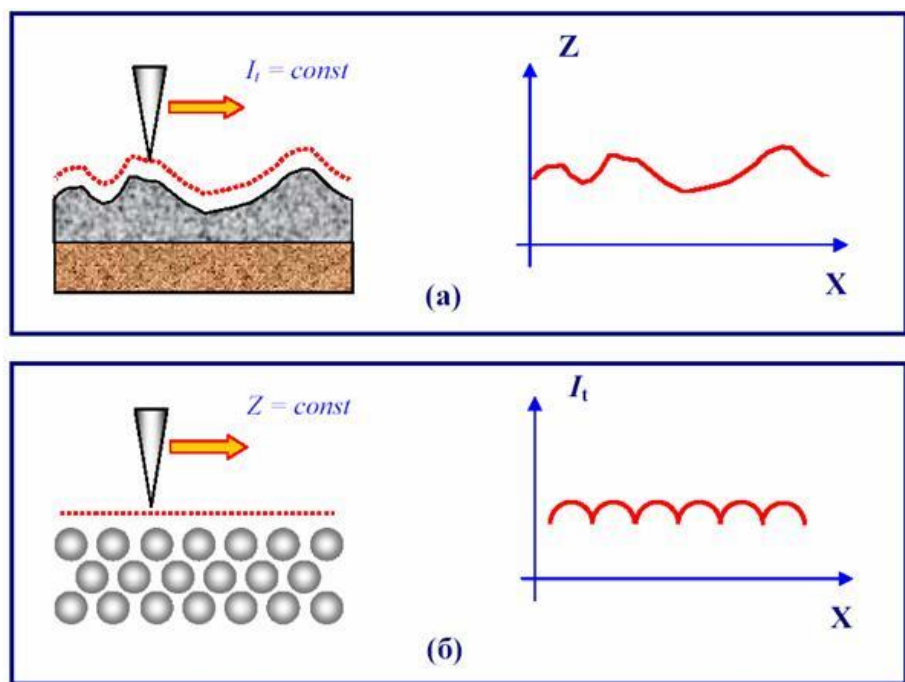
Bu yerda $j_0(V)$ – zond – namuna masofasini o'zgarishiga bog'liq bo'lmagan kattalik bo'lib hisoblanadi.

Tunnel tokining masofaga eksponensial bog'liqligi, tunnel mikroskoplarda, zond namuna orasidagi masofani yuqori aniqlikda boshqarish imkonini beradi. STM o'zida manfiy teskari bog'lanishli elektromexanik tizimni namoyish etadi. Teskari bog'lanish tizimi (20-rasm) zond va namuna orasidagi tunnel tokini berilgan qiymatda saqlaydi (I_0). Tunnel toki kattaligining nazorati, binobarin, zond-namuna masofasi, piezoelektrik element yordamida zondning Z o'qi bo'ylab siljishi natijasida amalga oshiriladi.



20-rasm: Tunnel tokida bo'yicha teskari bog'lanish tashkiliy sxemasi.

STMda yuza relyefi tasviri ikkita usulda vujudga keltiriladi. Doimiy tunnel toki usulida (21 a-rasm), zond yuza bo'ylab siljiydi va rastrli skanerlashni amalga oshiradi: bunda, teskari bog'lanish zanjirida piezoelement Z-elektrodidagi kuchlanishning o'zgarishi, (namunaning takrorlanuvchi yuza relyefini, katta aniqlik bilan), $Z = f(x, y)$, funksiya ko'rinishida kompyuter xotirasiga yozadi, keyin esa kompyuter grafikasi vositasida o'qiydi.



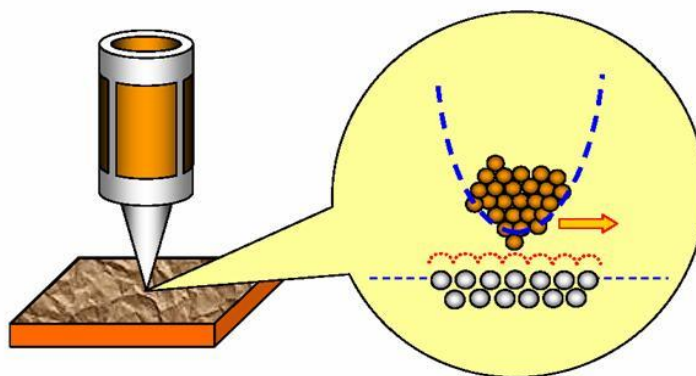
21-rasm: Yuzaning STM tasvirini olish: a) tunnel toki doimiy usuli, b) oraliq masofa doimiy usuli.

Atomar silliq yuzalarni tekshirishda, balandlik doimiy $Z = \text{const}$ usulida STM tasvirni olish effektivligi katta hisoblanadi. Bu holda, zond namunadan bir necha angstrom masofada siljiydi va tunnel tokining o'zgarishi, yuzaning STM tasviri sifatida qayd qilinadi(21-b, rasm).

Skanerlash TB uzzilgan holda ham ishlaydi, tezlik bilan yoki, TB reaksiya tezligidan katta tezlik bilan, shunday ekan, TB faqat yuza relyefining ravon o'zgarishini qayta ishlaydi. Bu usulda skanerlash yuqori tezlikda va STM tasvirni olish katta chastotada amalga oshiriladi,. Shu bilan birga yuzada bo'layotgan o'zgarishlarni kuzatish imkoniyati paydo bo'ladi.

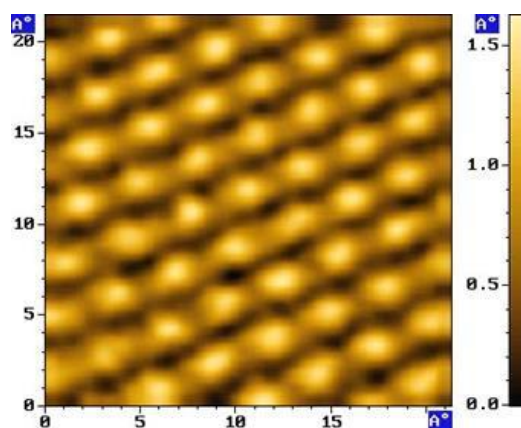
STMning yuqori fazoviy ruxsat etilganligi tunnel tokining masofadan yuzagacha bo'lgan eksponensial bog'liqligidan aniqlanadi. Yuzada normal yo'nalishda ruxsat etilganlik nanometr ulushlariga yetadi. Yon yo'nalishda ruxsat etilganlik zond sifatiga bog'liq bo'ladi va asosan, o'tkir uchli zondning makroskopik egrilik radiusi bilan emas, uning atom strukturasi bilan aniqlanadi. Zondni to'g'ri tayyorlashda uning konchiklari bitta atom yoki atomlar to'plami

o'lchami ehtimollikida topilishi kerak va u zondning o'tkir egrilik radiusidan juda kichik bo'lishi kerak. Haqiqatan, tunnel toki namuna yuzasidagi atom va zond atomlari orasidan oqadi. Zond yuzasining tepasida turgan atom, yuzadan kristall panjara doimiysiga teng masofagacha yaqin joylashadi. tunnel tokining masofaga eksponensial bog'liqligidan, tok asosan, namuna yuzasi va zond konchikining do'nglik atomi orasidan oqadi.



22-rasm: Skanerlovchi tunnel mikroskopda atomar darajada amalga oshirish.

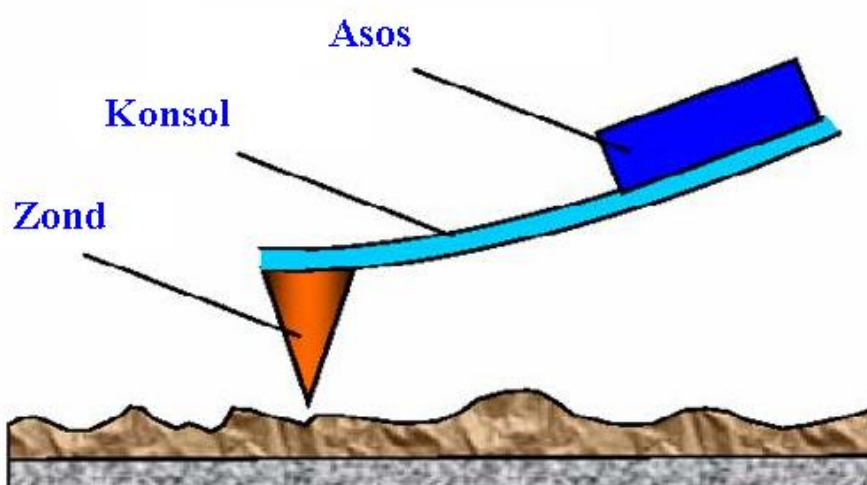
Bu zondlar yordamida atom o'lchamigacha fazoviy ruxsat etilganlik bilan natija olish mumkin (23-rasm).



23-rasm: Atomar darajadagi yuqori oriyentatsiyalangan pirolitik grafit STM tasviri.

3.2. Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy atom-kuchlanishli miroskop usullari

AKM ishlashi asosida zond va yuza orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari yotadi. Qayd qilish uchun oxirida o'tkir zond joylashgan elastik konsolli, maxsus zondli datchiklarda foydalaniladi (24-rasm). Yuzaning zond tomonidagi qismidagi kuch konsolning egilishiga olib keladi. Qayd qilinayotgan egilish kattaligi, yuzadagi zondning o'zaro ta'sir kuchlari bilan nazorat qilinishi mumkin.



24-rasm: AKM zondli datchikining sxematik tasviri.

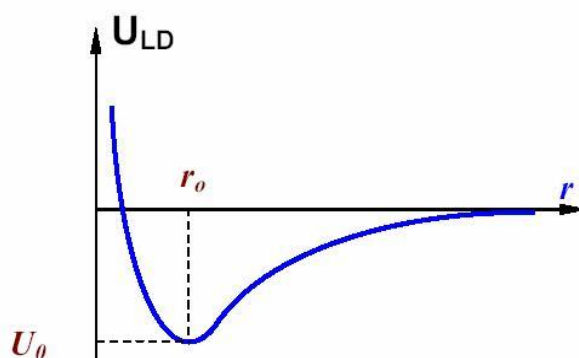
AKMning ishlashida Van-der-Vaals kuchlarini misol qilishimiz mumkin. Bir-biridan r masofada joylashgan, ikkita atom Van-der-Vaals o'zaro energiyasini, Lennard-Jons potensial funksiyasi orqali yozish mumkin (25-rasm):

$$U_{LD}(r) = U_0 \left\{ -2 \left(\frac{r_0}{r} \right)^6 + \left(\frac{r_0}{r} \right)^{12} \right\}$$

(15)

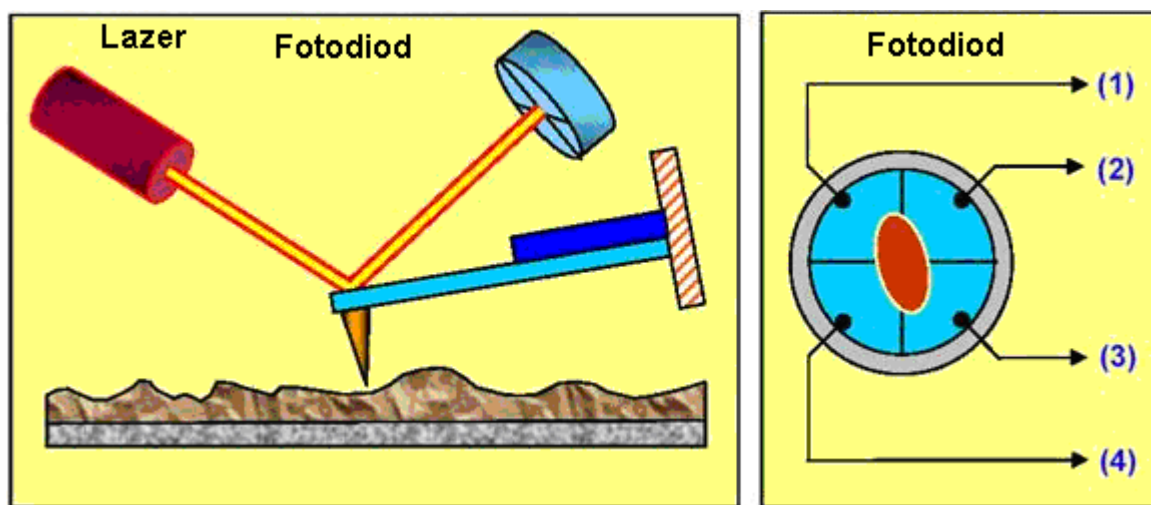
Bu formulada, qo'shiluvchining birinchisi, atomlarning dipol-dipol o'zaro ta'siriga asoslangan uzoqdan ta'sir etuvchi tortishishni bildiradi. Ikkinchi qo'shiluvchi esa atomlarning kichik masofalarda itarishishini bildiradi. r_0 –

parametr atomlar orasidagi muvozanat masofa, U_0 –energiyaning minimum qiymati.

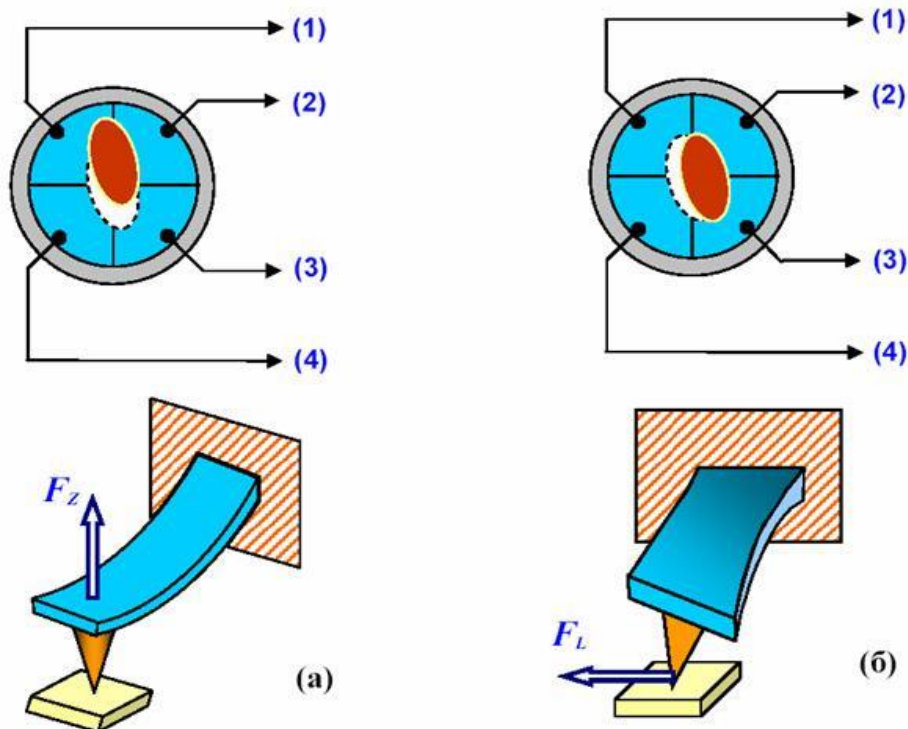


25-rasm: Lennard-Jons potentsiali sifatii ko'rinishi

Zondning namunadagi o'zaro ta'siri haqiqiysi murakkab xarakterga ega bo'lib, AKMning zondi namunadan uzoq masofalarda tortishishini, yaqin masofalarda itarishishini sinovdan o'tkazadi va ularning o'zaro ta'sirini chizmada saqlaydi. Yuza relyefining AKM tasvirini olish zondli datchik elastik konsolining kichik egilishlarini qayd qilish bilan bog'langan. Atom-kuchlanishli mikroskoplarda shu maqsadda optik metodlar keng foydalaniladi (4.9-rasm). AKM optik tizimi quyidagicha sozlanadi. Yarim o'tkazgichli lazerdan nurlangan yorug'lik zondli datchik konsoliga fokuslanadi, qaytgan nur esa fotopryomnikning fotosezgir sohasi markaziga kelib tushadi. Pozitsiyali-sezgir fotopryomnik sifatida to'rt seksiyali yarim o'tkazgichli fotodiod qo'llaniladi (27-rasm).



26-rasm: AKM zondli datchigining konsoli egilishini optik qayd qilish sxemasi.



27-rasm: Zondli datchik konsolining tiplar orasidagi egilish deformatsiyasiga muvofiqligi(a) va fotodiodda nur dog'ining holatini o'zgarishi(b).

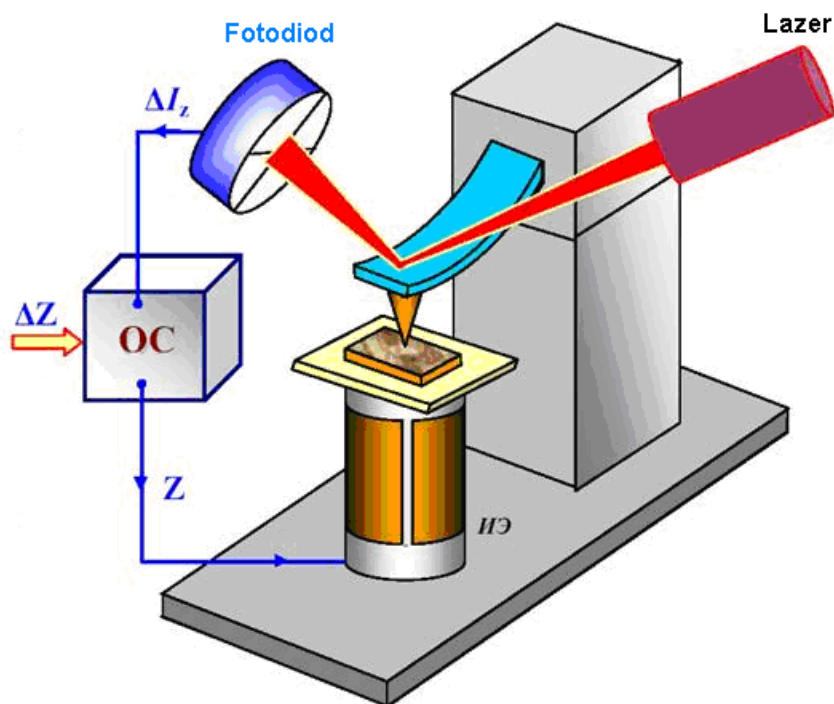
Optik tizim qayd qilgichi asosiy parametrlari- ta'sir ostida konsolning egilish deformatsiyasi, Z-komponent tortishish yoki itarishish kuchi (F_Z) va lateral komponentlarda zondning yuza bilan o'zaro ta'sir kuchi (F_L) ostida konsolning burilish deformatsiyasi. Agarda biz fotodiod seksiyalaridan o'tayotgan dastlabki fototok qiymatini $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$ bilan, konsolning holati o'zgargandagi tokning qiymatini I_1, I_2, I_3, I_4 bilan belgilasak, fotodiod turli seksiyalaridagi tok farqi $\Delta I_i = I_i - I_{0i}$, AKM zondli datchigi konsolining egilish yo'nalishini va kattaligini birqiymatli bo'lishini xarakterlaydi. Haqiqatan, toklar farqi ko'rinishi

$$\Delta I_z = (\Delta I_1 + \Delta I_2) - (\Delta I_3 + \Delta I_4) \quad (16)$$

namuna yuzasida normal bo'yicha amaldagi kuch ta'sirida konsolning egilishiga proporsional (4.10-a,rasm).

$$\Delta I_L = (\Delta I_1 + \Delta I_4) - (\Delta I_2 + \Delta I_3) \quad (17)$$

Farqli toklar birlashmasi ko'rinishi lateral kuchlar ta'sirida konsolning egilishini xarakterlaydi (27-b,rasm). I_z kattalikdan Atom-kuchlanishli mikroskop teskari bog'lanish sirtmog'I kirish parametri sifatida foydalaniladi (28-rasm). Teskari bog'lanish tizimi konsol egilishi ΔZ ni ΔZ_0 ga teng kattalikda ushlab turib, pezoelektrik ijro etuvchi element yordamida $I_z = const$ ni ta'minlaydi.



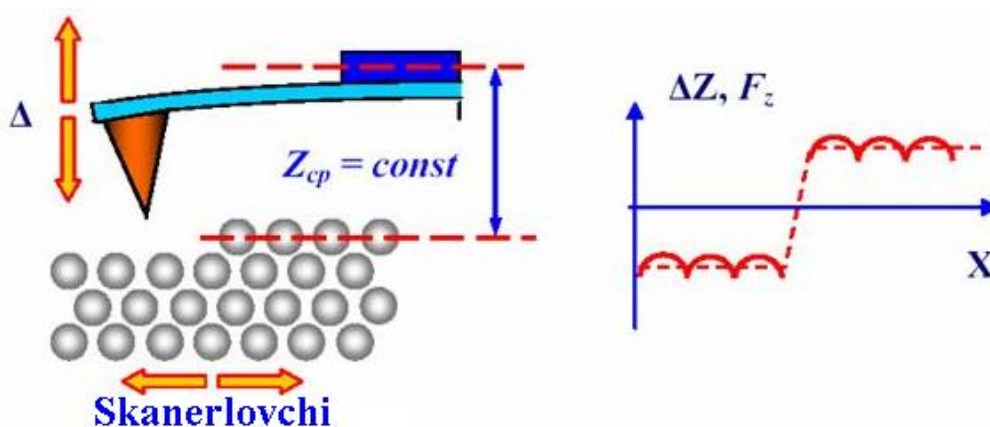
28-rasm: Atom-kuchlanishli mikroskopda teskari bog'lanish tashkillanmasi umumiy sxemasi.

$Z = const$. Rejimida namunani skanerlash uchun, zond yuza bo'ylab siljiydi, natijada skaner Z-elektrodidagi kuchlanish yuza relyefi $Z = f(x,y)$ sifatida kompyuter xotirasiga yozib boriladi. AKMning fazoviy ruxsat etilganligini, zond aylanma radiusi va konsolning og'ishini qayd qiluvchi tizim sezgirligi aniqlaydi. Hozirgi kunda AKMning namuna yuzasini atom darajasida tekshirishni amalga oshiradigan konstruksiyalari yaratilgan.

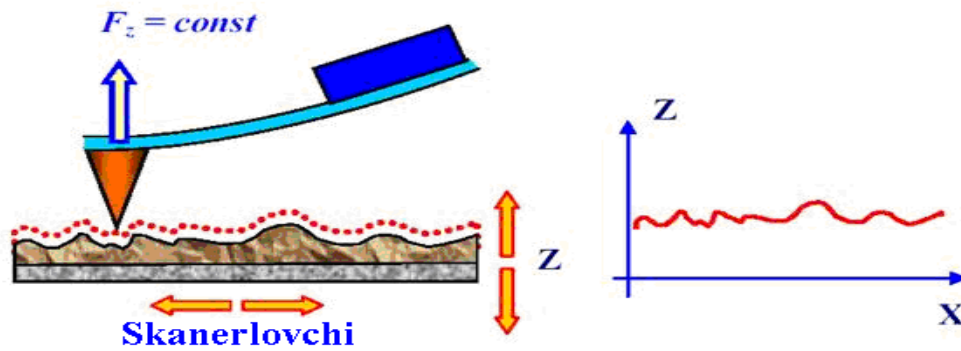
3.3 Nanoob'ektlarni o'rganishning zamonaviy kontaktli atom-kuchlanishli mikroskopiya usullari.

AKM yordamida yuza xossalari va relyefi haqida axborot olishni, shartli ravishda ikkita katta guruhga bo'lish mumkin—kontaktli kvazistatik va kontaktsiz tebranish. Kontaktli kvazistatik usulda o'tkir zond bevosita yuzada harakatlanadi, shu sababli namuna tarafdagi amaldagi itarishish va tortishish kuchlari, konsolning egiluvchanlik kuchi bilan muvozanatlashadi. AKMning bunday rejimda ishlashida bikrlilik koeffitsiyenti nisbiy kichik bo'lgan kantileverdan foydalaniladi, u zondning namunada turli ta'sir etishdan o'z xohishsiz o'zini olib qochmasligini va yuqori sezgirlikni ta'minlash imkonini berishi kerak.

AKMning kvazistatik rejimida o'rganilayotgan yuza relyefining tasviri, yoki yuzadagi o'zaro ta'sir kuchlari (itarishish va tortishish kuchlari) doimiy bo'lganda, yoki namuna yuzasi va zondli datchik asosi orasidagi o'rtacha masofa doimiy bo'lganda vujudga keltiriladi. $F_z = const$ rejimida namunani skanerlashda, teskari bog'lanish tizimi kantilever egilish kattaligini doimiy ushlab turadi, binobarin, zondning namuna bilan o'zaro ta'sir kuchini ham (29-rasm). Bunda boshqaruvchi kuchlanish teskari bog'lanish halqasiga, skanerning Z-elektrodidan uzatiladi va u namuna yuzasining relyefiga proporsional bo'ladi.



29-rasm: Namuna va zond o'zaro ta'sir kuchlari doimiy bo'lganda AKM tasvirni hosil qilish.



30-rasm: Zondli datchik va namuna orasidagi masofa doimiy bo'lganda AKM tasvir hosil qilish.

Balandlik tafovuti kichik bo'lgan (angstrom birligi tartibida) namunalar relyefini tekshirishda, zondli datchik asosi va namuna o'rtasidagi masofa doimiy bo'lgan ($Z = \text{const}$) skanerlash rejimi qo'llaniladi. Bunday holda, zondli datchik namunadan bir oz o'rtacha balandlikda ($Z_{o'r}$) harakatlanadi (30-rasm), bunda yuza tomonidagi amaldagi kuchlarga proporsional ravishda, har bir nuqtadagi konsolning egilishi ΔZ qayd qilib boriladi. Bu holatda AKM tasvir yuza va zond o'zaro ta'sir kuchlarining fazoviy taqsimlanishi bilan xarakterlanadi. AKM usulning kamchiligi – zondning namuna bilan mexanik o'zaro ta'siridir. Bu tez-tez skanerlash jarayonida zondning polomkasi va namuna yuzasining buzilishiga olib keladi. Shunday ekan, kontaktli usul kichik mexanik bikrlikli namunalarni o'rganishga yaroqli emas, jumladan organik materiallar asosidagi strukturalar va biologik obyektlarni o'rganishga.

AKMning tebranish metodikasi.

Organik materiallar asosidagi strukturalarni va biologik obyektlarni tekshirishda AKMning tebranish metodikalari qo'llaniladi. Bu usul yuzada tebranayotgan kantileverning o'zaro ta'sir parametrlarini qayd qilishga asoslangan. Bu metodikaning ahamiyati shundaki, skanerlash jarayonida zondning namuna yuzasidagi mexanik ta'sir etishini kamaytirishga imkon tug'iladi. Bundan tashqari, tebranish metodikasining taraqqiy etishi, namuna yuzasini turli xossalarni o'lchashda AKM arsenalini imkoniyatlarini kengaytirdi. AKMning bunday rejimda ishlashida yuqori bikrlik koeffitsiyentiga ega bo'lgan, zondning namunada turli ta'sir etishdan o'z xohishsiz o'zini olib qochmasligini va yuqori

sezgirlikni ta'minlash imkonini beradigan kantileverdan foydalaniladi. Tekshirilayotgan obyekt bog'liqligiga qarab kantilever katta yoki kichik bikrlilikni tanlab oladi.

Ammo, tebranish metodikasi vaqtida, tizim tashqi manba titrashiga o'ta sezgir bo'lib qoladi. Bu har tomonlama manba ta'sirni yo'qotish maqsadida, passiv yoki aktiv antititrash himoyasidan foydalaniladi.

AKM kantilever tebranishi kontaktsiz rejimi.

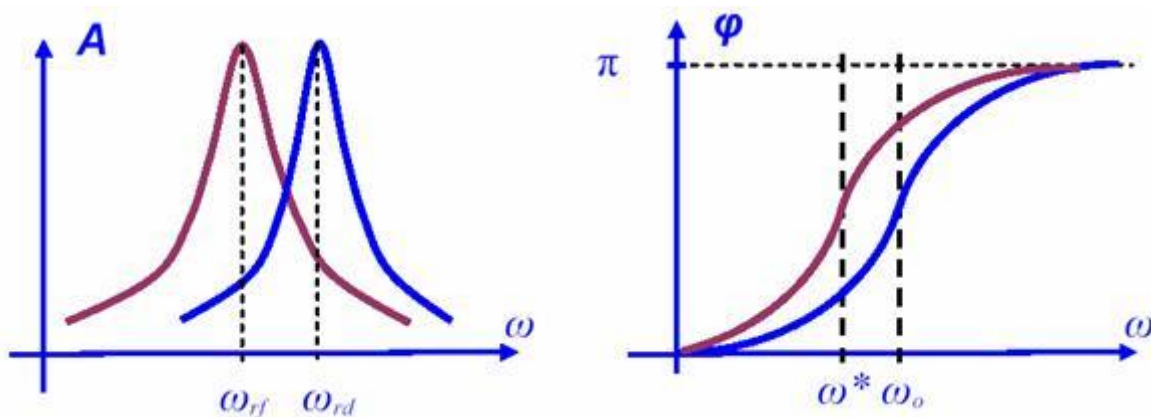
Kontaktsiz rejimda kantilever kerakli tebranishni 1nm kichik amplituda tartibida sodir etadi. Zondni yuzaga yaqinlashtirganimizda kantilever namuna tomoniga qo'shimcha kuch bilan ta'sir etishni boshlaydi. Van-der-Vaals o'zaro ta'sirida, qayerda tortishish kuchi ta'siri bo'lsa, bu zond va namuna orasidagi masofa sohasiga mos keladi. Bu holatda, namuna yuzasi bilan zondning mavjud o'zaro ta'sir kuchi ACHX va FCHX tizimlarning qo'shimcha siljishiga olib keladi (4.14-rasm).

Tizimning amplituda - chastotaviy xarakteristikasi:

$$A(\omega) = \frac{u_0 \omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2 - \frac{F'_z}{m})^2 + \frac{\omega^2 \omega_0^2}{Q^2}}} . \quad (18)$$

Tizimning faza – chastotaviy xarakteristikasi:

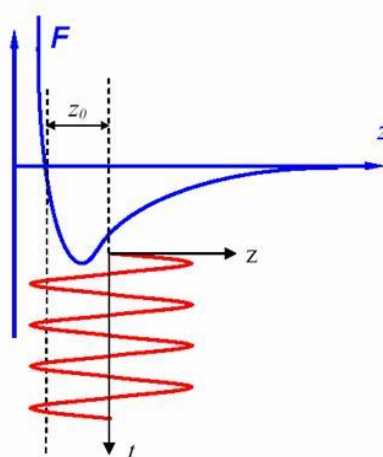
$$\varphi(\omega) = \arctg \left[\frac{\omega \omega_0}{Q \left(\omega_0^2 - \omega^2 - \frac{F'_z}{m} \right)} \right] . \quad (19)$$



31-rasm: Kuch ta'sirida kantilever ACHX va FCHXsini o'zgarishi.

AKM kantilever tebranishi "Yarim kontaktli" rejimi.

Kontaktsiz rejimda kantilever tebranishi amplituda va fazaviy o'zgarishini qayd qilish, yuqori sezgirlik va teskari bog'lanish ishi mustahkamligini talab qiladi. Amaliyotda ayrim hollarda, kantilever tebranishining "yarim kontaktli" deb nomlanuvchi rejimidan foydalaniladi (ayrimlar buni uzgich-kontaktli deb, chet el adabiyotlarida -"intermittent contact" yoki "tapping mode" rejimi deb nomlashadi). Bu rejimda ishlashda kantilever tebranishi shunday uyg'otiladiki, uning amplituda tartibi 10-100 nm bo'lib rezonansga yaqin bo'ladi. Kantilever yuzaga shunday yaqin keltiriladiki, toki tebranish pastki yarim davri namuna yuzasida urinma hosil qilsin (bu masofaning kuchga bog'liqligi grafigida, itarishish sohasiga mos keladi).



32-rasm: Kantilever tebranishi "yarim kontaktli" rejimida ishchi nuqtani tanlash.

Namunani skanerlashda kantilever tebranishi amplituda va fazaviy o'zgarishi qayd qilinadi. "Yarim kontakt" rejimida kantileverning yuza bilan o'zaro ta'sirini van-der-vaals o'zaro ta'siri tashkil etadi, qaysiki yuza tomoniga kantilever ta'sirlashganda, urinish paytida unga mustahkam kuch qo'shadi,

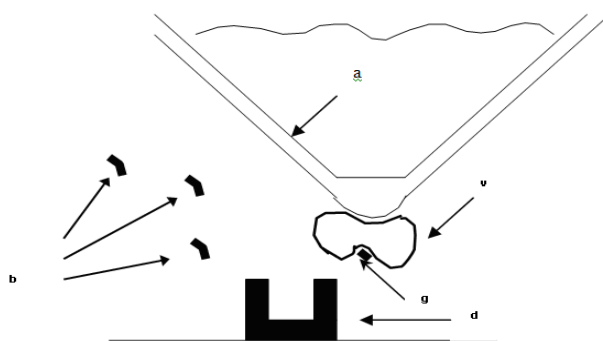
Bu rejimning o'ziga xos xarakteri, kontaktsiz rejimga nisbatan o'ziga xosligidadir- kantilever tebranishi amplituda va fazasi, kantilever tebranishi pastki nuqtasida zond va namuna o'zaro ta'siri darajasiga bog'liq bo'ladi. Zond tebranish pastki nuqtasida yuza bilan mexanik o'zaro ta'sirlashadi, kantilever tebranishi

amplituda va faza o'zgarishi bu rejimda, namunalar yuzasi lokal mustahkamligi borligining muhim ta'siri hisoblanadi.

Kantilever tebranishi rejimida AKM tasvirni hosil qilish quyidagi ko'rinishda bo'ladi. Pezovibrator yordamida kantileverda, A amplitudaga ega bo'lgan, chastotasi rezonans chastotasiga yaqin bo'lgan tebranish uyg'otiladi. Skanerlashda AKM teskari bog'lanish tizimi kantiliverni A_0 qiymatli amplitudada doimiy ushlab turadi. Teskari bog'lanish tizimi halqasidagi kuchlanish (skaner Z-elektrodi) kompyuter xotirasiga yuza relyefi AKM tasviri sifatida yozib olinadi.

1986 yilda skanlovchi atom-kuchlanishli mikroskop (Atomic Force Microscope, AFM) paydo bo'ldi. Bu mikroskopda STM dan farqli ravishda harakatlanuvchi zond yuzaga doimo tegib turadi, ya'ni u bilan kontaktda bo'ladi va zondning yuza notekisliklarida tushib-chiqishi o'lchab boriladi. Harakatlanuvchi zond kantilever deb nomlanadi. AKM ga asoslangan molekulyar manipulyator (boshqargich) ning ko'rinishi 33 – rasmda keltirilgan.

Ushbu manipulyator yordamida reagentdan alohida-alohida molekulalarni olib yuzaning istalgan nuqtasiga olib borish va lokal kimyoviy reaksiyani amalga oshirish mumkin. Zondning uchiga joylashtirilgan oqsilning katta molekulasini o'ziga yaqin joylashtirilgan eritma tarkibidagi kichik molekular (ligandlar) ni birin-ketin bog'lay boshlaydi.



33 – rasm: AKM asosidagi molekulyar manipulyator: a) AKM zondi (kantilever) ning uchi; b) eritmadagi reagent (ligand) molekulalari; v) zond uchidagi oqsilning katta molekulasini; g) oqsil tutib olgan molekula; d) ligandaning taglik bilan to'qnashuvi jarayonida ro'y beradigan kimyoviy reaksiya natijasida vujudga kelgan tuzilma.

Keyin zond bu molekulalarni taglik yuzasining kerakli nuqtasiga joylashtiradi. Taglik bilan, har bir molekula bilan, molekulalarning bir-biri bilan kimyoviy reaksiyalari natijasida liganda molekulalari-dan tashkil topgan yangi nanotizim hosil bo'ladi (33 d – rasm). Bu tizim – yangi tuzilishga va xususiyatlarga ega bo'ladi. Shunday qilib, AKM yordamida nanoob'ektlarni faqatgina o'rganish emas uni hosil ham qilish mumkin ekan.

XULOSA

O'shbu Bitiruv Malakaviy Ishimda "Nanotexnologiya va ulardan foydalanish imkoniyatlari" ga bag'ishlangan bo'lib, ushbu tanlangan bitiruv malakaviy ishining mavzusi hozirgi kunda eng dolzarbligi bilan ajralib turadi. Nanotexnologiya va ulardan foydalanish imkoniyatlari va istiqbollari tugrisida tushintirib utildi. Nazariy jihatdan to'plangan ma'lumotlar va amaliy olingan natijalarni tahlil qilish orqali qo'yidagi hulosalarga kelindi.

Bugun nanotexnologiyaaning quyidagi ustuvor rivojlanish yonalishlari mavjud:

1.Tibbiyot. Odamning tanasida paydo bo'ladigan barcha kasalliklarning oldini oluvchi yoki davolovchi molekulalar nanorobotlarni yaratish.

2.Gerontologiya. Insonlarning jismoniy boqiyiligiga, odam tanasidagi hujayralar qirilishining oldini oluvchi, odam organizmi to'qimalarining ishlashini yaxshilash va qayta qurish uchun molekulalar, robotlarni kiritishga erishish

3.Sanoat. Iste'mol mollarini ishlab chiqarishda an'anaviy usullardan foydalanishdan bevosita atom va molekulalardan yig'ishga o'tish

4.Qishloq xo'jaligi. Oziq-ovqatni tabiiy ishlab chiqaruvchilarni (masalan,o'simliklar va hayvonlar) molekulalar robotlardan tuzilgan funktsional o'xshashlariga almashtirish. Ular tirik organizmda sodir bo'ladigan kimyoviy jarayonlarni qisqaroq. va samaraliroq, yo'l bilan amalga oshirishadi.

Masalan, «tuproq—is gazi—fotosintez—o't—sigir—sut" zanjiridan barcha ortiqcha bo'limlar olib tashlanadi. Faqat «tuproq—is gazi—sut" (qatiq, eg', go'sht) qoladi. Bunday «qishloq ho'jaligi» samaradorligi ob-havo va og'ir mehnat sharoitiga bog'liq, bo'lmaydi. Uning ishlab chiqarish hajmi oziq-ovqat muammosini birato'la hal qiladi.

5.Biologiya. Tirik organizmga atomlar darajasidagi nanoelementlarni kiritish mumkin bo'ladi. Buning oqiibatlari turlicha bo'lib, yuqolib ketgan turlarni tiklashdan tortib, yangi turdagi jonzorlar biorobotlarini yaratishga olib kelishi mumkin.

6.Ekologiya. Inson faoliyatining atrof-muhitga ta'sirini to'liq bartaraf qilish. Bunga birinchidan, ekosferani inson faoliyati chiqindilarini boshlang'ch homashyoga aylantiruvchi molekulyar robotsanitarlar bilan to'ldirish, ikkinchidan esa sanoat va qishloq, xo'jaligini chiqindisiz nanotexnologik usulga o'tkazish bilan amalga oshirish mumkin.

7.Koinotni o'zlashtirish. Koinot «odatiy» yo'l bilan emas, balki nano robotlar orqali o'zlashtiriladi. Robot-molekulalarning ulkan armiyasi Yer atrofidagi fazoga chiqariladi va uni inson yashashi uchun yaroqli holatga keltiradi. Oy,asteroidlar va yaqin planetalarda inson yashashi uchun kosmik stantsiyalar qurish. Bu hozirda mavjud bo'lgan usullardan arzon va xavfsiz bo'ladi.

8.Kibernetika. Hozirda mavjud bo'lgan planar strukturalardan o'lchamlari molekular o'lchamiga teng bo'lgan hajmiy mikrosxemalariga o'tish sodir bo'ladi. Kompyuterlarning ishchi chastotasi teragerts qiymatga etadi. Neyronga o'xshash elementlardan tuzilgan sxemalar paydo bo'ladi. Oqsil molekulalaridan tuzilgan xotira hajmi terabaytlarda o'lchanadigan, saqlash davri uzoq, bo'lgan xotira elementlari paydo bo'ladi. Inson aqlini komp'yuterga «kuchi rish» mumkin bo'lib qoladi.

9.Aqliy yashash muhiti. Barcha tashkiliy qismlarga mantiq elementlarini kiritish hisobiga biz yashayotgan atrof-muhit «aqlli» va inson yashashi uchun to'la qulay bo'lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar royxati.

1. А.И.Гусев. Нанокристаллическим материалы методы получения и свойства. Екатеринбург.1998 год, 198с.
2. В.П. Драгунов. Основы нанoeлектроника, Новосибирск 2000г, 332с.
3. Б.И.Болоян.,А.Г. Колмаков., и др. Наноматериалы. Классификация, особенности свойств, применение и технологии получения.2007г, 125с.
4. В.Е Umirzakov., A.A Abduvaitov « Yarim o'tkazgichli nanoplyonkalar va nanostrukturalar olish va xususiyatlarini o'rganish usullari » o'quv qo'llanma. Toshkent davlat texnika universiteti. Toshkent. 2010. bet.76 бет.
5. . Ш.К.Ниязов. «Нанотехнология асослари» махсус курсидан ёзилган маъруза матни. Гулистон шаҳри. 2015й.
6. Г. Рахманов. «Нанотехнология асослари» махсус курсидан ёзилган маъруза матни. Тошкент шаҳри. 2015й.
7. Министерство образования Российской ФедерацииМЕЖДУНАРОД-
НЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА И ЧЕЛОВЕКА
«ДУБНА» ФИЛИАЛ «УГРЕША» Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И.
Алымов, А.М. КротовНАНОМАТЕРИАЛЫ Классификация,
Особенности свойств, применение и технологии получения. М- 2007г
8. Алферов Ж.И., Копьев П.С., Сурис Р.А. и др. Наноматериалы и нанотехнологии. // Нано- и микросистемная техника. 2003. №8. С.3-13.
9. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. Уч. пособие. М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 117 с.
10. Андриевский Р.А. Наноструктурные материалы – состояние разработок и применение. // Перспективные материалы. 2001.№6.С.5–11.
- 11 Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. – М.: Изд-во «Машиностроение –1», 2003 – 112 с.
12. Gleiter H. Nanostructured materials: basic concepts and microstructure.// Acta mater., 2000. V.48. P.1-29.

13. Алымов М.И. Механические свойства нанокристаллических материалов. – М.: МИФИ, 2004. – 32 с.
14. Новые материалы. Под ред. Ю.С. Карабасова – М.: МИСИС, 2002. 736 с.
15. Gleiter H. In: Deformation of Polycrystals. Proc. of 2nd RISO Symposium on Metallurgy and Materials Science (Eds. N. Hansen, T. Leffers, H. Lithold). Roskilde, RISO Nat. Lab., 1981, p. 15–21.
16. Birringer R., Gleiter H., Klein H.-P., Marquard P. Phys. Lett. B, 1984, v. 102, p. 365–369; Z. Metallkunde, 1984, Bd. 75, S. 263–267.
17. Андриевский Р. А. Наноматериалы: концепция и современные проблемы. // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2002, т. XLVI, №5, с. 50-56.

Internet ma'lumotlari.

[http: www.gduportal.uz](http://www.gduportal.uz) - Guliston davlat universiteti ichki axborot ta'lim partali

[http: www.Dissertant.uz](http://www.Dissertant.uz) - Yosh olimlar portali

[http: www.Allbest.ru](http://www.Allbest.ru) -Elektron kutubxonalar bibliotekasi

[http: www.Edu.ru](http://www.Edu.ru) - Rossiya federatsiyasi ta'lim portali