

# **NANOZARRALAR FİZİKASI, KİMYOSI VA TEXNOLOGİYALARI**

Toshkent – 2014

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

**A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov,  
Q.A.Ismoilov, Sh.A.Ermatov, V.A.Abduazimov**

**NANOZARRALAR FIZIKASI,  
KIMYOSI VA TEXNOLOGIYALARI**

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan 5A140104–Biotexnologiya mutaxassisligining talabalari uchun  
o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan*

**TOSHKENT  
«TAFAKKUR BO'STONI»  
2014**



UO'K:530.1(075)

KBK 24.5

T45

**A.T.Teshaboyev**

**Nanozarralar fizikasi, kimyosi va texnologiyalari:** o'quv qo'llanma  
A.T.Teshaboyev O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lif  
vazirligi,-Toshkent; Tafakkur bo'stoni 2014 – 336 b.

### *Taqrizchilar*

**A.T. Mamadolimov** – fizika- matematika fanlari doktori, OzMU  
professori, akademik,

**I.N. Karimov** – fizika- matematika fanlari doktori, ADU fizika  
kafedrasи professori.

Mazkur o'quv qo'llanmada nanozarrachalarning paydo bo'lish mehanizmlari,  
ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari va o'lcham effektlar izchillik bilan  
izhor etilgan.

Nanozarrachalardagi o'lcham va tarkibiy o'zgarishlarning ixchamlash-  
tirilgan nanomoddalardagi fizik jarayonlarga ta'siri keng tahlil etilib, ularning  
nanotuzilmalar xususiyatlarining shakllanishdagi hissalarini ta'riflangan. Tibbiy  
biotexnologiyalarning mohiyati va ularning nanotibbiyotga, inson organizmi-  
ga ta'sirlari, nanotexnologiyalarning nano va mikroelektronika taraqqiyotidagi  
o'mni, fan va texnikaning turli sohalari qo'llanilish istiqbollari tahlil etilgan.

Qo'llanma mikroelektronika qattiq jismlar fizikasi va kimyosi, mod-  
dashunoslik , biotexnologiyalar va nanotibbiyot bilan shug'ullanuvchi mutaxas-  
sislar, talabalar va tadqiqotchilar hamda ommaviy o'quvchilarga mo'ljallangan.

UO'K:530.1(075)

KBK 24.5



ISBN-978-9943-4239-5-4

© «TAFAKKUR BO'STONI»

nashriyoti, 2014-y

## SO‘ZBOSHI

Bundan deyarli ikki asr ilgari elektrotexnika rivojlana boshlagan vaqtida bu soha uchun kerak bo‘lgan elektr tokini yaxshi o‘tkazadigan va tokni deyarli o‘tkazmaydigan moddalar fan va texnika e’tiborida edi. Keyingi davrda metallar yaxshi o‘tkazgichlar sifatida elektr tokini hosil qilish va uzatishda keng qo‘llanildi, elektr tokini o‘tkazmaydigan moddalar – dielektriklar (izolatorlar) tokli o‘tkazgichlarni himoyalash uchun (elektr energiyasini behuda sochilib ketishidan saqlash va h.k. uchun) ishlataldi.

Fan va texnikaning kelgusi rivoji yangi sohalarni kelib chiqishiga olib keldi. Bu sohalar o‘zgacha xossaga ega yangi materiallarga ehtiyoj uyg‘otdi.

Kvant mehanikasining yaratilishi, texnika va texnologijaning mos ravishda kengayishi XX asrda yarimo‘tkazgichlar deb atalgan materialarning kashf qilinishi va mazkur asrning ikkinchi yarmida keng ko‘lamda qo‘llanilishiga olib keldi. Avval, 1948-yilda nuqtaviy, keyin 1951-yilda yassi tranzistorlarning kashf qilinishi yarimo‘tkazgichli elektronikaning jadal rivojlanishiga olib keldi. Juda ko‘p ajoyib qurilmlar yaratildi. Ayniqsa, elektronikada integral mikrosxemalarning qo‘llanishi bu sohada inqilobiy o‘zgarishlarga olib keldi. Bu kompyuter sanoatida yorqin namoyon bo‘ldi. Minglab elektron lampali, butun binoni egallagan hisoblash mashinalari o‘rniga ixcham, stol ustida, hatto cho‘ntakda joylasha oladigan kompyuterlar kirib keldi. Uzoq vaqt davomida mikroelektronikaning asosiy materiallari kremniy va mis hisoblanar edi. Ammo oxirgi paytda XX asr oxirida kashf qilingan o‘tkazuvchan polimerlar borgan sari shuhrat qozonmoqda.

Kompyuter tezkorligini orttirish talabini qondirish uchun mikroelektronika imkoniyatlari yetarli bo‘lmayapti, shuning uchun nanoelektronika, MEMS (mikroelektromexanik sistema) va NEMS (nanoelekromexanik sistema) usullariga o‘tishdan boshqa iloji yo‘q. Bu sistemalar juda ko‘p sohalarda qo‘llaniladi. Ular asosida “Elektron burun”, “Elektron til”, “Aqlii chang”, “Videoko‘zoynak” va boshqa sezgir qurilmlar yaratilgan.

Mikrotexnologiyalar moddalarni metrning milliondan bir ulushicha o'chamlardagi bo'laklari bilan ishlash imkonini bersa, hozirgi paytda modda tuzilishini, uning xossalari ayrim molekular, atomar darajasi da tahlil qilish zaruryati paydo bo'ldi, ya'ni nanometr o'chamli zarralar bilan ishlash kerak bo'ldi. Mana shu sohaga tegishli elektronikani nanoelektronika, mos texnologiyalarni nanotexnologiya deyiladi.

Nanoelektronika nanometr o'chamli zarralar fizika va kimyosini o'r ganadi, nanotexnologiya esa ma'lum atomlar tuzilishli mahsulotlarni, ularning atom va molekulalarini joylashtirish yo'lli bilan ishlab chiqarish usullari majmuasidir.

Hozirga kelib, tabiatni bilishda informatsiya beruvchi turli asboblar yaratilgan, xususan, optik mikroskoplardan boshqa atomiy – kuch mikroskoplar, tunnel mikroskoplar, zondli mikroskoplar, elektron mikroskoplar ishlab chiqarilgan – bular nanotexnologiya asboblaridir.

Qisqa muddat ichida nanotexnologiyalar rivojlanib o'z mahsulini bera boshladi. Ular asosida yaratilgan materiallar nanoelektronikada, biotexnologiyalarda, tibbiyotda va ko'p boshqa sohalarda qo'llanilmoqda. Oxirgi ikki yil ichida fizika yo'nalishida Nobel mukofotiga shu sohadagi tadqiqotlar loyiq ko'rيلayotgani ham nanotexnologiyalarning dolzarb ahamiyatini tasdiqlaydi.

Jahonning ilg'or mamlakatlari qatorida bizning davlatimizda ham nanoelektronika va nanotexnologiyalar bo'yicha ilmiy markazlar tashkil qilingan, o'quv dasturlariga "Nanofizika", "Nanotexnologiyalar", "Nanofizika va biotexnologiyalar", "Mikroelektronika" kabi fanlar kiritilgan, nanomateriallar va nanotexnologiyalarga bag'ishlangan ilmiy va o'quv adabiyoti, ilmiy maqolalar, internet xabarlari e'lon qilinmoqda.

Ushbu o'quv qo'llanmaning maqsadi yuqorida bayon qilingan fan, texnika, texnologiya sohasidagi muhim yangiliklar bilan ushbu sohani o'rganayotgan o'quvchilar, talabalar, mutaxassislarni imkon boricha yaqindan tanishtirishdir.

**Mualliflar**

## **1-BOB. NANOTEXNOLOGIYAGA KIRISH**

### **1.1.Nanotexnologiyalar haqida asosiy tushunchalar**

Tabiatning barcha hodisalari (ko‘rinishlari) bir-biri bilan chambarchas bog‘liq bo‘lsa ham, inson ularni ma’lum bir tomonidan o‘rganishga intiladi. Shuning uchun ham har qanday fan maxsus atamalar va tushunchalar tizimlariga ega, ularga o‘z ma’nosи beriladi. Bir obyektning o‘zi, masalan. “o‘quvchi” turli mutaxassislarda – vrach, psixolog (ruxshunos) yoki o‘qituvchilarda – turlicha kasbiy qiziqish uyg‘otadi.

Vrach uchun, dastavval, “o‘quvchi” quyidagi tushunchalar bilan aniqlanadi: og‘irligi, bo‘yining uzunligi, qon guruhi, u yoki bu kasalliklar mavjudligi, ruxshunos esa uning fikrlash turini yoki o‘z-o‘ziga baho berishini aniqlashga harakat qiladi. Matematika o‘qituvchisi esa o‘quvchi vazifani yaxshi bajarmasa uning qon guruhi yoki o‘z-o‘ziga bergen bahosi emas, berilgan mavzuni u qanday o‘zlashtirganligi, olin-gan bilimlarining chuqurligi va darsda o‘zini qanday tutishi nuqtayi nazaridan baholaydi.

O‘quvchi ruxshunos yoki vrach huzurida, matematika darsida qanday bo‘lsa o‘shandy qolgan bo‘lsa ham, lekin uni turli nuqtayi nazarlardan “o‘rganish” mumkinligini ko‘rishimiz mumkin. Bu mulo-haza barcha boshqa sohalar uchun ham adolatli. Shunga ko‘ra, tabiat hodisalari ham fizik, kimyogar yoki biolog uchun turli ko‘rinishlarda aks etadi.

Endi bizni qiziqtirayotgan “nanotexnologiya” larga qaytsak ham bo‘ladi. “Nanotexnologiya” so‘zining o‘zida 2 ta atamaning “nano” va “texnologiya” terminlarini ko‘ramiz. Avval ikkinchi tushunchani aniqlab olaylik.

Ensiklopedik lug‘atda “texnologiya” so‘zi quyidagicha tavsiflangan: u yunoncha “techne” – “san’at”, “mahorat” va “bilish” + “logos” – “fan” qo‘shma so‘z bo‘lib, biror bir mahsulot ishlab chiqarishdagi ishlov berish, tayyorlashni, holati xossasini, shaklini o‘zgartirish jara-yonlarining umumlashgan uslubini bildiradi.

Texnologiyaning vazifasi – tabiat qonunlaridan inson manfaati uchun foydalanishdir. “Mashinasozlik texnologiyasi”, “svuni kimyoviy

tozalash texnologiyasi”, “informatsion texnologiyalar” va boshqalar mavjud.

Ko‘rinib turibdiki, texnologiyalar boshlang‘ich xomashyoning tabitiaga ko‘ra bir-biridan ajralib turadi. Metall (temir) tuzilmalar va informatsiya (ma’lumot) orasidagi kuchli farqlanishlar ularga ishlov berish va o‘zgartirish uslublaridagi farqlarni belgilab beradi.

Texnologiyalarni sanab o‘tganimizda “yuqori texnologiyalar” degan tushunchani esga olmaslik mumkin emas. Ularning mag‘zi nima ekanligini bir o‘ylab ko‘raylik? Yuqori texnologiyalar deb nisbatan yaqinda paydo bo‘lgan, hamma joyda tarqalib ulgurmagan samarali bo‘lgan texnologiyalarni tushunishga o‘rganib qolganmiz. Bu texnologiyalar, asosan, mikroelektronika sohasiga oid bo‘lib, asbob-uskunalarning juda kichik o‘lchami bilan bog‘liq.

Minglab yillar avval ota-bobolarimiz trillionta atomlarga ega bo‘lgan toshlarni olib, ulardan milliard, trillionta atomlarga ega bo‘lgan qatlamlarini yo‘nib, kamon o‘qlarining o‘tkir uchlarini tayyorlashgan. Ular qiyin bo‘lgan ishlarni juda ustalik bilan bajarishgan. O‘sha uzoq vaqtarda toshlarni bunday yo‘nish usulini o‘ylab topgan odam uni yuqori texnologiya deb ataganda xato qilmagan bo‘lardi. Masalan, 15–20 yil avval uyali telefonlarni “high-tech” turdagি uskunalar deb hisoblangan. Hozirda esa “mobil telefoni” bilan hech kimni hayron qoldira olmay-san.

Shuning uchun ham jamiyat rivojlanishi bosqichida unga oid bo‘lgan barcha ilg‘or texnologiyalarni “yuqori texnologiyalar” deb atash joiz bo‘lsa kerak.

Endi “nanotexnologiya” tushunchasining o‘ziga ta’rif beramiz.

Nario qo‘shimchasi (yunon “nannos” – “mitti”) u yoki bu birlikning, bizning holatda metrning, milliarddan bir ( $10^9$ ) bo‘lagini (nanometrnm)ni anglatadi. Atomlar va juda mayda molekulalar 1 nanometr tartib-dagi o‘lchamga ega.

Ingichka sochning o‘ndan bir qalinligi o‘lchamidagi tarkiblovchili zamонавиy mikrosxemalar chaqmoq tosh yo‘nuvchilar standartlarida kichkina deb hisoblanishi mumkin, ammo trillionlab atomlarga ega tranzistorlarning har biri va mikrochiplar hamon oddiy ko‘z bilan ko‘riladi.

Toshga qo‘lda ishlov berishdan boshlab to kremniyli chiplar tayyorlashgacha kuzatish mumkin bo‘lgan texnologiyalar atom va moleku-

lalarning katta birikmalaridan tashkil topgan xomashyodan foydalana-di. Bu yo'nalishni "balk-texnologiya" (ing. "bulk" – to'p-to'p, to'plan-gan) deb atash mumkin.

Nanotexnologiya har bir atom va molekulalar bilan juda aniqlikda ishlashi lozim. U dunyoni biz xayolimizga keltiraolmaydigan darajada o'zgartirib yuborishi mumkin.

Atom – (grek. "atomos" – "bo'linmas") – kimyoviy elementning juda mayda zarrachasi bo'lib, boshqa atomlar bilan birlashib murakkab birikmalar – molekulalarni hosil qila oladi.

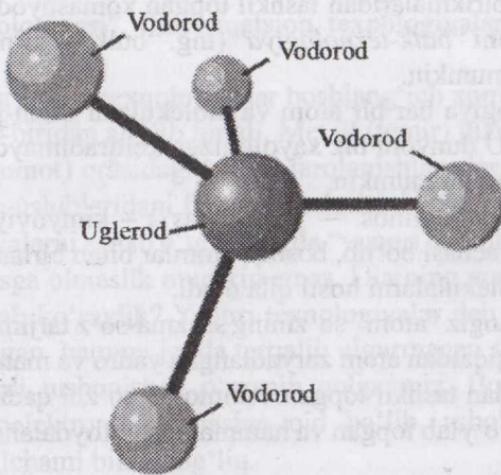
E'tibor bersangiz "atom" so'zining so'zma-so'z tarjima qilinishi no-to'g'ridir va haqiqatdan atom zaryadlangan yadro va manfiy zaryadlangan elektronlardan tashkil topgan. Ammo bu so'zni qadimgi grek fay-lasufi Demokrit o'ylab topgan va hamma undan foydalanishga o'rganib qolgan.

*Nanotexnologiya – bu ma'lum atomar tuzilishli mahsulotlarni, ularning atom va molekulalarini joylashtirish yo'li bilan ishlab chiqarish usullari yig'indisidir.*

Nanotexnologiyaga berilgan bunday ta'rifga ko'ra tabiiy savol tug'iladi: materiallarni atom va molekulalar darajasida manipulatsiyalashimiz (bu yerda ishlashimiz) mumkinmi? Bizning barmoqlarimiz nanomasshtab uchun juda ham kattalik qiladi-ku. Bu savol zamonaviy nano fanining jumbog'i bo'lsa kerak. Bu jumboqni yechishning eng chiroyli yo'lini Erik Dreksler o'zining "Yaratish (barpo etish, vujudga keltirish) mashinalari" kitobida taklif qildi. Atomlar bilan ishlash uchun u maxsus nanomashinalarni yoki *assemblerlarni* yaratdi.

Ularni ko'z oldimizga keltirish uchun avvalo molekulalar qanday tuzilganligini rasm orqali ko'rishimiz lozim bo'ladi. Buning uchun biz atomlarni munchoqlar ko'rinishida chizamiz, molekulalarni esa sim orqali bir-biriga bog'langan munchoqlar guruhi deb ko'rsatamiz. Atomlar yumaloq shaklga ega (sharlarga o'xhash), molekular bog'lanishlari – sim bo'laklari bo'lmasa-da, biz ko'z oldimizga keltirgan model bizga bu bog'lanishlar uzilishi va qayta tiklanishi mumkin ekanligini ko'rsatadi (1.1-rasm).

Nanomashinalar atom va molekulalarni ushlab olishni bilishi va ularni xohlagan tartibda bir-biriga bog'lay olishi lozim. Shuni ta'kidlash lozimki, bunday mashinalar tabiatda minglab yillardan buyon muvaffaqiyat bilan ishlab kelmoqda. Misol tariqasida ribosomalar tomonidan oqsilni sintez qilish mexanizmini keltirish mumkin.



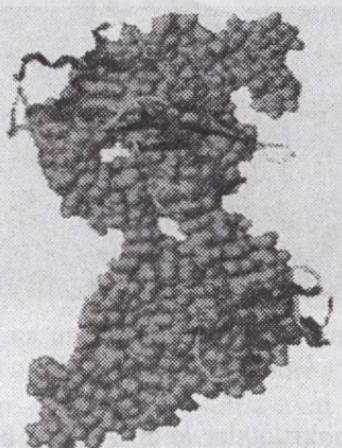
1.1-rasm. Metan molekulasi modeli ( $\text{CH}_4$ )

Biologiya kursidan eslarsiz ribosomalar RNK molekulasini “o’qib” oqsil tuzadi. O’quvchiga bu jarayonning asosiy paytlarini qisqacha eslatamiz.

**Oqsillar** – barcha hujayralarning hayot faoliyatini ta’minlovchi zaruriy tarkibiy qismidir. Oqsillarning organizmdagi (tanadagi) roli xilma - xildir. Tanamizdagi barcha hayotiy jarayonlarda uning o’sishi va ko‘payishini boshqarishda ishtirok etadigan oqsillar – gormonlar ajralib turadi. Yorug‘lik sezuvchi maxsus oqsil – rodopsin hisobiga ko‘zimiz to‘r pardasida tasvir paydo bo‘ladi. Aktin va miozin oqsillari hisobiga mushaklarimiz qisqaradi va bo‘shashadi, buning natijasida biz harakat qila olamiz. Organizmdagi barcha kimyoviy jarayonlar maxsus oqsillar – fermentlar ishtirokida kechadi. Ularsiz ovqat hazm qilish, nafas olish, moddalar almashuvi, qon ivishi va boshqalar sodir bo‘lmaydi. Oqsillar himoya funksiyasini ham bajarishadi, organizmga kasallik keltirib chiqaruvchi bakteriyalar yoki zaharlar tushsa, ular immunoglobulin oqsillarini ishlab chiqaradi va zararli ta’sirlarni yo‘q qiladi. .

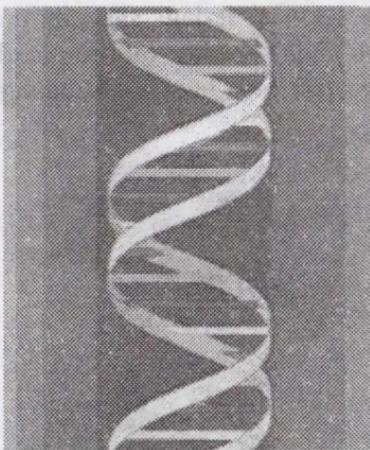
Oqsillar va ular faoliyati funksiyalarining xilma-xilligi bilan tanishganimizda, o‘simlik va hayvonot olamining barcha oqsillari – mutlaq inert oqsillardan to biologik faol bo‘lgan oqsillargacha – peptidli bog‘deb ataladigan kimyoviy bog‘lardan tuzilgan bo‘lib, ular yagona standart zanjirlar - **aminokislotalar** zanjiridan tashkil topganini ko‘ramiz.

Tashqaridan oqsil molekulasi ipdag'i shodalarning ketma-ket joylashtisha o'xshaydi va unda shodalar rolini aminokislota molekulalari bajaradi. Ko'p oqsillar tarkibida bunday "shodalar" o'rtacha 300–500 ta bo'ladi (1.2-rasm).



1.2-rasm. Oqsilning tuzilishi

Tabiatda barcha aminokislolar 20 ta turda bo'ladi, ularni maxsus "kimyoviy alifbe"ning yigirmata "harfi" ga o'xshatish mumkinki, bu "harf" lardan oqsillar -300–500 harfdan iborat "so'zlar" tuzilgan bo'ladi. Bunday yigirma harf yordamida juda ko'p uzun so'zlar yozish mumkin. Agar so'zdagi harflardan birginasini almashtirilsa yoki ko'chirilsa, so'z yangi ma'noga ega bo'ladi, 500 ramzli so'zda imkoniy kombinatsiyalar soni 20500 ta bo'ladi. Har bir oqsil zanjiri *faqat shu oqsilgagina xos* bo'lgan, faqat ma'lum bir sondagi va aminokislolar kombinatsiyasidan qurilgan ketma-ketlikdagi u yoki bu oqsilga xarakterli bo'lgan aminokislolar yagona kombinatsiyasigina ularning kimyoviy va biologik xossalarni belgilab beradi. Bir dona aminokislota zanjirining o'rni o'zgartirilishi, almashtirilishi yoki yo'qotilishi oqsil molekulalari xossalaringning tubdan o'zgarishiga olib keladi. Bundan kelib chiqib, alohida oqsilni sintez qilishda uning tuzilishidagi aminokislolar zanjirlari ketma-ketligi haqida to'liq ma'lumotga ega bo'lish kerak ekan. Tabiatda bunday ma'lumot maxsus tashuvchi – DNK molekulasiда saqlanadi, unda organizmda mavjud bo'lgan barcha oqsillar tuzilishi haqida ma'lumot bo'ladi (1.3-rasm).



1.3-rasm. DNK tuzilishi.

Bir oqsildagi aminokislotalar ketma-ketligi haqidagi ma'lumotlar joylashgan DNK molekulasining bir bo'lagi *gen* deb ataladi. Shuning uchun DNK dagi ma'lumotni genetik ma'lumot deyiladi. Gen esa irlsiy materialning birligi hisoblanadi. DNKda bir necha yuzgacha genlar bo'ladi.

DNK molekulasi (dizoksiribonuklein kislota) biri ikkinchisi atrofiga o'ralgan spiralsimon ikkita ipdan iborat. Bunday qo'sh spiralning eni taxminan 2 nm bo'ladi. Uzunligi esa undan 10 ming marta ko'p – bir necha yuz ming nanometrdir. Irsiy ma'lumotni tashuvchi DNK qo'sh spiralini topgani uchun 1962-yilda olimlar Uotson va Krik Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. DNK iplari esa nukleotidlari zanjiridan tashkil topgan, **nukleotidlar** – organik materiallar bo'lib, bir-biri bilan bog'liq 3 ta molekula: azotli asos, 5 uglerodli shakar (pentoza) va fosfor kislotasi qoldig'idan iborat bo'ladi. Nukleotidlarni azotli asoslarning tarkibiga kiruvchi 4 tipi (turi): *adenin* (A), *guanin* (G), *sitozin* va (T) *timin* nomi bilan nomlangan. Nukleotidlarni 4 turining DNK zanjirida joylashish tartibi juda muhimdir - u oqsillardagi aminokislotalar tartibini, ya'ni ularning tuzilishini belgilaydi.

DNKda oqsil tuzilishi dasturlashtirilganini tushunish uchun Morze alifbosini eslash kifoya, unda alifboning barcha harflari, tinish belgilari va sonlar qisqa (nuqta) va uzun (tire) signallar kombinatsiyasida belgi-

lanadi. DNKda ham xuddi shunday shifr mavjud ekan. Huddi Morze alibbosida har bir harfga nuqtalar va tirelarning muayyan ketma-ketligi mos keltirilganidek, DNK kodida nukleotidlarning ma'lum ketma-ketlikda kelishi oqsil molekulasi dagi ma'lum bir aminokislotaga mos kelar ekan. DNK kodini bilish – bu har bir aminokislotaga mos bo'lgan nukleotidlari ketma-ketligini bilish demakdir.

Barcha imkoniy son, harf va tinish belgilarni kodlashtirish uchun bizga 2 ta ramzni bilish kifoya qilar ekan. Bitta aminokislotani kodlashtirish uchun esa birgalikda 3 nukleotid o'zi yetarli bo'ladi (4 ta nukleotiddan 64 ta kombinatsiya hosil qilish mumkin, har birida 3 tadan nukleotid bor:  $4^3=64$ ). Bunday birikmalar *triplet* yoki *kodon* deb ataladi.

DNK kodi *bir qiyomatga ega* (1 triplet 1 tadan oshmagan aminokislotani shifrlaydi) va universallikka ega, (ya'ni Yerda barcha yashovchi va o'suvchi – bakteriyalar, zamburug'lar, donllilar, chumoli, qurbaqa, ot, inson – ayni bir tripletlar ayni bir aminokislotalarni shifrlaydi). Hozirgi vaqtida DNK kodi butunlay oshkorlangan, ya'ni har bir aminokisloti uchun kodlovchi triplet aniqlab qo'yilgan. O'quvchiga yana bir marta eslatamizki, DNK ketma-ketligida faqat bir nukleotidni almashtirish yoki chetlatish sintezlovchi oqsillar tuzilishini buzadi. Genetik kod tilga o'xshagini uchun bunga yaqqol misol qilib harfli tripletlardan tuzilgan quyidagi iborani keltirish mumkin:

### **Bir bor ekan, bir yo'q ekan**

Bu iborada tinish belgilari bo'limasa ham uning ma'nosini va mantiqi bizga tushinarli, iboradagi birinchi harfni olib tashlasak va uni yana tripletlar bilan o'qisak, unda hech qanday ma'nosiz narsa kelib chiqadi:

### **Rbi obr neka ibr o'yq kena**

Huddi shunday genetik ma'nosiz narsa gandan bir nukleotid tushib qolganda ham paydo bo'ladi. Bunday buzilgan gandan o'tgan oqsil organizmda jiddiy *genetik kasalliklarni* keltirib chiqarishi mumkin (Daun kasalligi, qandli diabet, mushak distrofiyasi va boshqalar). DNK informatsion matritsasidagi bunday xato shu oqsilni sintezlash vaqtida qaytarallaveradi. Huddi kitob yoki gazeta nashr ettirilayotganda, matritsadagi xato qaytarilavergani kabi.

Barcha oqsillar sintezi uchun matritsa bo'lgan DNK molekulasining o'zi sintezlash jarayonida ishtiroy etmaydi. U faqatgina genetik ma'lumotlarni tashuvchidir.

Oqsil sintezida uning tuzilishi haqidagi ma'lumot avval DNKdan **ribosoma** molekulasiiga – oqsil ishlab chiqaruvchi o'ziga xos fabrikaga yetkaziladi. Bunday ma'lumotlarni ko'chirish *tashuvchi* informatsion RNK (t- RNK, t- ribonuklein kislotasi) molekulasi yordamida amalga oshiriladi, u DNKnинг bir qismining aniq nusxasi, oynadagi aksidir. I-RNK esa DNK molekulasi bir ipi bilan komplementar bo'lgan bir zanjirli spiral.

DNKdan RNKga genetik ma'lumotlarni nusxalash jarayoni **transkripsiya** (lotin "transcriptio" – ko'chirib yozish) deb ataladi. Ko'chirib yozish jarayonida maxsus ferment – polimeraza D NK bo'y lab harakatlanib ketma-ket ravishda uning nukleotidlarini o'qydi va komplementarlik prinsipi bo'yicha I-RNK zanjirini hosil qiladi, ya'ni D NK dan u yoki bu gen "chizma" sini oladi.

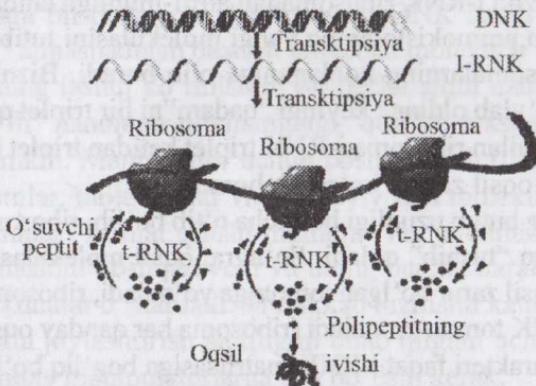
Har bir gandan xohlagan sondagi RNK nusxalarini olish mumkin. Shunday qilib, oqsil sintezi jarayonida I-RNK perfokarta rolini bajaradi, unga aniq bir oqsil qurilishi "dasturi" yozilgan bo'ladi.

**Perfokarta** – eski hisoblash mashinalarida dastur yozish uchun ma'lum bir joylarida yorug'lik nuri o'tishi uchun teshikchalar qilib qo'yilgan qattiq qog'oz bo'lagi yoki tasmasi.

I-RNK molekulasi unga yozilgan dastur bilan ribosoma tomon yo'naladi, u yerda oqsil sintezlanadi. U tomonga yana oqsil quriladigan materiallar – aminokislotalar oqimi ham yo'naladi. Aminokislota ribosomaga mustaqil emas, balki harakatlanuvchi *transport* RNK (t-RNK) yordamida o'tadi. Bu molekulalar turli aminokislotalar ichidan "o'zining" aminokislotasini ajrata oladi, o'ziga qo'shib ribosoma ga olib boradi.

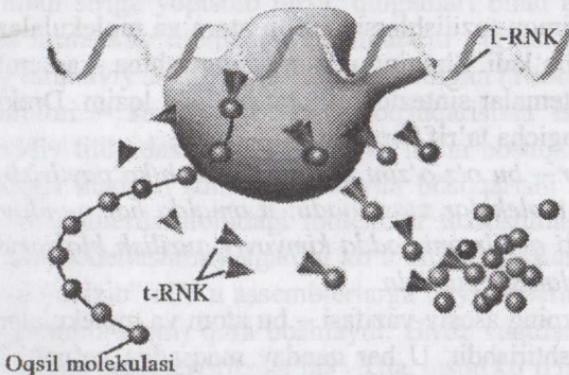
Ribosomalarda oqsil sintezini **translatsiya** (lotin. "translatio" – uza tish) deb ataladi.

Oqsil molekulasi qurilishi davomida ribosoma i-RNK bo'y lab "o'rmalaydi" va shu i-RNKga dasturlashtirilgan oqsilni sintezlaydi. I-RNK bo'y lab ribosoma qancha uzoqqa ko'chib borsa, oqsil molekulasining shuncha katta qismi "yig'ilgan" bo'ladi. I-RNK tasmasida, konveyerdagiga o'xshab, bir vaqtning o'zida bir oqsilning o'zini bir necha ribosomalr tomonidan yig'ish davom etaveradi (1.4-rasm). Ribosoma i-RNKning oxiriga yetganida sintez tugaydi.



1.4-rasm. Ribosoma oqsilining sintez jarayoni.

Endi ribosomaning ishslash mexanizmiga to'xtalib o'taylik. Rasmga murojaat qilamiz. Ribosoma i-RNK bo'ylab bir tekisda harakatlanmaydi, to'xtab-to'xtab "qadamma-qadam", triplet ketidan triplet tarzda harakatlanadi. Ribosomaning i-RNK bilan tegishgan har qadamida unga ulagan aminokislotali t-RNKning molekulasi "suzib" keladi. Oldin aytilganidek, har bir t-RNK faqat "o'z" aminokislotasini taniydi va uni oqsil quriladigan joyga keltirish uchun birlashtirib oladi. Bu unda muayyan aminokislotaga mos triplet borligi tufayli sodir bo'ladi. Agar t-RNKning kodli tripleti ayni paytda ribosomada bo'lgan i-RNK tripletiga komplementar bo'lib chiqsa, unda aminokislota t-RNKdan ajralib chiqadi va oqsilning qurilayotgan zanjiriga birikadi (oqsil molekulasiiga yana bir "munchoq" qo'shiladi) (1.5-rasm).



1.5-rasm. Ribosomaning oqsilni sintez qilish.

So'ngra, ozod t-RNK ribosomadan atrof-muhitga chiqarib tashlana-di. Bu yerda u aminokislordan yangi molekulasi tutib oladi va ish-layotgan ribosomalarning xohlaganiga olib boradi. Bizning ribosoma esa i-RNK bo'ylab oldinga keyingi "qadam"ni bir triplet qadar qo'yadi. Asta-sekinlik bilan ribosoma i-RNK triplet ketidan triplet harakatlanadi va birin ketin oqsil zanjiri ko'payib boradi.

I-RNKnинг butun uzunligi bo'yicha o'tib bo'lib, ribosoma tayyor oqsil bilan undan "tushib" qoladi. So'ngra, oqsil molekulasi hujayraning shu turdag'i oqsil zarur bo'lgan tomoniga yo'naladi, ribosoma esa boshqa ixtiyoriy i-RNK tomon yo'naladi (ribosoma har qanday oqsilni sintezlay oladi; oqsil xarakteri faqat i-RNK matritsasiga bog'liq bo'ladi).

Shunday qilib, ribosomalar oqsil va RNKdan qurilgan nanomashinalar murakkab molekulalar qurilishga dasturlashtirilishi mumkinligini, ya'ni ular xohlangan molekular tuzilmalar ishlab chiqarish uchun tabiiy assemblerlar (atomlar yig'uvchi) bo'lishini tasdiqladi.

Gen injenerlari hozir biologik tabiiy materiallar: aminokislolar, oqsillar, DNK molekulalari va boshqalardan foydalaniib, birinchi eksperimental sun'iy nanomashinalar qurishga harakat qilishmoqda. Ammo, biologiksimon nanomashinalar – bu organikadir va ularning imkoniyatlari chegaralangan bo'ladi. Ular yuqori temperatura va bosimda barqarorlikni yo'qotadi yoki buzilib ketadi, nurlanishlardan ta'sirlanadi, qattiq materiallarga ishlov bera olmaydi, kimyoiy aggressiv muhitlarda ishlay olmaydi. Shuning uchun ham insoniyatning balk-texnologiyada yaratgan ko'plab ishlanmalaridan voz kechish to'g'ri bo'lmaydi. G'ildirakdan kompyutergacha – bularning hammasi tabiat "o'yab topmaganlardir".

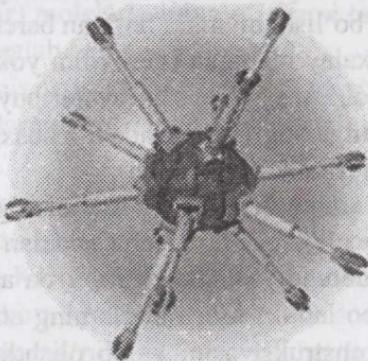
Biologiksimon tuzilishlarsiz ayrim atom va molekulalardan foydalinish qiyin bo'ladi. Shuning uchun nanomashina – assemblerlar tirik va texnik sistemalar sintezidan iborat bo'lishi lozim. Dreksler assemblerغا quyidagicha ta'rif beradi:

*Assemblers – bu o'z-o'zini replikatsiyalash(ko'paytirish) xossasiga ega bo'lgan molekular mashinadir, u amalda har qanday molekular tuzilishni yoki qurilmani sodda kimyoiy qurilish bloklaridan qurishi uchun dasturlanishi mumkin.*

Assemblerning asosiy vazifasi – bu atom va molekulalarni berilgan tartibda birlashtirishdir. U har qanday maqsadga yo'naltirilgan nano-sistemalarni – dvigatellar, stanoklarni, hisoblash uskunalarini, aloqa

vositalarini qura olishi lozim. U RNK yoki DNK zanjiriga o'xshash, "perfotasmal" almashadigan dasturli universal molekular robot bo'ladi.

Yig'uvchining tashqi ko'rinishini bir necha atom uzunligidagi manipulator "qo'lli" nanometr o'lchamidagi "qutii"ga o'xshash deb tasavvur qilish mumkin. Manipulator uchun boshlang'ich (dastlabki) material bo'lib atomlar, molekulalar va kimyoviy faol molekular konstruksiyalar (qurilmalar) xizmat qilishi mumkin. Yig'uvchining ichiga manipulyator ishlashini boshqaruvchi va uming barcha harakatlari dasturi joylashgan uskunalar o'matiladi. Murakkab tuzilishli katta molekulalar tashkillash katta joylashtirish aniqligini talab qilgani uchun assembler bir necha shunday manipulatorlarga ega bo'lishi kerak.



1.6-rasm. Assemblerning tashqi ko'rinishi

Assembler nimesi bilandir o'rgimchakka o'xshab ketadi, u bir "oyoqlari" bilan sirtga yopishib tursa, qolganlari bilan atom ketidan atom tarzida murakkab molekular tuzilmalarni yig'adi. Nanoassembler eng ommaviy sxemasi rasmida ko'rsatilgan (1.6-rasm).

Yig'uvchilarni – sanoat robotlarini boshqarishda ishlataladigan, qandaydir oddiy tilda dasturlashtirilgan va inson boshqaradigan odatiy kompyuterga ulangan nanokompyuterlar boshqarishi lozim. Inson – operator kompyuterda alohidagi molekular tuzilishidagi qandaydir konstruksiyani modellashtirayotganini ko'z oldimizga keltiraylik. Kerakli obyektni "chizib" olib u assemblerlarga buyruq beradi, u esa uni birin-ketin (atomma-atom) qura boshlaydi. Biroz vaqtadan so'ng konstruktorda berilgan xarakteristikalar bo'yicha, inson ko'p ishtiroy etmagan, tayyor buyum paydo bo'ladi.

Assemblerlar obyektning tuzilishini molekular darajada yozib oluvchi, uni atomlarga ajrata oladigan, *dizassemblerlar* – nanomashinalar bilan birgalikda ishlashi mumkin. Masalan, qaysidir bir obyektning nusxasini yasash uchun, dizassembler uni atomma-atom parchalab atom turlari, ularning joylashishi kabi barcha ma'lumotlarni assemblerga uzatadi, u esa keyinchalik obyekt nusxasini xohlaganingizcha marta yasab berishi mumkin. Nazariyada bunday nusxa haqiqiysiha har tomonidan o'xshaydi va uni har bir atomigacha takrorlay oladi. Dizassemblerlar olimlarga narsalarini va ularning atom tuzilishini yaxshilab o'rghanishga yordam beradilar.

Yuqorida aytib o'tilganidek, assemblerlar *replikatsiya* (ko'payish) xossasiga ega bo'ladi. Gap evolutsiya haqida borganda, unda replikator – bu o'zida sodir bo'lishi mumkin bo'lgan barcha o'zgarishlar bilan birga o'z-o'zini nusxalay oladigan (gen, mim yoki kompyuter virusiga o'xhash) obyektdir. Assembler kompyuter buyrug'iga binoan yoki uni o'rab turgan muhitga bog'liq ravishda o'z nusxasini tuzish (yasash) yo'li bilan ko'payadi (replikatsiyalanadi).

Shunday qilib, o'zining nusxasini yasay oladigan bir dona universal assembler yasab olib, biz bir necha soatdan so'ng, hayotimizni tubdan o'zgartirib yuboradigan, shunaqa mayda assemblerlarning butun qo'shiniga ega bo'lamiz. Assemblerlarning eng katta muammosi, ularning dastlabki konstruksiyasini yasab olishdir. Shunga qaramay, dunyodagi barcha davlatlardagi laboratoriylar buni amalga oshirishda birinchilar qatorida bo'lishga harakat qilmoqdalar.

Nanotexnologiyalardan foydalanishning imkoniyatlari bitmas-tuganmasdir: saraton hujayralarini nobud qiluvchi va zararlangan to'qima va a'zolarni tiklovchi organizmda "yashovchi" nanokompyuterlardan tortib, to atrof-muhitni ifloslantirmaydigan avtomobil dvigatellari bo'lgan asbob, qurilmalarni yaratish kelajagi mavjud.

Hozirgi kunda Foresight Institute – nanotexnologiyalar yaratish ilg'orlaridan biri – molekular darajada operatsiyalar bajara oladigan nano-manipulyator – "qo'l" va tomonlari 50 nanometr bo'lgan kubchaga joylashadigan 8 bitli summatorni yaratgan odamga 250 000 dollar va'da qilmoqda.

Bunga oz vaqt qoldi. Optimistlarning fikricha, amaliy nanotexnologiyalarning gullash davri asrimizning I choragidir. Pessimistlar buni asrning o'rtalariga borib yuz beradi deb hisoblashmoqda. Hozir

kelajakda qaysi mutaxassislikni tanlashni rejalashtirayotganlar nanorobotlarni dasturlashtiruvchi yoki molekular kompyuterlar konstruktori bo‘lishi haqida o‘ylab ko‘rishsa yaxshi bo‘lsa kerak. Chunki bir necha yillardan so‘ng bunday mutaxassislar mashhur bo‘lib ketadilar.

## 1.2. Nanotexnologiyalar tarixi haqida

Nanotexnologiyalarning bobosi deb grek faylasufi Demokritni hisoblash mumkin. U 2400 yil oldin moddaning eng mayda zarrachasini ta’riflash uchun birinchi bo‘lib “atom” so‘zidan foydalangan.

Shveysariyalik fizik Albert Eynsteyn esa 1905-yilda nashr qilingan ishida qand (shakar) molekulasinинг o‘lchami taxminan 1 nanometrga teng ekanligini isbotlab bergen.

1931-yilda nemis fiziklari Maks Knoll va Ernst Ruskalar birinchi marta nanoobjektlarni o‘rganish mumkin bo‘lgan elektron mikroskop yaratdilar.

1959-yilda amerikalik fizik Richard Feynman miniyatyuralash kela-jagini baholay olgan ishlarini e’lon qildi. Nanotexnologiyalarning asosiy holatlari, uning Kaliforniya Texnologik Institutida o‘qilgan (U yerda – pastda joylar ko‘p) (“There’s Plenty of room at the Bottom”) deb nomlangan mashxur ma’ruzasida belgilab berilgandi. Feynman fizikaning asosiy qonunlari nuqtayi nazaridan narsalarni to‘g‘ridan-to‘g‘ri atomlardan hosil qilish mumkinligini ilmiy tomondan tasdiqlab berdi.

O‘sha vaqtida uning bu so‘zlari faqat bir sabab bilan fantastikaga o‘xshab ketar edi: ayrim atomlar bilan operatsiyalar o‘tkazish mumkin bo‘lgan texnologiyalar (ya’ ni atomni aniqlab olish, uni olib boshqa joyga qo‘yish) xali yo‘q edi. Bu sohaga qiziqishni kuchaytirish uchun Feynman, kim birinchi bo‘lib kitobning bir betini igna uchiga yozib bersa u 1000 dollar berishni va’da qildi. Bu narsa 1964-yildayoq amalga oshirildi.

1968-yilda Amerikaning Bell kompaniyasining ilmiy bo‘limi xodimlari Alfred Cho va Jon Arturlar sirtni nano-qayta ishslashning nazariy asoslarini ishlab chiqishdi.

1974-yilda yaponiyalik fizik Norio Taniguchi ilmiy atamalar qatoriga “nanotexnika” so‘zini kiritdi, u bu so‘z bilan o‘lchamlari 1 mikronдан kichik bo‘lgan mexaniqmlarni (uskunalarni) atashni taklif etdi.



1981-yilda germaniyalik fiziklar Gerd Binnig va Genrik Rorlerlar skanerlovchi tunnel mikroskopini yaratishdi, bu uskuna materialga atomar darajada ta'sir ko'rsata oladi. Ular 4 yildan so'ng Nobel mukofotini oldilar.

1985-yilda Amerika fiziklari Robert Kerl, Xerold Kroto va Richard Smollilar diametri 1 nanometrga teng bo'lgan buyumlarni aniq o'chay oladigan texnologiyani yaratdilar.

1986 yilda tunnel mikroskopidan farqli ravishda barcha materiallar bilan o'zaro ishlay oladigan atomiy-kuch mikroskop yaratildi.

1986-yilda nanotexnologiyadan keng omma ham xabar topdi. Amerikalik futurolog Erik Dreksler nanotexnologiyalar yaqin vaqtlar ichida tez rivojlanib ketishini bashorat etgan kitobini nashr qildi.

1989-yilda IBM kompaniyasi xodimi Donald Eygler o'z firmasining nomini ksenon atomlari bilan yozib berdi.

1998-yilda gollandiyalik fizik Seez Dekker nanotranzistorni yaratdi.

2000-yilda AQSH hukumati "Milliy nanotexnologik tashabbus"ini e'lon qildi (National Nanotechnology Initiative). O'sha vaqtida AQSH federal budgetidan 500 mln. dollar ajaratildi. 2002-yilda bu mablag' 604 mln. dollargacha oshirildi. 2003-yilga 710 mln. dollar so'raldi, 2004-yilda AQSH hukumati bu sohadagi olib borilayotgan izlanishlarga 4 yilga mo'ljallangan 3,7 mlrd. dollar ajratdi. Umumiy ravishda butun dunyoda bu sohani o'rganishga kiritilgan mablag' 12 mlrd. dollarni tashkil etdi!

2004-yilda AQSH hukumati endi "Milliy nanotibbiyot" tashabbusi "Milliy Nanotexnologik tashabbusi"ning bir qismi hisoblab qo'llab quvvatladi.

Nanotexnologiyalarni bunday tez rivojlanishi ommanning katta miqdordagi axborotni qamrab olishga bo'lgan ehtiyojidan kelib chiqqan.

Zamonaviy kremniy chiplar (integral sxemalar) turli texnik zaruratlар natijasida yana taxminan 2012-yilgacha kichiklashib boraveradi. Ammo yo'lakchasingning eni 40–50 nanometr bo'lganda kvant mexanik buzilishlar oshib boradi: elektronlar tunnel effekti hisobiga tranzistorlardagi o'tish yo'laklarini teshib o'ta boshlaydi. Bu esa qisqa tutashuv degani. Buni yengib o'tish uchun kremniy o'rniga o'lchamlari bir necha nanometr bo'lgan uglerod birikmali nanochiplar qo'l kelishi mumkin edi. Hozirgi vaqtida bu yo'nalishda katta izlanishlar olib borilmoqda.

### 1.3. Nanotexnologiya uskunalari

Materiallarga makro-, mikro yoki nano- darajada ishlov bera oladigan barcha texnologiyalar mos kattaliklarni o'chay oladigan vositalarsiz ishlay olmaydi. Turli xil o'chash uskunalari ichida katta va kichik masofalarni o'chay oladigan maxsus uskunalar mavjud.

$10^{-3}$  m (millimet) tartibigacha bo'lgan kichik masofalar oddiy chizg'ich yordamida o'lchanadi. U bilan masalan, qalin karton qog'oz qalinligini o'chash mumkin. Qog'ozning varag'i qalinligi ham unday varaq ko'p bo'lsa o'chash qiyin bo'lmaydi. Yuz varaqni bir to'p qilib, chizg'ich bilan o'lchab, chiqqan kattalikni 100 ga bo'ling. Bu bilan biz har bir varaq qalinligi bir xil deb hisoblab, uning bir varag'i qalinligini o'lchagan bo'lamiz.

Ammo, ulardan ham mayda o'lchamlarga chizg'ich yaramaydi. Chizg'ich bilan sochning bir tuki qalinligini o'chashga harakat qilib ko'rsak, faqat bir narsani, ya'ni u juda ingichka va o'chovi yo'q ekan degan xulosaga kelamiz. Shuning uchun ham shunday va bundan ham kichik bo'lgan o'lchamlarni o'chash uchun kattalashtiruvchi uskunalar lozim bo'ladi, bunday uskunalardan bizga ma'lum bo'lgani optik mikroskopdir.

Optik mikroskop bizga buyumning 0,25 mkm gacha bo'lgan mayda qismlarini ko'rish imkonini beradi. Optik tarzda ishlovchi mikroskoplarni yaxshilash, takomillashtirish yo'lidan borib o'lchamlari nanometr tartibdagi buyumlarni ko'rsata oladigan elektron mikroskoplar yaratildi. Elektron mikroskop atomlar panjaralarini ajratib ko'rib olish imkonini beradi, ammo undagi nuqsonlarni aniqlab bera olmaydi. Shunday qilib, XX asning boshida, materialning sirtini ko'ra olish darajada kattalashtirmsandan tegib turish yo'li bilan o'rganish haqida antiqa fikr keldi. Bunda bizga o'sha vaqtga kelib tunnel effekti yordamga keldi, uning asosida 1981-yili birinchi aniqlovchi tunnel mikroskopi (STM) yaratildi.

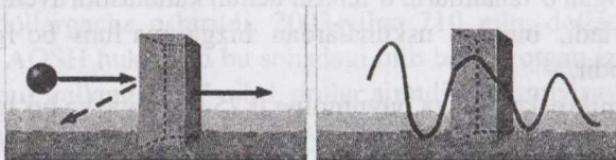
STM va tunnel effektini o'rganish bilan keyinroq, mukammalroq shug'ullanamiz, hozir esa uni umumlashtirib ko'rib chiqamiz.

**Tunnel effekti** – klassik fizikada unga o'xhashi bo'lmagan yangi kvant mexanik effektdir, shuning uchun ham izlanuvchilarda qiziqish uyg'otdi. U elementar zarracha tabiatiga xos bo'lgan korpuskul-yar-to'lqin dualizmiga asoslangan (17-rasm).

Klassik mexanika nuqtayi nazaridan ma'lumki,  $E < V_0$  energiyaga ega bo'lgan hech qanday moddiy jism  $V_0$  balandlikdagi potensial to'siqdan o'ta olmaydi. Masalan, koptokni moddiy jism deb hisoblasak, potensial to'siq – bu juda baland devor bo'lsa, koptokni devor tomoniga yetarli darajada baland tashlanmasa, uning energiyasi oldinda turgan devordan oshib o'tib ketishiga yetmaydi va u to'siqqa urilib orqaga qaytib tushadi.

Ammo moddiy jism sifatida elektron ko'rilsa, unda potensial to'siqning balandligi, elektronning xususiy energiyasidan yuqori bo'lsa ham aniq ehtimollik bilan xuddi "devorda" biror bir "teshik" yoki "tunel" bor bo'lganidek, elektron o'z energiyasini biroz o'zgartirgan holda, to'siqning boshqa tomonida bo'lib qolishi mumkin.

Bu bir qarashda tushuntirib bo'lmaydigan tunnellanish effekti elektronning ham korpuskular, ham to'lqinsimon xossali ekanligidandir. Elektron  $E$  energiyaga ega bo'lgan klassik zarra bo'lganda, u o'z yo'lda yengib (oshib) o'tish uchun katta energiyani talab qildigan to'siqni uchratib, bu to'siqdan qaytib ketishi lozim bo'lar edi. Ammo u bir vaqtning o'zida to'lqin ham bo'lgani uchun, u bu to'siqdan xuddi rentgen to'lqinlari moddiy buyumlar ichidan osongina o'tganidek o'tib keta oladi.



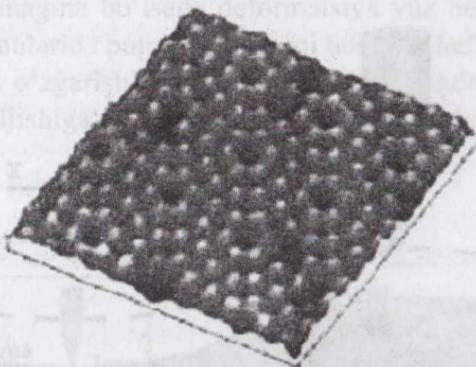
1.7-rasm. Tunnel effekti.

Shunday qilib, har qanday o'tkazgich yoki yarimo'tkazgich sirtida doimiy ravishda uning chegaralaridan termoelektron emissiya natijasida emas, balki tunnel effekti evaziga "chiqib" ketgan erkin elektronlarning ma'lum miqdorini kuzatish mumkin.

Agar ikkita o'tkazuvchi material olib, ularni bir-biridan 0,5 nm masofada joylashtirib, ularni potensiallarning nisbatan kichik farqi (0,1–1 V) bilan qo'shib qo'ysak, unda ular o'rtasida tunnel effekti natijasida paydo bo'lgan va tunnel toki deb ataladigan elektr toki paydo bo'ladi.

Xuddi shu tajribani endi bizni qiziqtirayotgan jism sirtiga o'tkir predmetni, masalan, uchi atom qalinligidagi ignani yaqinlashtirsak va uni o'rganayotgan buyumdan o'tkazib buyumning atom darajadagi tulilishi haqidagi ma'lumotlarni olsak bo'ladi.

to jinda kichikniga bo'lgan deformasiya va tressa. Ushbu o'sha  
masofalar uchun qiziqishlari yaxshi bo'lib, shuning uchun  
masofalariga siljishiha kerak.



1.8-rasm. STMda monokristall kremniyu ag ustki ko'rinishi.

1981-yilda IBM kompaniyasi xodimlari G.Bining va G.Rorerlar bu hodisa asosida birinchi *skanerlovchi tunnel mikroskop*(STM)ni yaratishdi va 1982-yilda uning yordamida tarixda birinchi bo'lib atomar ajratish bilan avval oltinning, so'ngra kremniyning sirti tasvirini olishdi (1.8-rasm).

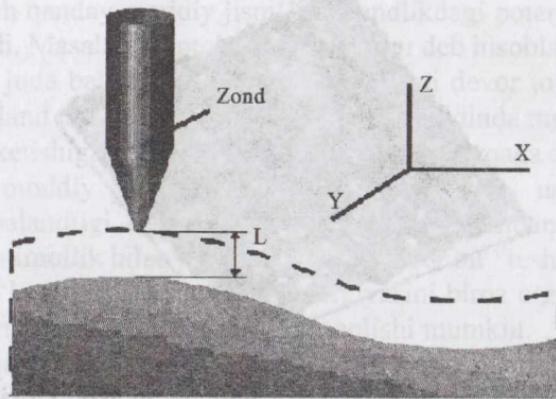
Bu ixtirolari uchun olimlar 1985-yili Nobel mukofotiga loyiq deb topilgan. Taqdir taqozosi bilan STMning ulkan imkoniyatlarini darrov tushunib yetmagan ba'zi bir nashiryotlar Bining va Rorerlarning maqolasini, ixtiolariga berilgan ta'rifni uncha qiziqish uyg'otmaydi degan bahona bilan nashr etish uchun qabul qilmaganlar.

STMning ishchi organi – zond – bu tok o'tkazuvchi metall ignadir. O'rganilayotgan sirtga zond juda yaqin masofaga ( $\sim 0,5$  nm) yaqinlashtiriladi va unga doimiy kuchlanish berilganda o'rtasida tunnel toki hosil bo'ladi, u esa eksponensial ravishda zond bilan namuna orasidagi masofaga bog'liq bo'ladi: oradagi masofa faqatgina  $0,1$  nm qadar katalashtirilsa tunnel toki deyarli 10 martaga pasayib ketadi. Xuddi shu hodisa mikroskopning yuqori darajada ajratish qobiliyatini ta'minlaydi.

Kuzatish tizimi yordamida tok va masofani doimiy birday ushlab turib, zondni  $X$  va  $Y$  o'qlari bo'ylab harakatlantirib, relyefga mos ravishda goh ko'tarilib, goh pasayib STM sirtni o'rgana boshlaydi.

Bu harakat haqidagi axborotni kompyuter kuzatadi va tekshiriluvchi buyum tasviri ekranda zaruriy anqlikda ko'rish uchun dasturlanadi.

Namunalarni tekshirish tartibiga asoslangan STM konstruksiyasining 2 ta varianti mavjud (1.10-rasm).



1.9-rasm. STMning ishslash sxemasi.

Ignal uchi doimiy balandlik tartibida namuna ustida gorizontal tekislik bo'ylab harakatlanadi, tunnel tok esa o'zgaradi (1.10-a rasm). Sirtning barcha nuqtasida o'lchangan tunnel tok kattaligi haqidagi ma'lumotlardan kelib chiqib namuna qiyofasi ko'rinishi quriladi.

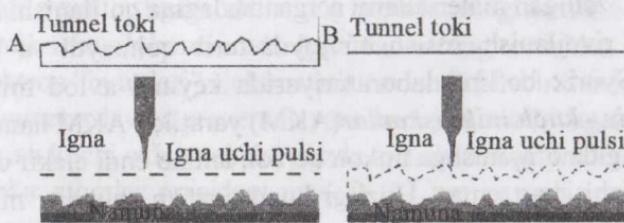
STMning doimiy tok tartibida teskari bog'lanish tizimi ishga tushiriladi. Bunda doimiy tunnel tokni tekshiruvchi uskuna balandligini sirtning har bir nuqtasiga moslashtirish yo'li bilan qo'yilib turiladi (10-b rasm).

Ikkala tartibda ham yutuq va kamchiliklar bor. Doimiy balandlik tartibi tezroq, chunki bu tizim tekshiruvchi moslamani yuqoriga-pastga jildirmaydi, ammo bunda foydali ma'lumotni nisbatan silliq namunalardangina olish mumkin. Doimiy tok tartibida esa yuqori aniqlik bilan murakkab sirtlarni o'rganish mumkin, ammo vaqt ko'p ketadi.

STMning eng zarur qismi bu mexanik manipulatordir, u zondni nanometrning mingdan bir bo'laklari aniqligida sirt ustida harakatlanishi ta'minlashi lozim. Odatda mexanik manipulatorni pezokeramik materialdan tayyorlanadi.

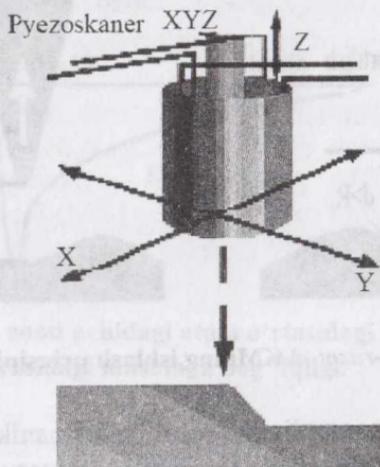
Bunday materialning qiziq xususiyati uning *pezoeffektidir*. Uning ma'nosi quyidagidan iborat: pezomaterialdan to'g'ri burchakli to'sin kesib olib, qarama-qarshi tomonlariga metall elektrodlar surkalsa va ularga potensiallar farqi qo'yilsa, unda tok ta'siri ostida to'sining geometrik o'lchamlari o'zgarishi yuz beradi. Va uning teskarisi:

to'sinda kichkinagina bo'lsada deformatsiya yuz bersa, uning qarama-qarshi tomonlarida potensiallar farqi hosil bo'ladi. Shunday qilib, tokdag'i kichik o'zgarishlarni boshqara turib, zondning juda kichik masofalarga siljishiga erishish mumkin. Bunda tadqiqot mikroskopi ishlashi kerak.



1.10-rasm. STMning ishslash tartibi (rejimi).

Amaliy qurilmalarda, odatda, bir nechta ajratilgan elektrodli yupqa devorli naycha ko'rinishdagi pezokeramik manipulatorlardan foydalaniladi. Boshqaruvchi kuchlanish bunday manipulatorlarning cho'zilishini yoki egilishini keltirib chiqaradi va shu bilan birga zondning barcha uch fazoviy koordinatalar  $X$ ,  $Y$  va  $Z$  o'qlari bo'yicha harakatini ta'minlaydi (1.11-rasm).



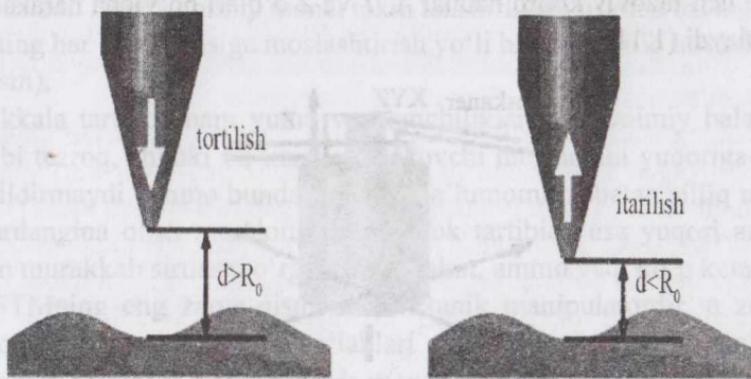
1.11-rasm. Pezomanipulatorning sxemasi.

Zamonaviy manipulyatorlar qurilmasi zondning tekislikda 100–200 mkm ga, balandlik bo'yicha esa 5–12 mkm ga harakatlanish diapazonini ta'minlaydi.

Tunnel mikroskopining kashf etilishi sirtlarni atom darajasida o'rganishga imkon berdi. Ammo bu asbob bir qator cheklanishlarga ham ega. Tunnel effektiga asoslanganligi uchun u faqat elektr tokini yaxshi o'tkazadigan materiallarni o'rganishdagina qo'llanishi mumkin.

Ammo, rivojlanish, o'sish bir joyda turib qolmaydi va 1986-yili IBMning Syurix bo'limi laboratoriyasida keyingi avlod mikroskoplari – **atomiy - kuch mikroskoplar**(AKM) yaratildi. AKM ham sirtlarni atom aniqligida o'rganishga imkon beradi, ammo endi elektr o'tkazuvchilar bo'lishi shart emas. Hozirgi kunda aynan shunday mikroskop tadqiqotchilar qiziqishni uyg'otmoqda.

Atomiy - kuch va tunnel mikroskoplarning harakat qonuniyatları amalda bir xil, faqat tunnel mikroskopinikidan farqli ravishda AKMning ishlashi atomlararo bog'lanishlar kuchidan foydalanishga asoslangan. Kichik masofalarda ( $0,1 \text{ nm}$  ga yaqin) ikki jism atomlari o'rta-sida itarishish kuchlari (1.12-a rasm), katta masofalarda esa tortishish kuchlari harakatga keladi (1.12-b rasm).



1.12-rasm. AKMning ishslash prinsipi.

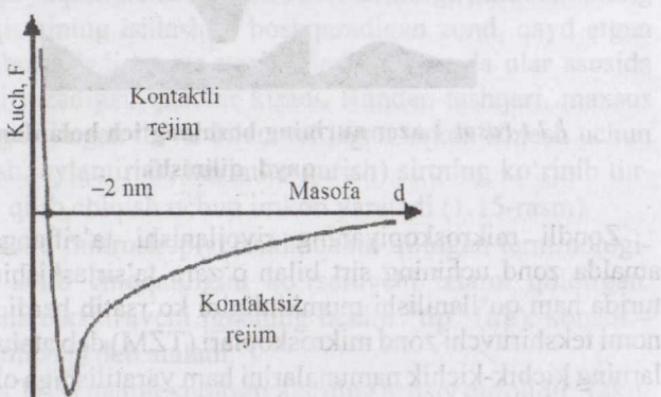
Tadqiqotlar uchun yaratilgan atomiy- kuch mikroskopda bunday ikki jism o'rganilayotgan sirt va uning ustida sirpanayotgan igna uchi bo'ladi. AKMdagi zond sifatida olmos ignadan foydalilanadi. Sirt va

igna uchi o'rtasidagi  $F$  kuchi o'zgarganda unga biriktirilgan prujina og'adi va u datchik tomonidan qayd qilinadi. Elastik elementning (prujinka) og'ish kattaligi sirtning relyefi haqidagi ma'lumotga ega bo'ladi.

1.13-rasmida atomlararo kuchning igna uchi va namuna o'rtasidagi masofaga bog'liqli egri chizig'i ko'rsatilgan.

Igna sirtga yaqinlashgani sari uning atomlarining namuna atomlariiga tortilishi kuchayib boraveradi. Igna va sirtning tortishish kuchi to'ularning elektron "bulutlari" elektrostatik ravishda bir-biridan itarishish holatiga kelguncha davom etaveradi, yana ham yaqinlashishganda elektrostatik itarish kuchi eksponensial tarzda tortishish kuchini kamayitiradi. Bu kuchlar atomlar orasidagi masoфа 0,2 nm ga yaqin bo'lganda muvozanatlashadi.

AKMda ham STMga o'xshab sirtni tekshirish ikki usulda amalga oshishi mumkin: *kantilever* (zond) *orgali tekshirish va taglik bilan tekshirish*. Birinchi holda tekshirilayotgan sirt bo'ylab kantilever harakatlanadi, ikkinchisida esa harakatsiz namunaga nisbatan taglikning o'zi harakatlanadi.



1.13-rasm. Namuna va zond uchidagi atom o'rtasidagi ta'sir kuchini ular orasidagi masofaga bog'liqligi.

Zond va sirtning o'zaro ta'sirlashish kuchlarini qayd etish uchun odatda zond uchidan qaytgan lazer nurining og'ishini qayd etishga asoslangan uslubdan foydalaniladi. Nur maxsus alyuminiyli ko'zgu-

simon qoplaml bilan qoplangan kantileverning uchi tomon yo'naladi, shundan so'ng maxsus to'rt seksiyalik fotodiodga o'tadi.

Shunday qilib, kantileverning ozgina og'ishi ham lazer nurini fotodiod seksiyalariga nisbatan siljishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida kantileverning u yoki bu tomoniga siljishini ko'rsatuvchi fotodiod signalini o'zgartiradi. Bunday sistema nurning 0,1" burchak ostida og'ishini o'lhash imkonini beradi.

AKMning elektr namunalar o'tkazuvchan bo'lishini talab qilmagani uchun u DNK va boshqa yumshoq materiallarning molekular o'tkazgichli va izolyatorlik xossalari tekshirishga imkon yaratadi (1.14-rasm).

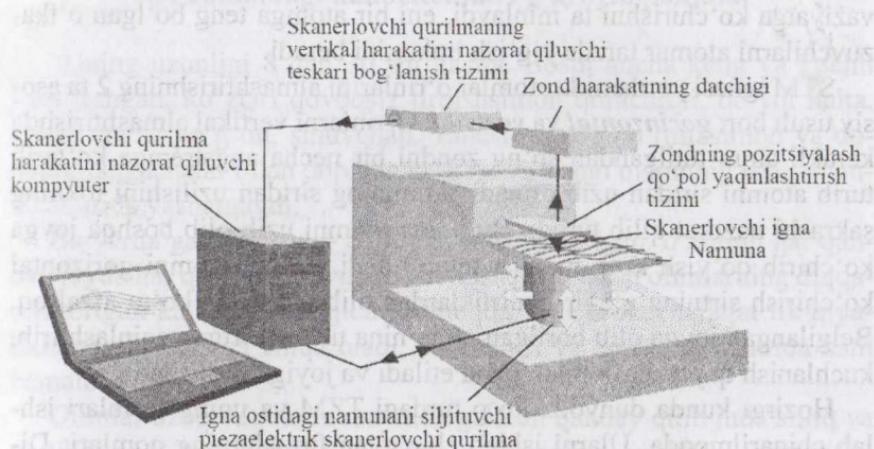


1.14-rasm. Lazer nurining boshlang'ich holatdan og'ishini qayd qilinishi.

Zondli mikroskopiyaning rivojlanishi ta'riflangan qonuniyatlar amalda zond uchining sirt bilan o'zaro ta'sirlashishining har qanday turida ham qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatib berdi. Bu esa umumiyy nomi tekshiruvchi zond mikroskoplari (TZM) deb ataluvchi mikroskoplarning kichik-kichik namunalarini ham yaratilishiga olib keldi. Bugungi kunda ularning quyidagi turlari ma'lum:

- tunnel zondlar;
- atomiy-kuch zondlar;
- yaqin maydon optik zondlar;
- magnitik-kuch zondlar;
- elektrostatik kuch zondlar va boshqalar.

TZMning boshqa ba'zi turlari bilan keyingi boblardan birida to'liqroq tanishamiz, hozircha ularning umumiyy chizmasi bilan tanishamiz.



**1.15-rasm. TZM ishlashining umumiy ta’rifi.**

Har bir tekshiruvchi zond mikroskopining maxsus xossalari bor. Ammo, ularning umumiy chizmasi u yoki bu darajada yuqorida aytilgan qonuniyatlarga yaqinligicha qolgan. TZM tarkibiga mikroskopning elektromexanik qismining ishlashini boshqaradigan zond, qayd etgan ma'lumotlarni qabul qiladigan va yozib oladigan hamda ular asosida tasvir ko'rinishini tuzadigan qismlar kiradi. Bundan tashqari, maxsus dastur izlanuvchiga olingan tasvir bilan xohlagan tarzda ishlash uchun (masshtabslashtirish, aylantirish, kesimlar qurish) sirtning ko'rini turgan rasmini tahlil qilib chiqish uchun imkon yaratadi (1.15-rasm).

Tekshiruvchi zond mikroskopiyasida qabul qilingan terminologiya ingliz tilidan kelib chiqqanligini ko'rsatuvchi izlarni qoldirgan. Masalan, ko'pincha tekshiruvchi ignaning uchini "tip" (tip), konsol – «kantilever» (cantilever) deb ataladi.

Bugungi kunda TZM nanotexnologiyalarning asosiy qurolidir. Tako-millashtirishlar natijasida ular o'rganilayotgan namunalarning nafaqat topologiyasini (geometrik xususiyatlarini), balki ko'plab boshqa xarakteristikalarini: magnitik va elektrik xossalari, qatiqligini, tarkibning bir jinsliligini va boshqalarini, nanometr o'lchamliklari darajasida anqlik bilan o'rganish imkonini beradi.

Turli parametrlarni aniqlashdan tashqari zamонави TZMlar nano-obyektlarni *manipulatsiyalash*, ayrim atomlarni tutish va ularni yangi

vaziyatga ko‘chirishni ta’minlaydi, eni bir atomga teng bo‘lgan o‘tka-zuvchilarni atomar tarzda yig‘ish imkonini beradi.

STM ignasi yordamida atomlar o‘rirlarini almashtirishning 2 ta asosiy usuli bor: **gorizontal** va **vertikal**. O‘rirlarni vertikal almashtirishda kerakli atom tutilgandan so‘ng zondni bir necha angstremga ko‘tarib turib atomni sirtdan uzib olinadi. Atomning sirtdan uzilishini tokning sakrashi nazorat qilib turadi. Bu holda atomni uzib olib boshqa joyga ko‘chirib qo‘yish ko‘p mehnat talab qiladi. Lekin, atomni gorizontal ko‘chirish sirtning g‘adir-budirliliklardan olib o‘tishdan ko‘ra afzalroq. Belgilangan joyga olib borilgan atom nina uchini sirtga yaqinlashtirib, kuchlanish qayta ulash bilan ozod etiladi va joyiga tushiriladi.

Hozirgi kunda dunyoda ko‘p turdagি TZM va uning qismlari ishlab chiqarilmoqda. Ularni ishlab chiqqagan firmalarning nomlari: Digital Instruments, Park Scientific Instruments, Omicron, Topometrix, Burleigh va boshqalardir.

#### 1.4. O‘z-o‘zini yig‘ish

Materiallar sifati yuqori bo‘lishi uchun ular atomlar va molekulalar darajasida mukammal bo‘lishlari lozim. Bunday tuzilmalarni tuzishning nanotexnologik usullaridan biri – bu o‘zi-o‘zini yig‘ishdir.

O‘z-o‘zini yig‘ish tirik tabiatda keng tarqalgan. Barcha to‘qimalarining tuzilishi ularning hujayralardan o‘z-o‘zini yig‘ishi bilan ta’riflanadi, hujayralarning o‘z tuzilishi esa ayrim molekulalarning o‘z-o‘zini yig‘ishi bilan kafolatlanadi.

Tabiatdagi nanosistemalarning o‘z-o‘zini yig‘ish mexanizmlari izlanuvchilarni uning qonuniyatlaridan sun‘iy nanostrukturalarni qu‘rish uchun “nusxa ko‘chirib” olishga undadi. Hozirgi vaqtida tabiiy suyak to‘qimasini takrorlovchi nanomateriallar tayyorlashda sezilarli muvaffaqiyatlarga erishildi. Buning uchun kollogenning tabiiy tolasi ni takrorlovchi, diametri 8 nm ga yaqin bo‘lgan tolaning o‘z-o‘zini yig‘ishidan foydalaniladi. Olingan materialga tabiiy suyak hujayralari yaxshi o‘rnashadi, bu uni suyak to‘qimasi uchun “yelim” yoki “shpat-lyovka” sifatida ishlatish imkonini beradi.

Elektrostatik o‘z-o‘zini yig‘ish ham hozirgi paytda kuchli rivojlangan. U material tuzilishini odatiy sharoitlarda o‘zgartirish imkoniyatini beradi. Buning uchun ichida nanozarrachalar bo‘lgan materialga qo‘yilgan potensiallar farqini boshqarish asos bo‘lib xizmat qiladi.

## 1.5. Tabiatdagi nanoeffektlar: g‘aroyib panjalar

“Uning uzunligi 8 dan 30 sm gacha. Boshi ancha keng va kuchli yassilashgan, ko‘zлari qovoqsiz tirqishsimon qorachiqli, bo‘yni kalta, tanasi ancha yo‘g‘on, sinuvchan. Tanasi mayda bo‘rtmasimon va donador tangachalar bilan qoplangan. Eski va Yangi olamning issiq mam-lakatlarida yashamaydi.”.

Bu yerda gap gekkon – chiroyli, xavfsiz bo‘lgan, o‘zining har qanday joyda har qanaqasiga yura olish xususiyati bilan olimlarning diqqatini tortgan kaltakesak haqida bormoqda. Gekkonlar nafaqat tik qiyaliklarga, devorlarga chiqa oladi, balki shift va deraza oynalarida ham bemalol yura oladi.

Olimlar uzoq vaqtlar mobaynida gekkon qanday qilib juda silliq va vertikal oyna bo‘ylab, yiqilmasdan va sirpanmay yurishini, harakatla-na olishini tushuna olmas edilar. Bunday tabiiy mavjudotni tushunish uchun ko‘plab urinishlar bo‘ldi.

Avvaliga, gap hayvon panjalaridagi noyob so‘rg‘ichlarda deb taxmin qilingan. Ammo, aniqlanishicha, gekkon panjalarida hech qanday so‘rg‘ichga o‘xshagan narsalar yo‘q ekan. Gekkon oyna bo‘ylab shil-liquqtga o‘xshab har qanday predmetda ham ushlanib turishiga yordam beradigan yopishqoq suyuqlik yordamida harakatlanadi degan taxmin ham o‘zini oqlamadi. Bunday suyuqlikdan oynada iz qolishi kerak edi, undan tashqari gekkon panjalarida bunday suyuqlik chiqarib bera oladigan hech qanday bezlar ham topilmadi.

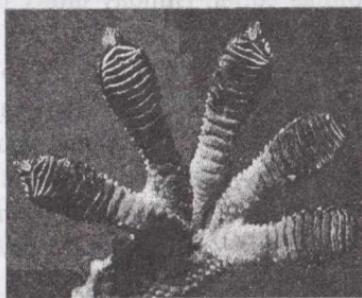
Bu holatga topilgan javob butun ommani hayratga soldi: gekkon harakatlanayotganda molekulyar fizika qonunlaridan foydalanar ekan. Olimlar gekkon panjasini mikroskop ostida diqqat bilan o‘rganib chiqdilar. Aniqlanishicha, uning panjalari juda ham mayda tukchalar bilan qoplangan ekan, bu tukchalarning diametri inson sochining diametridan ham 10 marta maydarоq ekan. Har bir tukchaning uchida sanitmetrning 200 milliondan bir bo‘lagichalik bo‘lgan minglab juda mayda yostiqchalar mavjud ekan. Bu yostiqchalar past tomonidan to‘qima barglari bilan to‘silgan va ancha kattalashatirilgan, har bir bargcha yuz minglab ingichka tukchasimon qilchalar, yuzlab ko‘raksimon uchlarga bo‘lingan, ularning har birining diametri 200 nm xolos ekan!

Yuz millionlab bunday tukchalar sirdagi har qanday mayda tekis bo‘lmagan joylarga yopishib olish imkonini beradi. Ko‘zimizga har qancha sillik ko‘ringan oynalar ham gekkonlarga unga yopishib olish

imkonini berar ekan. Aniqlanishicha, bu yerda Van-der-Vaals kuchlari, boshqacha aytganda molekulalararo ta'sir kuchlari ishlar ekan. Van-der-Vaals nazariyasi kvant mexanikasiga asoslangan. Materiallar molekulalari juda qisqa masofalarda itarishadi, kattaroq masofalarda esa tortishadi (AKM ishlashi shu prinsipga asoslangan).

Gekkon panjasini sirtga qo'yganda, nanoqilchalar uchidagi ko'rak-chalar unga shunday zich o'tiradiki, xuddi panjalar vertikal devorga yoki shiftga yopishib qolganday bo'ladi. Gekkon bo'g'inlarini kuchlantirsa va panjasini tortsa – Van-der-Vaals kuchlari yo'q bo'ladi va u sirtdan yengilgina ajralib oladi.

Van-der-Vaals kuchlari juda kichik, ammo gekkon panjalaridagi tukchalaryning joylashishi ancha katta ta'sir maydonni qamrab olib kaltakesakka shiftda o'zining besh barmoqli panjasining faqat bir barmog'i yoki dumi uchi bilan ushlanib turish imkonini beradi (1.16-rasm).



1.16-rasm. Gekkon panjasining yaqinlashtirilgan surʼati.

Bularning barchasi olimlarning o'zлари yaratgan ixtirodan foydalanishga turki bo'ldi. Robot kompaniyasining xodimlari akvarium devorlari bo'yab vertikal ravishda harakatlana oladigan robotni qurishdi. Keyinchalik robotni sun'iy tuklar bilan ta'minlash va yopishtirib turadigan kuchni oshirish rejalshtirilgan. Iloji bo'lsa robotga gekkon dumi ulansa, u uchli toshlar ustida ham yugura oladi.

Kaltakesaksimon robotlarni tayyorlash uchun olib borilayotgan tajribalar muvaffaqiyatli chiqsa, buni turli sohalarda – baland imoratlar oynasini yuvishdan to uzoq sayyoralarning tik yo'llari bo'yab sayyohatga chiqishgacha qo'llanishi mumkin.

Bu qonuniyatni yopishqoq tasma, skotchga o'xshash materiallarini tayyorlashda asos qilib olish mumkin, undan qayta-qayta va hatto

vakuumda ham foydalanish mumkin (odatiy skotch fazoda ishlamaydi). “Quruq yelim”lar deb ataluvchi, xarakteristikalari diapazoni keng bo’lgan, elektrostatikaga asoslangan kuchli yopishqoqlikni ta’minlovchi yangi materiallar avlodini yaratish ustida ishlar olib borilmoqda.

Insonni vertikal devorda mahkam ushlab turuvchi oyoq kiyim va qo’lqoplar tayyorlash mumkin. Ular nafaqat alpinistlar va cho’qqilarda ishlar olib boradigan montajchilar hayotini, balki boshqa odamlarning ham hayotini yengillashtirgan bo’lar edilar.

## 1.6. Fullerenlar va uglerodli nanonaychalar

Demokrit o’zining Koinotning atomistik qarashida dunyo ko’plab “g’ishtchalar”dan – o’ziga xos xususiyatlari kimyoviy element va uning birikmalaridan iborat ekanligiga e’tibor qaratgan. “Olamni tashkillagan g’ishtchalari”ning xususiyatlari bir xil bo’lmaganidek, ularning tarixi ham bir xil emas. Bir xil elementlar: mis, temir, oltingugurt, karbon kabilar qadimdan ma’lum. Boshqalaridan, ular hali kashf qilinmasidan turib asrlar davomida topilmasdan turib ham, inson foydalangan (masalan, kislород faqat XVIII asrdagina ochilgan). Uchinchilari esa 100–200 yil oldin ochilgan, ammo hozirga kelib birinchi darajali ahamiyatga ega bo’lib qolishdi. Ularga uran, aluminiy, bor, litiy, berilliy va boshqalar kiradi.

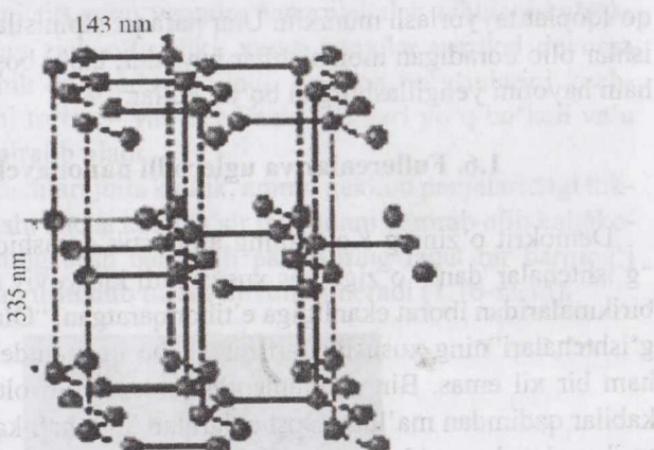
To’rtinchilarining esa biografiyasini endi boshlanmoqda...

1985-yilda Robert Kerl, Garold Kroto va Richard Smollilar kutilmaganda tubdan yangi uglerodli birikma – *fullerenni* ochdilar. Fuller-enlarning noyob xossalari ularga juda katta qiziqishni keltirib chiqardi. 1996-yilda ularga Nobel mukofoti topshirildi.

Fulleren molekulasi asosi ugleroddir – bu noyob kimyoviy element ko’pchilik elementlar bilan birikib turli tarkib va qurilishga ega molekulalar hosil qilish xossalari ega. Maktab kimyo kursidan bizga ma’lumki, uglerod 2 ta asosiy allotrop holatga ega: grafit va olmos. Fulleren ochilishi bilan uglerod yana bir allotrop holatga ega bo’ldi deyishimiz mumkin. Biz ana shu grafit, olmos va fulleren molekulalari tuzilmalarini ko’rib chiqaylik.

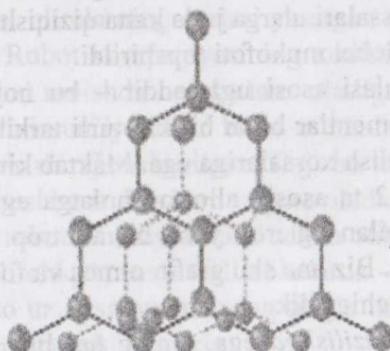
**Grafit qatlamlı tuzilishga ega.** Uning har bir qatlami to’g’ri olti burchaklardagi bir-biriga kovalent ravishda bog’langan uglerod atomlaridan iborat.

Qo'shni qatlamlar kuchsiz Van-der-Vaals kuchlari bilan bir-biriga bog'lanib turadi. Bunga misol qilib oddiy qalamni ko'rsatishimiz mumkin – siz grafitli sterjenni qog'oz ustida yurgiszangiz, qatlamlar asta-sekin bir biridan ajraladi va qog'ozda iz qoldirishadi (1.17-rasm).



1.17-rasm. Grafitning tuzilishi.

**Olmos** uch o'lchamli tetraedrik tuzilishiga ega. Uglerodning har bir atomi qolgan to'rttasi bilan kovalent ravishda bog'langan. Barcha atomlar kristall panjarada bir- biridan bir xil masofada (154 nm) joylashgan. Ular har biri boshqalari bilan to'g'ri kovalent bog'langan va kristallda bitta yirik makromolekula hosil qiladi (1.18-rasm).



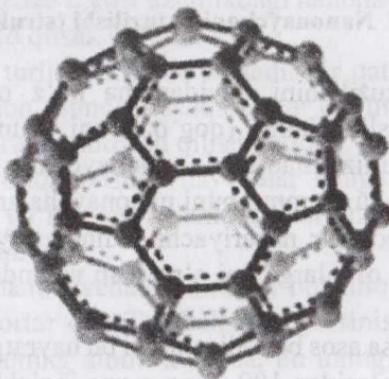
1.18-rasm. Olmosning tuzilishi.

C-C kovalent bog'lanishlarning yuqori energiyasi hisobiga olmos juda mustahkam va nafaqat qimmatbaho tosh, balki metall kesuvchi va silliqlovchi uskunalar tayyorlash uchun ham xomashyo sifatida ishlatildi.

**Fullerenlar** o'z nomlanishini arxitektor Bakminster Fuller sha'ninga olishgan, u bunday strukturalarni arxitekturada foydalanish uchun yaratgan (shuning uchun ularning yana bakibolalar deb ham atashadi). Fulleren futbol to'piga juda o'xshovchi, 5–6 burchak shaklli "yamoqlar" dan tuzilgan *karkas tuzilishi*ga ega. Bu ko'pyoqlar uchida uglerod atomlari joylashgan deb tasavvur qilsak, unda biz eng barqaror bo'lgan C<sub>60</sub> fullerenini olamiz.

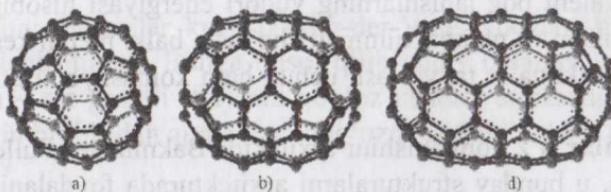
Eng taniqli hamda fullerenlar oilasining eng simmetrik bo'lgan vakili C<sub>60</sub> molekulasiida oltiburchaklilarning soni 20 ga teng. Bunda har bir beshburchak faqat oltiburchakli bilan chegaralashgan, har bir oltiburchak oltiburchaklilar bilan 3 ta umumiyligi tomonga va 3 ta beshburchaklar bilan umumiy tomonga ega (1.19-rasm).

Fulleren molekulasi tuzilishining qizig'i shundaki, bunday uglerod "to'pi"ning ichida bo'shilq ho'sil bo'ladi, unga kapillar xususiyatlari hisobiga boshqa materiallarning atom va molekulalarini kiritish mumkin, bu esa ularga, masalan, ularning xavfsiz ko'chirish imkonini beradi.



1.19-rasm. Fullerenning tuzilishi.

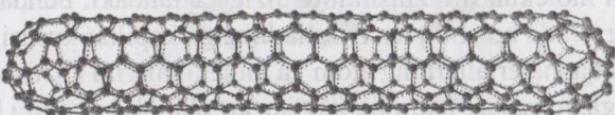
Fullerenlarni o'rganish davomida uning tarkibida uglerod atomlari soni turli – 36 tadan 540 tagacha bo'lgan molekulalari sintez qilindi va o'rganildi (1.20-rasm).



1.20-rasm. Fullerenerlar vakillari a)  $C_{60}$  d)  $C_{70}$  d)  $C_{90}$ .

Ammo uglerodli karkas tuzilmalar xilma-xilligi bu bilan tugamaydi. 1991-yilla yaponiyalik professor Sumio Iidzima uzun uglerodli silindrлarni aniqladi va ularni nanonaychalar deb nomladi.

**Nanonaycha** – bu milliondan ortiq uglerod atomlaridan iborat molekula bo‘lib u diametri 1 nanometrga yaqin va uzunligi bir necha o‘n mikron bo‘lgan naycha ko‘rinishidadir. Naycha devorlarida uglerod atomlari to‘g‘ri oltiburchaklarning uchida joylashgan (1.21-rasm).



1.21-rasm. Nanonaychaning tuzilishi (strukturasi).

Nanonaychalar tuzilishini quyidagicha ko‘z oldimizga keltirish mumkin: grafit tekislik olamiz (qog‘oz), uni uzun qilib kesamiz va silindrga “yopishtiramiz” (haqiqatda nanonaychalar boshqacha o‘sadi). Bu juda oddiy ekan-ku – ammo buni nanonaychalar tajribalar natijasida yaratilguncha hech bir nazariyachi oldindan aytib bera olmagan. Shuning uchun ham olimlarga uni o‘rganish va undan hayratlanishdan boshqasi qolmadi.

Hayratlanishga esa asos bor edi, chunki bu hayratga solgan nanonaychalar odam sochi tolasidan 100 ming marta ingichka bo‘lishiga qaramasdan juda ham mustahkam material bo‘lib chiqdi. Nanonaychalar po‘latdan 50–100 marta mustahkamroq va 6 marta kichik zichlikka ega. Yung moduli – materialning deformatsiyaga qarshilik darajasi – bu nanonaychalarda oddiy uglerod tolalariga nisbatan ikki barobar yuqori. Naychalar nafaqat mustahkam, balki o‘ta qattiq mustahkam rezina

naychalarga o‘xshaydi. Mexanik kuchlanishlar ta’sirida nanonaychalar o‘zini boshqacha, antiqa tutadi: ular “uzilmaydi”, “sinmaydi”, oddiygina tarzda joylarini almashtirib olishadi. Nanonaychalarining bunday o‘ziga xos xususiyatlaridan sun’iy muskullar yaratishda foydalanish mumkin, ular bir xil hajmda biologik muskullardan 10 barobar kuchliroq bo‘lishi mumkin, yuqori temperaturadan, vakuum va ko‘plab kimyoviy reagentlardan qo‘rqishmaydi.

Nanonaychalaridan o‘ta yengil va o‘ta mustahkam kompozitsion materiallar yaratish mumkin, ulardan esa harakatni qiyinlashtirmaydigan o‘t o‘chiruvchilar va fazogirlar uchun kiyimlar tikish mumkin, Yerdan Oygacha bo‘lgan bitta naychali nanokabelni ko‘knor urug‘i o‘lchamidagi g‘altakka o‘rash mumkin. Nanonaychalaridan tashkil topgan diametri 1 mmli uncha katta bo‘limgan ip, o‘zining massasidan yuz milliardlab katta bo‘lgan 20 t yukni ko‘tara olgan bo‘lar edi.

To‘g‘ri, hozir nanonaychalarining maksimal uzunligi o‘n va yuzlab mikron – atomlar mashtabidan juda katta, shunday bo‘lsa ham ular doimiy foydalanish uchun juda kichiklik qiladi. Lekin olinayotgan nanonaychalarining uzunligi asta-sekin oshib bormoqda – hozir olimlar santimetrli chegaraga yaqin kelishdi. 4 mm uzunlikka ega bo‘lgan ko‘p qatlamli nanonaychalar olindi. Shuning uchun ham olimlar yaqin kelajakda metr v yuzlab metrli uzunlikdagi nanonaychalarini o‘stirishga erishadilar deb umid qilsak bo‘ladi.

Nanonaychalar turli shakllarda bo‘ladi: bir qatlamli, ko‘pqatlamli, to‘g‘ri va spiralsimon. Bundan tashqari, ular kutilmagan elektrik, magnitik, optik xossalari namoyish qilishmoqda.

Maqsadga muvofiq ravishda naychalar ichiga boshqa materiallar atomlarini kiritish yo‘li bilan nanonaychalarining elektron xossalari o‘zgartirish mumkin.

Fullerenlar va nanonaychalar ichidagi bo‘sliqlar anchadan buyon olimlar diqqatini tortar edi. Tajribalardan ko‘rinishcha, fulleren ichiga qaysidir materialning atomi kiritilsa, bu uning elektrik xossalari o‘zgartirib yuborishi va hattoki izolatori o‘ta o‘tkazgichga aylantirib yuborishi mumkin ekan.

Shunday yo‘l bilan nanonaychalar xossalari ham o‘zgartirish mumkinmi? Olimlar nanonaychalar ichiga avvalo gadoliniy atomlari kiritilgan fullerenlar zanjirini joylashga erishdilar. Bunday g‘aroyib strukturaning elektrik xossalari oddiy, bo‘sliqli nanonaychalar ham-

da ichida bo'sh fullerenli nanonaychalar xossalaridan kuchli ravishda ajralib turadi. Bunday birikmalar uchun maxsus kimyoviy belgilar ishlangan. Yuqorida ta'riflangan struktura quyidagicha belgilanadi: Gd@C<sub>60</sub>@SWNT, bu Gd ichida C<sub>60</sub> ichida SWNT bir qatlamlili nanonaycha.

Ulardan (nanonaychalardan) foydalanish doirasi juda keng. Nanonaychalardan, masalan, mikroasboblar uchun simlar tayyorlash mumkin. Ularning g'aroyibligi, tok ular bo'ylab umuman issiqlik ajratmasdan va juda yuqori qiymatga – 10<sup>7</sup> A/sm<sup>2</sup> ga yetadi. Oddiy o'tkazgich bunday toklarda darrov bug'lanib ketgan bo'lar edi.

Nanonaychalarni kompyuter industriyasida qo'llash uchun bir nechta ishlanmalar ham ishlab chiqilgan. 2006-yilda nanonaychali matritsalarda ishlovchi yassi ekranli emission monitorlar paydo bo'ldi. Nanonaychalarning bir uchiga o'rnatiladigan kuchlanish ta'sirida boshqa uchi elektronlar taratishni (chiqarishni) boshlaydi, ular fosforensiyalanadigan ekranga tushadi va piksel yorug'lanishini keltirib chiqradi. Bunday hosil bo'ladigan tasvir nuqtasi juda ham kichik: mikronlar tartibida bo'ladi.

Yana bir misol – nanonaychadan tekshiruvchi mikroskop ignasi sifatida foydalaniladi. Odatda, bunday igna juda o'tkirlashgan volframlli igna ko'rinishida bo'ladi, ammo atomlar o'lchovida bunday ignalar juda qo'pol bo'lib qolaveradi. Nanonaycha esa diametri bir necha atomlar tartibidagi eng yaxshi igna ko'rinishida bo'ladi.

Nanonaychalarning g'aroyib elektrik xossalari ularni nanoelektronikaning asosiy materiallaridan biri qilib qo'yadi. Ular asosida kompyuterlar uchun yangi elementlar tayyorlandi. Bu elementlar uskunalar o'lchamlarini kreminiylis asboblarga nisbatan bir necha tartibga kichravishni ta'minlaydi.

Nanoelektronikada nanonaychalarni qo'llashning yana bir yo'naliishi – yarimo'tkazgichli getereotuzilmalar, ya'ni "metall yarimo'tkazgich" tipidagi tuzilmalarni hosil qilishdir.

Endi bunday qurilmalarni tayyorlash uchun ikkita materialni alohida-alohida o'stirish va so'ngra ularni bir biri bilan "payvandlash" shart emas. Nanonaychaning o'sish jarayonida unda tuzilish nuqsoni (uglerodli oltiburchakning birini beshburchakli bilan admashtririb qo'yish) hosil qilish, ya'ni uni o'rtasidan maxsus ravishda sindirib qo'yish yo'li bilan hosil qilish mumkin. Shunda nanonaychaning bir qismi metall xossalariiga, boshqasi esa yarimo'tkazgich xossalariiga ega bo'ladi.

Nanonaychalar ichki bo'shlqlarida gazlarni xavfsiz ravishda saqlash uchun yaxshi materiallardir. Bu birinchi navbatda vodorodga taalluqlidir. Undan avtomobillar uchun yoqilg'i sifatida foydalanish mumkin edi. Devorlari qalin, og'ir va xavfsiz deb bo'lmaydigan ballonlari muammosini hal etilsa vodorodning eng katta yutug'i –uning massa birligiga (avtomobil 500 km harakatlanishi uchun hammasi bo'lib 3 kg H<sub>2</sub> yetarli bo'ladi) ajratiladigan katta miqdordagi energiya sarf qilishidir.

Sayyoramizdagi neft zaxiralari bir kun kelib tugashini hisobga ol-sak, vodorod ko'plab muammolarning effektiv ravishda yechilishiga yordam bergen bo'lar edi. Yaqin kelajakda avtomobillarni benzin bilan emas, balki vodorodli yoqilg'i bilan ta'minlash mumkin bo'ladi desak yolg'on bo'lmasa kerak.

Nanonaychalarga nafaqat atom va molekulalarni alohida "qamash", balki materialning o'zini butunlay "qo'yish" mumkin. Tajribalarda aniqlanishicha ochiq nanonaycha kapillar, ya'ni materialni o'ziga tortishish xususiyatiga ega ekan. Shunday qilib nanonaychalar dan: oqsil, zaharli gazlar, yoqilg'i komponentlari va eritilgan metallar kabi kimyoviy va biologik faol materiallarni tashish va saqlash uchun mikroskopik kontenerlar sifatida foydalanish mumkin.

Atom va molekulalar nanonaycha ichiga tushgandan so'ng nanonaychalar bir uchidan ochiladi va ichidagi materiallarni qat'iy belgilangan dozalarda chiqarib beradi. Bu hayol emas, bu turdag'i tajribalar ko'plab laboratoriyalarda o'tkazilmoqda, nanonaychalar uchlarini "payvandlash" va uni "ochish" operatsiyalari zamonaviy texnologiyalar uchun muammo tug'dirmaydi. Bir tomoni yopiq nanonaycha hozir yaratilgan.

10–15 yildan so'ng bu texnologiya asosida kasalliklarni davolash o'tkazilishi mumkin: aytaylik, bemor qoniga oldindan tayyorlab qo'yilgan juda faol fermentli nanonaychalar kiritiladi, bu nanonaychalar organizmning ma'lum bir joyida qandaydir mikroskopik mexanizmlar tarzida to'planishadi va ma'lum vaqtida "ochilishadi". Zamonaviy texnologiya 3–5 yildan so'ng bunday sxemalarni amalga oshirishga amalda tayyor. Asosiy muammo bunday mexanizmlarni "ochish" va nishon hujayralarni izlash uchun oqsil markerlariga integratsiyalashning effektiv uslublarining yo'qligidir.

Viruslar va nanokapsulalarga asoslangan dorilarni yetkazishning bundan ham samaraliroq usullarini ham yaratish mumkin. Nanonay-

chalar asosida ayrim atomlarni yuqori tezlikda aniq tarzda tashib beruvchi konveyerlar ham yaratilgan.

## 1.7. Ko'z yumib bo'lmaydigan xatarlar

Hozir yuzaga kelayotgan muammo va xatarlarga sanoatda vujudga kelgan inqiloblar sabab desak hech kim inkor qilmasa kerak. Bekorga ko'plab yirik zamonaviy olimlar keljakning nafaqat ijobiy, balki salbiy tomonlarini ham ko'rib chiqishni taklif qilishayotgani yo'q. Bill Djoy, Kaliforniya shtati, Polo Alto, Sun Microsystems asoschisi va yetakchi olimining aytishicha, nanotexnologiyalar va boshqa sohalarda olib borilayotgan izlanishlar insoniyatga zarari yetgunga qadar to'xtatilishi lozim. Uning fikrini yana bir guruh nanotexnologlap»Foresight Guidelines»-»Inctityt boshqaruvchilar» qo'llab quvvatladilar. Ular ham Djoy kabi nanotexnologiyalarning ortib borishi va rivojlanishi nazoratdan chiqib borayotganini ta'kidlamoqdalar. Bu sohadagi izlanishlar oddiy ta'qilash bilan chegaralanib qolmasdan, balki davlat nazorati o'rnatilishini taklif qildilar. Ularning aytishicha, bunday rivojlanish kutilmagan falokatlarni keltirib chiqarishi mumkin. Nanotexnologiya xavfi paydo bo'lishi 1986-yili Dreksler tomonidan yaratilgan «Yaratuvchi mashina» ya'ni «Kulrang so'lak muammosi» nomini olgan qurilmasi bilan bog'liq edi. Kulrang so'lakning xavfli tomoni shunda ediki, u nanometrli assemblarlarni ishdan chiqarib, boshqaruv tizimini buzadi. Bu texnologiyada o'z-o'zini boshqarish va ko'payish xususiyati mavjud bo'lib, u yo'lida uchragan narsalardan xomashyo sifatida foydalananadi.

O'tkazilgan tajriba shuni ko'rsatadiki, assembler har qancha ishonchli qilib yaratilmasin, undagi xatoliklar va o'z-o'zini boshqarishga intilish baribir kuzatilaveradi. Lekin yoddan chiqarmaslik kerakki, assemblerda dasturlash terroristlar yoki bezorilar, hattoki zamonaviy kompyuter viruslarini ishlab chiqaruvchilar tomonidan ham yaratilishi mumkin.

Djoy o'zining qo'lyozmalarida, mikromashinalarning ishlab chiqarilishi va ular jamiyatda o'z o'mini topib ulgurgani haqida to'xtaladi. «Hajmi molekuladek bo'lган elektron ko'rinishdagi assemblerlar hozir amalda qo'llanilinmoqda»-deydi Djoy. Keyinchalik esa u o'z-o'zini tiklash biologik jihatdan emas, balki texnologik jihatdan bajarilinayotganini aniqladi. «Mana nima uchun nanotexnologiyalar xavf tug'dirmoqda», - deydi Djoy. Boshqa olimlar guruhi «kulrang

so‘lak» mexanizmi xavf tug‘dirmasligini ta’kidlamoqdalar. «Bularning barchasiga barmoq ostidan qaralmoqda», - deydi Blok. Muhandislarning izlanishlarini cheklab qo‘yilsa, rivojlanishdan ortda qolib ketish va o‘z-o‘zini tiklash xususiyatlariga ega mashinalar yaratilmay qolishi mumkin. Biologik tizimga kelsak, birinchidan, ular nanometr hajmida emas, ikkinchidan, o‘z tuzilmasida fantastik ravishda murakkab hisoblanadi, bundan tashqari, bu tizimda axborotlar genda saqlanadi va avloddan avlodga o‘tadi.

“Hattoki tabiat ham o‘z-o‘zini tiklash xususiyatiga ega bo‘lgan nanometrik tuzilishiga qodir tizimi yaratmagan” - deydi Viola Vagen, Sietl shtati Washington Universiteti nanotexnologiya mutaxasisi. Nanotexnologiyalar yutuqlaridan yovuz maqsadlarda foydalanuvchi muhitlar ham mavjud. Nanotexnologiyalar rivojlanishiga bag‘ishlangan yig‘ilishda quyidagi savollar vujudga keldi:

- O‘qitish tizimi nanotexnologiya bo‘yicha mutaxassislarni tayyorlay oladimi ?
- Nanotexnologiyalarning rivojlanishi natijasida ko‘plab insonlar ishsiz qolishi mumkinmi ?
- Nanotexnologiyalarning ortib borishi, narxining pasayishi va oson topilishi natijasida terroristlar xavfli mikroorganizmlarni yaratishlari mumkinmi ?
- Nanotexnologiyalarning xaddan ziyod ko‘payishi va tarqalishi bora-bora insonlarda xohlamaslik hissini keltirib chiqarmasmikan ?
- Nanotexnologiyalarni inson tanasiga o‘rnatish va ommalashtirish vaqt kelib jiddiy kasalliklarni keltirib chiqarmasmikan ? Shu va shunga o‘xshagan savollar hozir ishlab chiqaruvchilarni o‘ylantirib qo‘ymoqda. Ushbu arzon nanotexnologiyalar poygasida olimlar ularning barcha insoniyat salomatligiga ta’siri va paydo bo‘layotgan xavflarga javobgarlikni o‘z zimmasiga olishlari shart. Yuqoridagi sabablarga, asosan, texnologiyalarning yangi nanorivojlanishni yangi usul va uslublarda olib borish kerak bo‘ladi.

## 1.8. Nanotexnologiyalar va ilm

O‘tgan XX asrni rivojlanish asri deb oladigan bo‘lsak, oliy o‘quv yurtlarida 5-yillik umrini sarf etib ta’lim olayotgan barcha yoshlar 5–10 yil o‘tib zamонави texnologiyalar tizimida hech kimga keraksiz shaxs bo‘lib qolmasmakin ?

«Qanday bo'lishi kerak?»—deb sizda savol tug'iladi. Nahotki, mehnat bozorida hozirgi o'qitish tizimi arzimas, arzon bo'lib qolsa? Albatta, yo'q, lekin ta'limda birligina tor yo'nalishga ega bo'lish bilan chegaralanib qolib bo'lmaydi. Demak, nanotexnologiyalar nafaqat alohida bilimlarga emas, balki bu keng qamrovli va keng tarmoqli soha ekanligini siz tushundingiz. Uning yutuqlari barcha insonlar hayot faoliyatlariga aloqadordir. Shuning uchun ham kelajakda zamonaviy texnologiyalarni yaxshi o'zlashtirgan insonlar birinchi darajaga qo'yiladi. Bu vaziyatdan kelib chiqqan holda ushbu maqom barcha oliy o'quv yurtlariga kiritilishi zarur.

Afsuski, zamonaviy texnologiyalarni faqatgina tadqiqot yo'li bilangina o'rganish mumkin xolos, hozircha boshqa usul yo'q. Bundan ko'rinish turibdiki, jamiyatda texnologiyalar rivojlanib borgani sayin unda yashayotgan insonlar ham o'zgarib borishlari shart. Rivojlanishda bir tekis borayotgan insonni topish mushkul, misol uchun, dasturlashda kuchli bo'lgan dasturchi boshqa sohalarda—biologiya yoki shunga o'xshash sohalarda - kuchsiz hisoblanadi.

Sababi nanotexnologiyalar bilan boshqa sohalarning aloqadorligi haqida so'z borganda kelajakda hattoki maktab darsliklari ham nanotexnologiyalar asosida o'qitilishiga hech shubha yo'q.

Ayniqsa nanotexnologiyalar sohasining fizika, kimyo va biologiya sohalari bilan bog'liqligi kelajakda yana ham uzviy bo'ladi. Lekin, shuni aytish kerak-ki, axborot texnologiyalari sohasining rivojlanishisiz barcha sohalar uchun zarur bo'lgan assembler va nanoelektronikalar rivojlanishini ham tasavvur qilib bo'lmaydi.

Ekologlar ham kelajakda ishsiz qolmaydi albatta. Nanotexnologiyalar natijasida atrof-muhit ifloslanishlarini aniq hisoblash va ekologik zararlarga qarshi kurashish ularning asosiy vazifasiga aylanadi.

Koinotdag'i to'fonlar esa nanotexnologiyalarni yangidan yangi materiallar bilan ta'minlaydi. Tarixchi olimlar esa endi nanotexnologiyalar tarixi haqida kitoblar yoza boshlaydilar. Hayot – faoliyat xavfsizligi esa kelajakda izlanishlar uchun asosiy yo'nalish bo'lib qoladi.

Psixolog va siyosatshunoslar esa yangi chiqayotgan nanotexnologiyalar jamiyatda vujudga keltirishi mumkin bo'lgan to'ntarilishlar oldini olish bilan shug'ullanadilar. Musiqa, rassomlik san'ati, adabiyot, balet va boshqa san'at turlariga umuman hech kimda qiziqish qolmaydi. Bu shuni anglatadiki, insonlardagi barcha ko'ngilochar, hordiq chiqarish ehtiyojlari faqatgina nanotexnologiyalar asosida qondiriladi.

Lekin, shuni unutmaslik kerak-ki, san'atsiz insoniyat butunlay hissiz va tuyg'ularsiz bo'lib qoladi. Aytinchchi, bunday kelajak sizga yoqadimi? Shu va shu yo'sindagi savollar anti nanotexnologlarni o'yantirgan bo'lsa ne ajab!

Aytgancha, 2001-yil yapon olimlari lazer standartlaridan foydalangan holda dunyodagi eng kichik skulpturani yaratdilar. U hujumga tayyorlanayotgan jahldor ho'kizni akslantiradi. «Mikroho'kiz» uzunligi 10 mkm va balandligi 7 mkm ga teng hajmli, bu insonning bir qon hujayrasiga teng. Nega endi biz bu ho'kizchani nanosan'atga kiritmasligimiz kerak.

### **1.9. Rossiya va boshqa davlatlardagi nanotexnologiyalar savdosi**

2000-yildan aralash nanoelektronika davri boshlandi deb hisoblanadi. Hozirgi davrda esa yuzlab ko'rgazmalar aynan shu mavzuda o'tkazilib kelinmoqda. Minglab internet saytlari esa shu mavzuni ko'tarib chiqishmoqda. Bu esa o'z navbatida nanotexnologiyalarni ishlab chiqarishga bo'lган qiziqishni orttirmoqda. Nanoelektronikadan tashqari nanotexnologik mikro- va nanorobototexnologiya sohalari rivojlanishi natijasida hozirgi hayot faoliyatida qo'llanilayotgan texnologiyalardan million barobar tezkor ishlovchi texnologiyalar ishlab chiqarilmoqda.

Strategik jihatdan bu o'sish jahoning ko'plab mamlakatlarida turli ishlab chiqarish darajalarini hosil qilmoqda. Qaysi ishlab chiqarish korxonasi nanotexnologiyalardan keng va samarali foydalana olsa, o'sha korxona boshqalaridan ilgarilab ketmoqda.

Yaponiyada nanotexnologiya bo'yicha ishlovchi «OGOTA» deb nomlanuvchi robot davlat mukofotini oldi. Bu loyiha nafaqat davlat, balki 60 dan ziyod shaxsiy tashkilotlar homiylik qiladilar. Bu loyiha dan tashqari, Yaponiyada yuzlab turli sohalardagi nanotexnologiyalariga homiylik qilinadi. Eng katta loyihalar «ATOM CRAFT PROJECT» va «AONO PROJECT» lardir. Diqqat qiling, bu loyihalarning qo'llab quvvatlanishi bejiz emas, atigi 10 yil oldin bu sohadagi izlanishlar uchun mamlakatda oltin medallar ta'sis etilgan edi. Asosiy izlanishlar «Sukuba» ilmiy izlanish majmuasida o'tkazilgan.

Yevropada esa nanotexnologik izlanish va ishlab chiqarish uchun 40 dan ziyod laboratoriylar faoliyat ko'rsatmoqdalar (BMT ning nanotexnologiyalar bo'yicha ishlab chiqqan dasturiga muvofiq).

Bundan tashqari, Gollandiya va Fransiyada esa nanotexnologik robotlarni ishlab chiqarish bo'yicha davlat dasturlari mavjud.

AQSH da esa, Yaponiyadan farqli o'laroq, nanotexnologik robotlar moddiy bazani mustahkamlash uchun ishlab chiqarilmoqda. 2000-yildan boshlab esa AQSH da nanotexnologik robotlar o'z mavqeini mustahkamlab bormoqdalar. Natijada ishlab chiqarishning 12 ta sohasida, qolaversa harbiy sohalarda ham nanotexnologik robotlarni qo'llash bo'yicha prezident farmoni e'lon qilindi.

Arifmetik hisoblashlarning nanotexnologiyalarda olib borilishi natijasida foydalanib kelinayotgan protsessorlardan bir necha million barobar tezroq ishlaydigan protsessor Pentium yaratilgan. Bundan tashqari, nanotexnologiyalar bilan ish yurituvchi firmalarning ishi bir necha barobar qimmatlashdi. Misol uchun Intel firmasining o'zi o'tgan yili nanotexnologiyalar sohasi uchun 1 mld. dollar sarflagan.

2005-yildan boshlab 50 dan ortiq davlatlar nanotexnologiyalarni ishlab chiqarish bo'yicha nanotexnologiya korxonalarini moddiy jihatdan ta'minlaganlar.

Rossiyada esa bu sohadagi izlanishlar uchun bir necha ishchi dasturlar ishlab chiqilgan. Bularidan eng yiriklari J.I. Alferov boshchilik qiluvchi «Fizik nanotizimlar» va akademik K.A. Valiev boshchilik qiluvchi «Texnologiyalarni mikro- va nanoelektronlashtirish» loyihibaridir.

So'nggi axborotlarga qaraganda, Rus nanotexnologiyalari haqida quyidagilarni aytish mumkin:

Nanotexnologiyalar sohasida qo'lga kiritilayotgan yutuqlar salmog'i anchaginani tashkil etadi. Mikromexanika va mikroelektronika sohalari rivojlanishi natijasida atom mikroskoplari, texnologik va o'rnatish qurimalari ishlab chiqilgan.

## **1-bobning asosiy xulosalari**

- Mur qonuniga asosan, har 18 oyda kompyuterlar tezkorligi 2 marta oshib boradi. Bu an'ana kelajakda davom etishi uchun tranzistorlar o'lchami nanometrlargacha kichrayishi zarur.

- nanotexnologiya – bu modda bilan atomar va molekulyar darajada manipulyatsialovchi, oldindan berilgan tuzilishga ega bo'lgan mahsulotlar ishlab chiqaruvchi texnologiyadir;

- nanotexnologiyalar rivojlanib ketishiga Richard Feynmanning "U yoqda, pastda juda ko'p joy bor" nomli mashxur ma'ruzasi katta turtki berdi. Unda Feynman fizik nuqtayi nazardan, narsalarni atomma-atom yig'ib hosil qilish uchun hech qanday to'siq yo'qligini ilmiy isbotlab berdi;

- Erik Dreksler atomlar bilan samarali manipulatsiyalovchi assembler tushunchasi kiritdi. Assembler – bu o'z - o'zi nusxasini yarata oluvchi (replikatsiyalananuvchi), ixtiyoriy molekulyar tuzilmani hosil qiluvchi molekulyar nanomashinalardir. Assembler tirik va notirik texnik sistemalarni yig'a olishi mumkin;

- samarali tabiiy assemblerga ribosoma yordamida oqsil molekulalarni sintez qilishni misol keltirsa bo'ladi;

- hozirgi vaqtida nanotexnologiyalarning asosiy asboblaridan biri skanerlovchi zondli mikroskoplardir(SZM). Ular ichida tunnel va atom quvvatli mikroskoplar eng ko'p qo'llaniladi;

- zondli mikroskoplarning asosiy elementi namuna sirtini atom aniqlikda skanerlovchi juda uchli igna – zond (kantilever) dan iborat;

- STM ning ishlashi 0.5 nm dan kichik masofada joylashgan zond bilan namuna sirti orasidagi tunnel tokni o'lchashga asoslangan. Ular orasidagi masofaning atigi 0.1 nm ga o'zgarishi tunnel tokni 10 marta o'zgarishiga olib keladi. Tunnel tokning bunday o'zgarishi namuna sirtining atom darajasidagi relyefini hosil qilish imkonini beradi;

- STM ikkita asosiy rejimda ishlaydi:

a) o'zgarmas balandlik rejimi (igna uchi sirtdan bir xil balandlikda harakat qiladi, tunnel toki esa o'zgarib turadi);

b) doimiy tok rejimi (namuna sirtiga mos ravishda igna baland yoki pastga siljitilib, tunnel toki doimiy saqlanadi).

- tunnel mikroskopidan farqli ravishda, atomiy- kuch mikroskoplar (AKM) faqat tok o'tkazuvchi materiallarnigina emas, balki dielektriklar va biologik obyektlarni ham o'rganish imkonini beradi. AKM ishlashi kichik masofalarda (angstrom atrofida) zond bilan namuna sirti orasidagi molekular ta'sir kuchlarini o'lchashga asoslangan.

- 1985-yili R.Kerl, G.Kroto va R.Smollilar uglerodning ajoyib xossalarga ega bo'lgan, uchinchi allotropik holati – fullerenni kashf etdilar. Bu kashfiyot uchun ular Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar. Fulleren molekulasi futbol to'piga o'xshagan, besh va olti burchaklardan ibo-

rat uglerod molekulasidir. Uning nomi qurilishlarda shunga o'xshash shakllardan birinchi marta foydalangan arxitektor Bakminster Fuller sharafiga qo'yilgan.

- 1991-yili Sumio Idzima olimlarni o'zining fizik - kimyoviy xos-salari bilan lol qoldirgan silindrik uglerod birikmalari – nanonaychalarini kashf etdi. Nanonaychalar bir qatlamlı va ko'p qatlamlı bo'lishi mumkin. Ular yog'ochdan yengil, po'latdan o'nlab marta pishshiq, tok o'tkazuvchi yoki o'tkazmovchi, kapillar xossalarga ega bo'lishi mumkin. Nanonaychalar fan va texnikaning juda ko'p sohalarida qo'llanishi kutilmoqda.

## **1-bobni takrorlash uchun savollar**

1. Nano – qo'shimchasi qanday ma'noni anglatadi?
1. Balk - texnologiya nima?
2. Nanotexnologiya ta'rifini ayting.
3. Assembler nima?
4. Oqsil sintezlanish jarayonini tushuntiring.
5. I-RNK va t- RNKlar nima vazifani bajaradi?
6. Birinchi nanotranzistor qachon yaratilgan?
7. STM nima va u qanday ishlaydi?
8. AKM ishlashini tushuntiring.
9. O'z - o'zini yig'ish deganda nimani tushunasiz?
10. Fulleren qachon kashf etilgan?
11. Nanonaycha qanday tuzilgan?
12. Nanonaycha qo'llanilishiga misollar keltiring.
13. Nanotexnologiyalar qanday xatarlar keltirib chiqarishi mumkin?
14. Rivojlangan davlatlarda nanotexnologiyalarga qanday e'tibor berilmoxda?

2-BOB. YAKKA NANOZARRACHALAR XOSSALARI

## 2.1. Tarkibiy va fazaviy o'zgarishlar

Adabiyotlar ma'lumotlariga, asosan, alohida olingan nanozarrachaning sirti uning xossalari katta hissa qo'shamdi. Termodinamik funksiyalarning fazalar chegaralari bilan bog'liq va sirtiy energiyalar kiritilishi tufayli bir-biriga qo'shilmasligi termodinamik kattaliklarning o'chamga bog'liq effektlariga olib keladi.

Nanozarrachalar uchun esa sirtiy taranglikning zarrachalar o'chamliga bog'liqligini ham hisobga olish zarur. Sirtiy energiya ta'siri, xususan, fazaviy o'tishlar termodinamik sharoitlarida seziladi. Nanozarrachalarda moddaning yirik holatiga xos bo'lmagan fazalar ham vujudga kelishi mumkin. Zarrachalar o'chamlari kichiklashishi bilan sirt engiyasi  $F_s = \oint \sigma(n) ds$  (bunda  $\sigma(n)$  – sirtga tik birlik vektorga  $\bar{n}$  bog'liq bo'lgan sirt tarangligi) ning erkin energiya  $F = F_v + F_s$  ( $F_v$  – hajmiy energiya hissasi) ga qo'shayotgan hissasi orta boradi.

Agar yirik namunalarda ma'lum bir temperaturalarda 1-faza turg'un, ya'ni  $F_v^{(1)} < F_v^{(2)}$ , bo'lsa o'chamning kichiklashida  $F_s$  ni hisobga olin gandan keyin

$$F_v^{(2)} + F_s^{(2)} \leq F_v^{(1)} + F_s^{(1)} \quad (2.1)$$

bo'lib qolishi va zarracha o'chamlari yetarlicha kichik bo'lganda 2-faza turg'un bo'lib qolishi mumkin.

Sirtiy energiya hajmiyga nisbatan yetarlicha katta, shuning uchun (2.1) shartdan ko'rindiki, tizimning to'la energiyasini kamaytirish uchun kristallning sirt energiyasini kamaytiruvchi deformatsiya hosil qilish foydaliroq ekan. Bunday kichraytirish nanozarrachaning kristall tuzilishini yirik donador namunalarniga nisbatan o'zgartirish orqali amalga oshirilishi mumkin. Sirtiy energiya zich taxlangan tizimlar uchun eng kichik bo'lgani uchun, nanokristall zarrachalar uchun tajribalarda ko'proq uchraydigan yoqiy markazlashgan kubik (YOMK) yoki zich taxlangan geksogonal (ZTG) tuzilishlar ko'proq ma'qul. Niobiy,

tantal, molibden va volframlarning 5–10 nm li nanokristallarini elektro-nografik tadqiq qilish ko'rsatishicha, ular YOMK yoki ZTG tuzilishi-ga ega, bu moddalarning oddiy holatdagi tuzilishi esa hajmiy markaz-lashgan kubik (HMK) panjaradan iborat. Shuncha o'xshash farqlarni gadoliniy, terbiy va golmiy nanozarrachalari va yirik moddalarda ham ko'rish mumkin. Hatto temir, xrom, kadmiy, selen kabi elementlar o'lchamlari kichraytirilgandan so'ng kristallik tuzilishi yo'qolib, amorf tuzilishiga o'tib qolishi ham kuzatilgan.

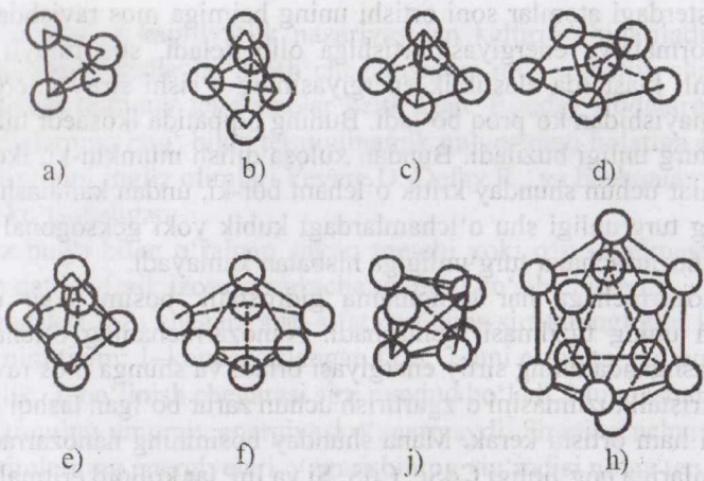
Ayrim hollarda zarracha sirtiy energiyasining kamayishi faqatgina uning tuzilishi o'zgarishi bilan emas, balki tarkibning deformatsiyala-nishi tufayli ham yuz berishi mumkin.

Ikki mingdan kam atomlardan tuzilgan zarrachalar – klasterlar haqida alohida to'xtalish lozim ( $2 \cdot 10^4$  tagacha atomdan iborat gigant klasterlar ham mavjud). Bunday klasterlarning farqlanuvchi xususiyatlaridan biri – ular xossalaring klasterdagi atomlar soniga nochizig'i bog'langan-ligidir. Dispers va hajmiy monokristall moddalarda bunday bog'lanish mavjud emas, lekin, bu hollarda klaster xossalari zarrachalar (kristall-chalar, donalar) o'lchamlari belgilaydi. Klaster ko'p bo'limli (sanoqli), umuman olganda, o'zgaruvchan sonli o'zaro ta'sirlashuvchi atom, ion va molekulalar guruhidan tashkil topgan. Klasterda kamida ikkita atom bo'ladi. Klasterdagi atomlarning eng ko'p soni (yuqori chegarasi) unga qo'shilgan yana bitta atom uning xossalari o'zgartirmaydigan sonidir. Kimyoviy nuqtayi nazardan bu son 1–2 ming atrofida bo'ladi.

Nazariy hisoblashlarning ko'rsatishicha, hajmiy kristallarga xos YOMK tuzilishi bilan bir qatorda, klasterlar 5-tartibli simmetriya o'qiga ega bo'lgan kristallik simmetriyasini olishi mumkin. Kam atomli klas-terlar modelini yashashda ikki asosiy holat hisobga olinadi(2.1-rasm):

1. Klasterlar zich joylashgan tartibli va eng sodda turg'un konfi-guratsiyali atomlardan tuzilgan bo'lishi kerak; klasterdagi barcha atom konfiguratsiyalari ichidagi tetraedrlar (eng kichik hajmli turg'un atom-lar konfiguratsiyasi) imkon darajada ko'p bo'lishi kerak.

2. Klasterlar energetik jihatdan turg'un bo'lishi kerak. Odatda, klas-terlar elementlari tarkibiy tuzilishi sifatida tetraedr, oktaedr, kub, ku-booktaedr, pentagonal piramida, ikosaedr va boshqalar qabul qilingan. Eng kichik turg'un klaster 5-tartibli simmetriya o'qi va 7 atomdan iborat bo'lib, pentagonal bipiramida shakliga ega, undan keyingi turg'un klaster ham 5-tartibli simmetriya o'qi, 13 atomdan iborat ikosaedr shaklida bo'ladi.



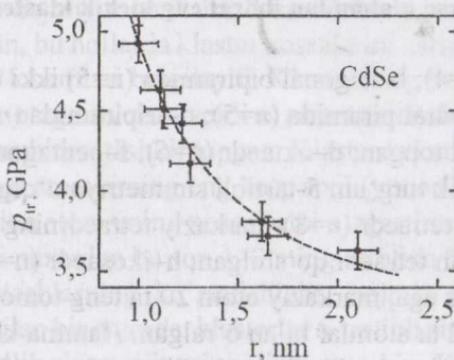
2.1-rasm. n atomdan iborat eng kichik klasterlar:

a—tetraedr ( $n=4$ ); b—trigonal bipiramida ( $n=5$ ) ikki tetraedr qo'shilishi kabi; c—kvadrat piramida ( $n=5$ ); d—tripiramida ( $n=6$ ), uchta tetraedrdan tashkil topgan; e—oktaedr ( $n=6$ ); f—pentagonal bipiramida ( $n=7$ )—eng kichik turg'un, 5-tartibli simmetriya o'qiga ega klaster; g—yulduzsimon tetraedr ( $n=8$ )-markaziy tetraedrning 4 ta yoqining har biriga bittadan tetraedr qo'shilgan; h—ikosaedr ( $n=13$ )-5-tartibli 6 simmetriya o'qiga ega, markaziy atom 20 ta teng tomonli uchburchaklarga birikkan 12 ta atomlar bilan o'rالgan. Hamma klasterlar har xil usulda birikkan uch atomdan iborat bo'lib, unda atomlar bir xil masofalarda, teng tomonli uchburchaklar hosil qilgan holatlarda joylashgan.

Klasterning turg'un konfiguratsiyalari (izomerlari) ( $3n-6$ ) o'lchamli fazoda sirtiy potensial energiyasi eng kichik bo'lgan  $n$  tarkibiy atomlar koordinatalari bilan aniqlanadi.  $n>10$  bo'lgan klasterlar o'nlab, hatto yuzlab izomerlarga ega bo'la oladi. Har xil tuzilishli modifikatsiyalar nisbiy turg'unligini qarash ko'rsatadiki, 150–300 dan kam atomga ega klasterlarning eng turg'uni ikosaedrik shakldagisi bo'lar ekan. Eng kichik ikosaedr 13 ta atomga ega. Uning 12 tasi markaziy atomdan bir xil uzoqlikda joylashgan. Ikosaedr – bu 20 ta o'xshash tetroedrlarni bita umumiyluqda ikkilanish tekisligi bo'lgan, umumiyluq yoqlari bir-biri bilan bog'langan shakldan iborat.

Klasterdagi atomlar soni ortishi uning hajmiga mos ravishda elastik deformatsiya energiyasi ortishiga olib keladi, shu tufayli katta o'lchamli klasterda elastiklik energiyasining o'sishi sirtiy energiyaning kamayishidan ko'proq bo'ladi. Buning oqibatida ikosaedr tuzilmalarining turg'unligi buziladi. Bundan xulosa qilish mumkin-ki, ikosaedr tuzilmalar uchun shunday kritik o'lcham bor-ki, undan kattalashganda ularning turg'unligi shu o'lchamlardagi kubik yoki geksogonal tuzilmali nanozarrachalar turg'unligiga nisbatan kamayadi.

Nanozarrachaga har tomonlama gidrostatik bosim ta'sir etganda ham uning tuzilmasi zinchlashadi. Nanozarrachaning o'lchamlari kichiklashganda uning sirtiy energiyasi ortadi va shunga mos ravishda uning kristall tuzilmasini o'zgartirish uchun zarur bo'lgan tashqi bosim qiymati ham ortishi kerak. Mana shunday bosimning nanozarrachalar o'lchamlariga bog'liqligi CdSe, CdS, Si va InP lar kolloid eritmalarida gi nanozarrachalari uchun aniqlangan (2.2-rasm).



2.2-rasm. CdSe nanozarralarining geksogonal (vyursitga o'xshash) tuzilishdan kubik V1 ko'rinishga o'tishi uchun zarur gidrostatik bosim  $p_{tr}$  ning nanozarracha o'lchamiga bog'liqlik grafigi.

Sirtiy energiyaning nanozarracha o'lchamlariga bog'liqligi bir tomondan nanozarracha o'lchami bilan, ikkinchi tomonidan zarracha usidagi to'yingan bug' bosimi va uning suyulish temperaturasi o'rtasidagi bog'liqlikni belgilaydi. Umuman olganda, ko'p fazali va ko'p tarkibli tuzilmalar uchun muvozanat shartlari Gibbs tomonidan olingan.

Mayda qattiq zarrachalar bilan bug' yoki suyulmalar muvozanatiga nisbatan qo'llaniladigan ko'plab termodinamik tenglamalar va formu-

lalar Gibbsning kapillyarlik nazariyasidan keltirib chiqariladi. Unda suyuqlik-gaz fazalar bo'linish chegarasidagi muvozanatlik shartlarini ta'riflovchi umumiy tenglamalar keltirilgan. Bunday ifodalarni qattiq zarrachalarning bug' bilan termodinamik muvozanati holatiga qo'llash mumkinligini ingliz olimlari Yevere D. Defay R., va boshqalar o'z ishlarida ko'rsatishgan.

O'z bug'i bilan o'ralgan suyuq tomchi yoki o'z suyulmasi ichida turgan qattiq sferik izotrop zarracha tizimini ko'rib chiqaylik.

Agar ikki faza chegara sirti sifatida Gibbs sirt tarangligini kirlitsak, uchta nim tizim: 1-kondensirlangan faza; 2-uni o'rab turgan bug' yoki suyuqlik; 3-bo'linish chegarasi sirti mavjud bo'ladi. Muvozanat sharoitida tizimning umumiy energiyasi o'zgarmaydi. Shuning uchun uchala nintizimlarning energiyalari o'zgarishining yig'indisi nolga teng:

$$\delta E_1 + \delta E_2 + \delta E_3 = 0.$$

Bu tenglama bajarilishi uchun zaruriy va yetarli shart bo'lib, uchchala nintizimlardagi T temperatura va  $\mu$  kimyoviy potensial bir xil bo'lishi kerakligini, ya'ni  $T_1 = T_2 = T_3$  va  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ , bosim  $p$  esa 1-faza da 2-sinikidan  $2\sigma/r$  (Laplas bosimi) miqdordan katta bo'lmasligi lozim:

$$\frac{2\sigma}{r} = p_1 - p_2 \quad (2.2)$$

$p_1 - p_2$  – chegara sirtlarining egrilik darajasiga bog'liq.

1 va 2 fazalar kimyoviy potensiallari tengligini va (2.2) ifodani e'tiborga olgan holda zarrachaning to'yinish bug'ining bosimi  $p(r)$  yoki zarrachaning suyulish temperaturasining  $T_{\text{suyulish}}(p)$  uning o'lchami (radiusi  $r$ ) ga bog'liqligini ko'rsatuvchi avvaldan ma'lum ifodalarni olamiz.

Bo'linish chegaralari tekis bo'lgan fazalar uchun

$$\mu_1(p, T) = \mu_2(p, T) \quad (2.3)$$

egrilangan fazalararo chegara uchun muvozanatiy bosim va temperaturalar tekis sirtlar uchun  $p$  va  $T$  lardan  $\Delta p$  va  $\Delta T$  qadar farq qiladi. Bunda (2.2) ni hisobga olgan holda kimyoviy potensiallar tengligi quyidagicha bo'ladi:

$$\mu_1(p + \Delta p + \frac{2\sigma}{r}, T + \Delta T) = \mu_2(p + \Delta p, T + \Delta T). \quad (2.4)$$

(2.4) ni Teylor qatoriga yoyib, uning birinchi darajali hadlari olinib, undan (2.3) ifodani ayirib olinsa

$$\left[ \left( \frac{\partial \mu_1}{\partial p} \right) - \left( \frac{\partial \mu_2}{\partial p} \right)_T \right] \Delta p + \left( \frac{\partial \mu_1}{\partial p} \right)_T \frac{2\sigma}{r} + \left[ \left( \frac{\partial \mu_1}{\partial T} \right)_p - \left( \frac{\partial \mu_2}{\partial T} \right)_p \right] \Delta T = 0 \quad (2.5)$$

hosil bo'ladi. Bundagi  $\left( \frac{\partial \mu_1}{\partial p} \right)_T = v_1$  - birlik modda hajmi.

Agar tekis va egrilangan fazalar bo'linish chegaralari bir xil  $T$  ga ega bo'lsa ( $\Delta T=0$ ) va (2.5) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta p = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2 - \vartheta_1} \cdot \frac{2\sigma}{r}. \quad (2.6)$$

Aytaylik, fazalar bo'linish chegarasining to'yigan bug'ining bosimi  $p_\infty$ , egrilangan bo'linish chegarasidagi bosim  $r$ , bo'lsin. Gaz fazasi hajmi  $v_2 = RT/p_\infty$  va u kondensirlangan faza hajmi  $v=v_1$  dan juda katta, ya'ni  $v_2 \gg v_1$ , Shuning uchun (2.6) dan

$$\frac{\Delta p}{p_\infty} = \frac{\vartheta}{RT} \frac{2\sigma}{r} \quad (2.7)$$

$\Delta r/r_\infty = \Delta \ln p = \ln p(r) - \ln p_\infty = \ln(p(r)/p_\infty)$  deb olsak, ni hosil qilamiz.

$$\ln \frac{p(r)}{p_\infty} = \frac{\vartheta}{RT} \frac{2\sigma}{r} \quad \text{yoki} \quad p(r) = p_\infty \exp \left\{ \frac{\vartheta}{RT} \frac{2\sigma}{r} \right\}. \quad (2.8)$$

Bu (2.8) ifoda  $r$  radiusli suyuq tomchi ustidagi to'yigan bug' bosimi ifodalovchi Tomson-Gibbs tenglamasi deb ataluvchi tenglamadir. Bu tenglama ko'plab tajribalarda, jumladan, qo'rg'oshin va kumush-

ning 50 nm li mayda zarrachalarini bug'lanishini elektron-mikroskopik metodda tadqiq qilishda tasdiqlangan.

Tomson-Gibbs tenglamasi o'ta to'yigan bug'ning gomogen kondensatsiyalanishini ta'riflashda, ya'ni suyuq fazaning murg'aklari bo'lgan klasterlar hosil bo'lishida ham qo'llaniladi. Ammo, bunday klasterlar atigi bir necha o'n molekulalardan iborat bo'lgani uchun ularga (2.8) ni bevosita qo'llash juda ham to'g'ri kelmaydi. Haqiqatda, klasterlar xossalari hajmi va sirtiylargacha ajratib bo'lmaydi. Bundan tashqari, klasterlar doimiy ravishda Broun harakatida bo'ladi. Buni e'tiborga olinsa, (2.8)ni quyidagicha yozish kerak:

$$\ln \frac{p(r)}{p_\infty} = \frac{9}{RT} \frac{2\sigma}{r} - \frac{4}{n}, \quad (2.9)$$

bunda  $p(r)$  – o'ta to'yigan bug' bosimi,  $r$  – murg'ak ( $n$  ta molekuladan iborat klaster) radiusi.

Taglikdagi kichik orolchalarga o'xshagan ikki o'lchamli tizilmalar uchun Tomson-Gibbs tenglamasi:

$$p(r) = p_\infty \exp \left\{ \frac{1}{RT} \frac{\gamma}{rp_s} \right\}, \quad (2.10)$$

bunda  $P_\infty$  – qattiq jism – bug' chegarasidagi bug' bosimi,  $\gamma$  – taglikdagi ikki o'lchamli orolcha chegarasi birlik uzunligiga keltirilgan chegaraviy erkin energiya,  $r$  – orolcha radiusi,  $p_s$  – qattiq orolcha zichligi.

Bu ifoda orolchanini o'rab turgan bug'ni ideal gaz degan farazda chiqarilgan. Ikki o'lchamli orolchalar yuqori bosimlarda cheklangan o'lchamga va atomlar doimiy soniga ega bo'lganda (2.10) ifodadan chetlanishlar bo'lishi mumkin.

"Qattiq jism – bug' tizimi"da erkin energiya  $F$  ning orolchalar radiusi  $r$  ga bog'liqlik grafigida ma'lum bir sharoitlarda minimum kuzatiladi. Bu demak, o'ta to'yigan bug' holatida tizim erkin energiyasi, qolgan bug' bilan muvozanatda turuvchi qattiq holatlari orolchalar paydo bo'lishi hisobiga kamayadi.

Agar 2-faza bosimi tekis va egrilangan bo'linish chegaralari uchun bir xil bo'lsa, ya'ni  $\Delta r=0$  bo'lsa, (2.5) tenglama

$$\left( \frac{\partial \mu_1}{\partial p} \right)_T \frac{2\sigma}{r} + \left[ \left( \frac{\partial \mu_1}{\partial T} \right)_p - \left( \frac{\partial \mu_2}{\partial T} \right)_p \right] \Delta T = 0 \quad (2.11)$$

ko'rinish oladi.

$$\left( \frac{\partial \mu_1}{\partial T} \right)_p - \left( \frac{\partial \mu_2}{\partial T} \right)_p = s_2 - s_1 = \frac{L}{T_\infty} \quad (2.12)$$

(бунда  $s_{1,2}$ -бирлик массага келтирилган 1 ва 2 fazalar entropiyasi,  $T_x$  - fazaviy o'tishlar temperaturasi,  $L$  - faza o'tishining yashirin solishtirma issiqligi ( $\partial \mu_i / \partial p$ )<sub>T</sub> =  $\vartheta_i$  =  $\vartheta$  - 1 faza solishtirma hajmi) bo'lgani uchun (2.11) ni hisobga oлган holda, Tomson tengllamasini hosil qilamiz:

$$\frac{T(r) - T_\infty}{T_\infty} = \frac{\Delta T}{T_\infty} = \frac{\vartheta}{L} \frac{2\sigma}{r}. \quad (2.13)$$

Agar suyuq tomchini bug' bilan muvozanat holatini ko'radian bo'linsa, (2.13) ifoda suyuq tomchini suyulish temperaturasi  $T(r)$  ni uni radiusi ( $r$ ) ga bog'lanishini belgilaydi. Qattiq zarrachani eritma bilan muvozanat holatini ko'rileyotgan bo'lsa, Tomson formulasi kichik zarrachani suyulish temperaturasi  $T_{melt}(r)$  ning o'lchamga bog'lanish ifodasini beradi:

$$\frac{T_{melt}(r) - T_{melt}}{T_{melt}} = \frac{\vartheta}{L} \frac{2\sigma}{r}. \quad (2.14)$$

Bunda  $T_{melt}$  va  $L$ -hajmiy qattiq jismning suyulish temperaturasi va solishtirma suyulish issiqligi,  $\vartheta$  - 1g modda hajmi (solishtirma hajmi yoki zichlikka teskari kattalik). (2.14) Tomson formulasi zarrachalarning suyulish temperaturasining uning radiusiga teskari proporsional ravishda universal kamayishini ko'rsatadi. "Zarracha - suyulma" tizimiga (2.14) formula qo'llanilganda dastlabki qattiq jism atrof-muhit bilan muvozanatda degan taxminga qarama-qarshilik vujudga keladi. Bu formulaga, asosan, tizim qizdirilganda mayda zarracha hajmiy qattiq jism suyulmasi paydo bo'lishidan oldinroq suyulib ketishi kerak.

Boshqacha qilib aytganda, har qanday o'lchamli zarracha hajmiy jismga nisbatan kichikroq suyulish temperaturasiga ega bo'lishi kerak. Bu holda amalda kuzatiladigan kristallning suyuqlik bilan muvozanat holati bo'lmasligi aniq.

Yana bitta nomutanosiblik haqida ayтиб о'tish kerak.

Muvozanat sharoitida kichik suyuq tomchi (1-faza) ni hajmiy qattiq jism (2-faza) ichiga joylashtirilsa, (2.5) tenglama o'zgarmay qolaveradi, (2.12) tenglamada belgi teskarisiga o'zgaradi. Natijada (2.14) tenglamaning o'ng tomoni musbat bo'lib qoladi. Bu kichik tomchining qotish temperaturasi hajmiy qattiq jism suyulish-qotish temperaturasi ( $T_{melt}$ )dan yuqori degani bo'lardi. Bir xil massali kichik qattiq zarrachaning suyulish temperaturasi va kichik suyuq tomchining qotishi muvozanat temperaturalari bir xil bo'lishi kerak.

Lekin, to'g'ri va invertirlangan tizimlar natijalarini solishtirish ko'rsatadiki, mayda zarracha (tomchi)ning qotish temperaturasi bir vaqtning o'zida ham kamayishi, ham ortishi mumkin va hajmiy qattiq jism suyulish temperaturasiga nisbatan ortadi. Suyulish temperaturasi uchun Tomson formulasi (2.14)ning fikran qarama-qarshiligi formulani chiqarishda qilingan "qattiq jism -suyulma" hajmining doimiyligi va fazalar hajmi va massasi o'zgarishi bir-biriga bog'liq emas degan muhazalar tufayli paydo bo'ladi.

Keyinroq kichik kristallar suyulish temperaturasini bir xil massali qattiq va suyuq sferik shakldagi zarrachalarning o'z bug'i bilan muvozanatda bo'lish temperaturasi sifatida belgilash taklif qilindi. Haqiqatda ham  $T_{melt} - (r)$  bu teng massali qattiq va suyuq zarrachalar aralashmasida qattiq jismidan suyuqlikka modda ko'chishi yoki uning teskarisi ham yuz bermaydigan muvozanat temperaturasi.

Bu fikrdan foydalanib va uni rivojlantirib qattiq zarrachalarning suyulish muvozanatiy temperaturasi uchun quyidagi ifoda olingan:

$$T_{melt}(r) = T_{melt} \left\{ 1 - \frac{2}{\rho_s E} \left[ \sigma_s - \sigma_\lambda \left( \frac{\rho_s}{\rho_\lambda} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \right\}. \quad (2.15)$$

$\alpha$  – qalinlikdagi eritma qobig'i bilan qoplangan zarrachalar uchun esa

$$T_{melt}(r) = T_{melt} \left\{ 1 - \frac{2}{\rho_s L} \left[ \frac{\sigma_{s\lambda}}{r - \delta} + \frac{\sigma_\lambda}{r} \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_\lambda} \right) \right] \right\}, \quad (2.16)$$

bunda  $\sigma_s$ ,  $\sigma_\lambda$ ,  $\sigma_{s\lambda}$  – qattiq va suyuq holatlardagi hamda suyuq va qattiq holatlар chegarasidagi sirtiy kuchlanishlar,  $\rho_s$  va  $\rho_\lambda$  – qattiq va suyuq holatlар zichliklari. Termodinamik muvozanat shartida suyulish temperaturasi sifatida qattiq va suyuq holatlarni to‘liq erkin energiya ifodalari o‘zaro teng bo‘ladigan temperatura qabul qilaniadi. To‘la erkin energiya ifodasida sirtiy energiyani ham hisobga olgan holda, suyulish temperaturasining mumkin bo‘lgan eng kam qiymatini beradigan sferik zarracha suyulish temperaturasi uchun quyidagi ifoda taklif etilgan

$$T_{melt}(r) = T_{melt} \left\{ 1 - \frac{3}{\rho_s L r} \left[ \sigma_s - \sigma_\lambda \left( \frac{\rho_s}{\rho_\lambda} \right)^2 \right] \right\} \quad (2.17)$$

Har xil mualliflar tomonidan nanokristal zarrachalar suyulish temperaturalari o‘lcham effektlarini ta’riflovchi (2.15) – (2.17) ifodalarni quyidagi ixcham ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$T_{melt}(r) = T_{melt} \left( 1 - \frac{\alpha}{r} \right), \quad (2.18)$$

bunda  $\alpha$  – moddaning zichligi va suyulish temperaturasi va uning sirtiy energiyasini hisobga oluvchi doimiy. (2.18) ifoda Tomson formulasi (2.14) ga o‘xshash ekanligini ko‘rish mumkin. Tajriba natijalarini ta’riflash uchun  $T_{melt}$  ni qatorga yoyiladi:

$$T_{melt}(r) = T_{melt} \left( 1 + \alpha r^{-1} + \beta r^{-2} + \dots \right) \quad (2.19)$$

bunda  $\alpha$ ,  $\beta$  – empirik koeffitsientlar.

$T_{melt}$  ning  $r$  ga bog‘liq ravishda kamayishining tajribaviy ifodasi 2.3-rasmida keltirilgan.

Qalay nanozarrachalari (diametri 8–80 nm) ustidagi elektronografik tadqiqotlar tajriba natijalari  $T_{melt} \cong \frac{1}{r}$  chizig'iy bog'lanishdan ko'p marta farqlanishini ko'rsatdi.

Tajriba natijalarini (2.16) ifoda bilan taqriblash tajriba va nazariy hisob natijalari bir-biriga mos kelishini ko'rsatmoqda. Buning uchun (2.16) formulaga kiruvchi parametrlarni quyidagicha olish kerak:

$$\rho_s = 7,18 \cdot 10^3 \text{ kG/m}^3, \quad \rho_i = 6,98 \cdot 10^3 \text{ kG/m}^3, \quad \sigma_s = 0,58 \text{ Nm}^{-1},$$

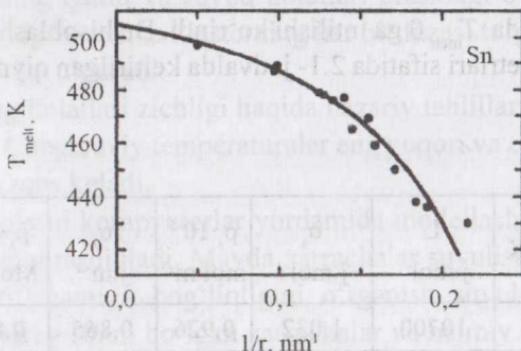
$$\sigma_i = 0,0622 \text{ Nm}^{-1},$$

$$L = 58,5 \text{ kdj.kg}^{-1}, \delta = 3,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}, T_{melt} = 505 K$$

Qalay uchun shu qiymatlar asosida hisoblash natijasi:

$$T_{melt}(r) = 505 - 40 \left( \frac{3,74}{r-3,2} - \frac{1}{r} \right), \quad (2.20)$$

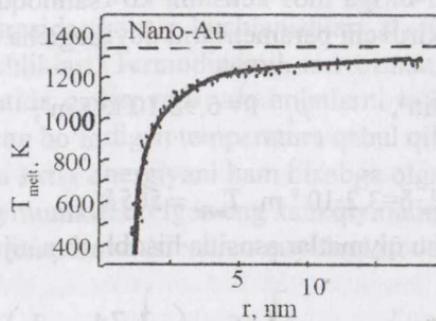
bundagi  $r$  nm larda berilgan. Bir qancha ishlarda tajribalarda aniqlangan suyulish temperaturasining nisbiy qiymati  $T_{melt}(r) / T_{melt}$  nanozarrachalari o'chamlari  $r=10\text{-}40\text{nm}$  deb olinganda, ular radiusining teskari qiymatiga bog'liqligi hisoblash natijalari bilan mos kelgan (2.3 - rasm).



2.3-rasm. Qalay (Sn) nanozarrisasi uchun suyulish temperaturasining nanozarra teskari o'chami  $r^{-1}$  ga bog'liqlik grafigi. Uzlusiz chiziq 2.16

$T_{melt}(r)$  ifoda yordamida hisoblangan

bog'lanishni elektronografik usulda aniqlash natijalari oltin nanozarrachalari radiusi 1 nm dan katta bo'limganda ham (2.15), ham (2.16) formulalar bilan hisoblashga yaxshi mos keladi. Tajribalardan (2.15) va (2.16) modellar o'rtasidagi farqni aniqlash imkoniyati bo'lindi (o'lchashlar aniqligi yetarlicha bo'limgani uchun) (2.4 - rasm).



2.4-rasm. Oltin nanozarralari suyulish temperaturasi  $T_{melt}$  ning nanozarra o'lchamiga bog'liqligi. Uzlukli chiziqlar makroskopik oltin namunasiniki

Nanozarrachalar radiuslari 0,5–0,6 nm bo'lganda suyulish temperaturasi keskin kamayishi kuzatilgan. Shunga o'xshash Al, Cu va Ti uchun (2.17) formula asosida hisoblangan mana shunday bog'lanish  $T(1/2)$  hammasi uchun nanozarraning o'lchamlari 0,5–0,6 nm dan kichik bo'lganda  $T_{melt}$  0 ga intilishi ko'rindi. Bu hisoblashlarda berilgan atomlar parametrlari sifatida 2.1-jadvalda keltirilgan qiymatlardan foydalanildi.

2.1-jadval

Metall	$T_{melt}$ K	$L$ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$	$\sigma_s$ $\text{J} \cdot \text{mol}^{-2}$	$\rho_s \cdot 10^{-5}$ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$	$\sigma_z$ $\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$	$\rho_z \cdot 10^{-5}$ $\text{Mol} \cdot \text{m}^{-3}$	$\alpha \cdot 10^{-10}$ M
Al	934	10700	1,032	0,926	0,865	0,894	4,43
Cu	1358	13050	1,592	1,320	1,310	1,250	4,07
Ni	1728	17470	2,104	1,400	1,750	1,350	3,82
Ti	1943	14150	1,797	0,910	1,500	0,868	5,80

Bunday natijalar asosida ko'pchilik mualliflar fazaviy nojinslilik tufayli nanozarrachalarni suyulishi past temperaturadan boshlanadi deb hisoblashadi. Bu holda  $T_{melt}(r)$  ni tajribaviy natijalarini nanozarrachanining suyuq qatlami mayjudligi e'tiborga olinadigan (2.17) formula bilan hisoblash eng yaxshi tavsiflar beradi. Ammo, suyuq qatlam mavjudligini hisobga olmaydigan (2.15) formula asosidagi hisoblashlar ham avvalgidek hulosaga olib keladi. Suyuq qobiq mayjudligini nanozarrachani kompyuterda modellash qisman tasdiqlaydi. Tajribalar ko'rsatishicha, suyuq qobiq eng kamida 350 atomdan iborat nanozarrachalarda hosil bo'ladi.

Boshqa bir guruh tadqiqotchilar fikricha, berilgan sondagi atomli klasterlar suyuq holatida uning turg'unligining keskin pastki chegarasi  $T_f$  va klasterning qattiq holatida turg'unlik keskin yuqori temperatura  $T_{melt}$  ga ega. Bir xil klasterlar o'zlarini xuddi statik ansambl kabi tutadi; ma'lum bir belgilangan temperatura va bosim oralig'ida ular qattiq va suyuq klasterlardan iborat. Qattiq va suyuq klasterlar miqdorining nisbati  $\exp\{-\Delta F/T\}$  ga teng ( $\Delta F$ -qattiq va suyuq holatlardagi erkin energiyalar farqi). Klasterlarning qattiq va suyuq holatlari orasidagi muvozanat dinamik (o'zgaruvchan) bo'ladi va har bir klaster qattiq holatdan suyuq holatga va aksincha o'tish imkoniga ega.

Klasterlarning qattiq va suyuq holatlari orasidagi o'tish chastotasi juda kichik bo'lgani uchun klasterning har bir fazasi turg'un xususiyatlari o'rnatilishiga ulguradi.

Klasterning holatlari zichligi haqida nazariy tahlillar asosidagi natijalar olingan. Chegaraviy temperaturalar eng yuqori va eng kichik erkin energiyalarga mos keladi.

Bu jarayonlarni kompyuterlar yordamida modellashtirish xulosalar o'rinli ekanligini tasdiqladi. Mayda zarrachalar suyulish temperaturasi nanoklaster o'lchamiga bog'liqligini o'rganish suyulish temperaturasi, o'lchamlari  $>10\text{ nm}$  bo'lgan zarrachalar va hajmiy katta moddalar uchun bir-biridan katta farq qilmasligini ko'rsatdi.

O'lchamlik effekti bilan bog'liq bo'lgan suyulish temperaturasining sezilarli darajada pasayishi nanozarrachalar o'lchamlari 10 nm dan kam bo'lgan holatlarda kuzatiladi.

## 2.2. Panjara davri

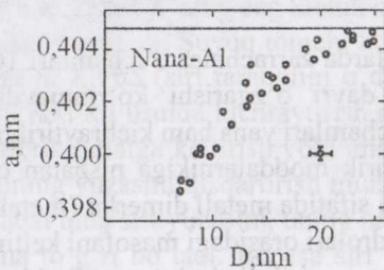
Yirik kristallardan nanozarrachalarga o‘tish atomlararo masofalar va kristall panjara davri o‘zgarishlariga olib keladi. Asosiy masala panjara davri kamayadimi yoki ortadimi va nanozarrachanering qanday o‘lchamlarida bu narsa sezilarli bo‘ladi?

Bu sohadagi tajriba natijalari, asosan, bir-biriga qarama-qarshi. Nanozarrachalarning panjara davri o‘zgarishini tahlil etilayotganda, avvalgi bo‘limda ko‘rilgan zarrachalar o‘lchamlari kichiklashayotganda kamroq zichlikka ega HMK va geksagonal tuzilishidan zichligi katta-roq bo‘lgan YoMK tuzilmaga o‘tish mumkinligini hisobga olish kerak. Elektronografik usuldagagi tadtiqotlar natijalariga asosan, Cd, Tb, Dy, Er, Eu, Yb kabi elementlar zarrachalari  $D$  diametri 8 dan 5 nm gacha kamayganda, ularning geksogonal zich taxlangan tuzilishi va yirik metallarga xos panjara parametrlari saqlanib qolgan. Zarracha o‘lchamlari yana ham kichraytilganda panjara parametrlarining sezilarli darajada kichrayishi kuzatilgan. Shu bilan bir vaqtida elektronogramma ko‘rinishi ham o‘zgaraborgan, ya’ni kristall tuzilishi o‘zgarayotgani sababi ZTG kristall panjara parametrlarini kichiklashayotgani emas, balki ZTG dan YOMK ga aylanayotganidan dalolat beradi.

Haqiqatda ham rentgenostrukturaviy tahlil nodir yer metallari nanozarrachalarida ZTG tuzilishidan YOMK panjaraga o‘tishi kuzatilgan. Shunday qilib, nanozarrachalarda panjara davrining o‘lchamlarga bog‘liqligini ishonchli ravishda aniqlash uchun unga panjarasi YOMK tuzilishga ega bo‘lgan moddalarni olish kerak, chunki, ular tuzilishlari o‘zgarishi ehtimolligi juda kam.

Nanozarrachalar panjaralari parametrlarini aniqlash usullaridan biri elektronlar difraksiyasi hisoblanadi. Bu usulning doimiy takrorlanuvchi hatolari tahlili panjara davrini aniq o‘lchash uchun faqat belgilangan ayrim difraksion chiziqchalargina yaroqli ekan: masalan, kub tuzilmali nanozarrachalar uchun (220) chiziqdan foydalanish tavsiya etiladi.

Difraksion akslanish kengayishini hisobga olish Ag ning 3,1 nm va Pt ning 3,8 nm diametrli zarrachalarida panjara parametri yirik holatiga nisbatan mos holda 0,7% va 0,6% ga o‘zgarishini ko‘rsatadi, alyuminiy zarrachalari diametrleri 20 dan 6 nm gacha kichraytilganda panjara davri 1,5% ga o‘zgargan (2.5 - rasm).



**2.5-rasm. Alyuminiyning kristall panjara davri  $a$  ning nanozarra diametri  $D$  ga bog'liqligi.**

Neytronografiya usulida yirik namunalardan Al panjarasi davri 0,405 nm dan, diametri 40nm nanozarrachalarida 0,402 nm gacha kamayishi kuzatilgan. Shunga o'xshash panjara davrining nanozarracha o'lchamiga bog'liqligi kimyoviy birikmalarda ham kuzatiladi. Ko'rib o'tilgan metall moddalardagi panjara davrining nanozarrachalar tarkibiy tuzilmasiga bog'liqligidan farqli ravishda kimyoviy birikmalarda ulardagi elementlar tarkibi ham o'zgarishi aniqlandi. Misol uchun, plazma kimyoviy usul bilan olingan nitrid mikrokristallarida 7% gacha kislород kirishmasi mavjud. Ma'lumki, karbidlar va nitridlarga kislород atomlarini kiritish ular panjaralari davrini sezilarli darajada pasaytiradi. Shularni hisobga olganda, kubik nitridlarda zarrachalar o'lchami kichraytilganda panjara davrining kengayishini yuqoridagi fikrlarning juda ham ishonchli isboti deyish shubhali.

Ayrim hollarda nanozarrachalar o'lchamlarini kengaytirish kristall panjara davrining kichrayishiga emas, aksincha ortishiga ham olib kelishi mumkin. Masalan, kreminiy nanozarrachalarini 10nm dan 3 nm gacha kichraytirish panjara parametrining 1,1% ga ortishiga olib keladi. Nanozarrachalari o'lchamlarini 25 nm dan 5 nm gacha kichraytirilganda  $\text{SeO}_2$  kristall panjarasi davrining aniqlangan ortishi, ehtimol,  $\text{MgO}$  ning nanozarrachalariga o'xshash ularga suv molekulalari kirib qolishi tufayli bo'lishi mumkin degan taxmin ham bor.

Shunday qilib, nanozarrachalar parametrlarining o'lchamlik effekti bo'yicha tajribada olingan qiymatlari bir xil emas. Bunday xilma-xillik ularga begona atomlar yoki har xil kimyoviy tarkibli zarrachalarni kirib qolishi, zarrachalar o'lchamlarining kengayishida ularning tuzilma-

lari o'zgarishi, parametrlarini aniqlashdagi doimiy xatoliklar bo'lishi mumkin.

Ishonchli tajribalarda zarrachalar o'lchamlari 10nm gacha kichraytirilganda panjara davri o'zgarishi ko'rinxmaydi, shu bilan birga nanozarrachalar o'lchamlari yana ham kichraytirilganda ularning atomlararo masofalari yirik moddalarnikiga nisbatan qisqarishi haqiqatga yaqin. Buning isboti sifatida metall dimerlar (metallning ikki atomidan iborat klasterlar) yadrolari orasidagi masofani keltirish mumkin – tajriba natijalariga asosan, u yirik (hajmiy) metallnikiga nisbatan qisqaroq. Yadrolararo masofalar Cu<sub>2</sub>, Ni<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub> klasterlari uchun 0,222, 0,2305 va 0,187 nm bo'lgan holda bu moddalarning hajmiy (yirik) holatlari uchun mos holda 0,256, 0,249 va 0,248 nm bo'ladi.

Ko'plab mualliflar nanozarrachalar panjarasi parametrlari kichrashi sirtiy taranglik σ hosil qilgan qo'shimcha bosim  $\Delta p=2\sigma/r$  oqibatidir deb hisoblashadi.

Elastiklik nazariyasiga, asosan, zarracha hajmining  $\Delta V/V$  nisbiy o'zgarishi  $\Delta p$  ga proporsional, ya'ni  $\Delta V/V = -\chi_r(2\sigma/r)$  ( $\chi_r$  –izotermik siqiluvchanlik).  $\Delta V/V = 3(\Delta a/a)$  bo'lgani uchun  $\Delta a/a = k/r$ , bunda  $k$  – proporsionallik koeffitsienti. Lekin  $k$  ning bir xil modda uchun qiymati har xil mualliflarda bir-biridan katta farq qiladi. Bundan tashqari, ayrim hollarda mayda zarrachalarning siqilishi emas, kengayishi kuzatiladi. Agar Laplas bosimi nanozarrachalarni faqat siqqanida, siqilish ularning universal xossasi bo'lar edi.

Ayrim tadqiqotchilar metall zarrachali panjara davrining qisqarishini termik vakansiyalar hosil bo'lishi va zarracha o'lchamining kengayishida ularning zichligi ortishi bilan tushuntiradilar. Vakansiyalarning ortiqcha zichligi vujudga kelishi  $\Delta p=2\sigma/r$  ga teng har tomonlama bosim ta'siri deb qaraldi. Lekin, bunday mulohaza shubhali. Chunki, ma'lumki, temperatura ortishi metallarda vakansiyalar zichligi ortishiga olib keladi.

Temperatura va bosim erkin energiya ifodasiga qarama-qarshi isholar bilan kiradi. Shuning uchun umumiyl holda, bosimning ortishi vakansiyalar zichligiga xuddi temperatura pasaygandagi ta'sirga o'xhashi kerak, ya'ni vakansiyalar ortishiga emas, kamayishiga olib kelishi kerak. Demak, yuqorida tasavvurga asosan, vakansiya zichligining kamayishi zarracha panjarasi davri qisqarishiga olib kela olmaydi.

Aytish kerak-ki, Laplas bosimining fizik mohiyatidan kelib chiqilsa, u fizik jismarda bir jinsli suvni hosil qila olmaydi. Laplas bosimi

moddani uning sirtiy energiyasi  $E_s$  ning eng kichik qiymatini ta'minlaydigan shaklga keltirishga intiladi. Suyuq tomchi holatida  $E_s$  sirt yuzasi  $S$  ga proporsional, ya'ni  $E_s = \sigma S$  (sirt tarangligi  $\sigma$  doimiy deb olinadi). Tomchi sirti yuzasini ikki xil usulda kichraytirish mumkin: uning hajmini o'zgartirmay, sferik holatga keltirish yoki uni siqish, ya'ni sferik tomchi bo'lsa ham uning yuzasini qisqartirish mumkin. Ammo, asosiy munosabat  $-E_s = \sigma S$  faqat bitta sirt yuzasini, uning hajmini saqlagan holda, o'zgartirishdagina to'g'ri bo'ladi. Bu esa sirt tarangligi  $\sigma$  mayda zarrachalar sirtining muvozanat holatdagi shaklini belgilaydi, ammo uning siqilishiga olib kelmaydi.

Umuman, nazariy va tajribaviy tadqiqotlar natijalari tahliliga ko'ra, Laplas bosimi modda siqilishini belgilay olmaydi, demak, nanozarrachalar panjara davrini o'zgartira olmaydi.

Mayda zarrachalar panjarasi davrining yirik moddalarnikiga nisbatan kamayishiga sabab, hajmda joylashgan atomlardan farqli ravishda, sirdagi bo'sh qolgan atomlararo bog'lanishlar bo'lishi mumkin. Haqiqatda ham sirtiy qatlamlagi atomlar hajmiy atomlarga nisbatan kamroq qo'shnilarga ega va kamchilik hammasi atomlarning bir tomonida bo'ladi.

Bu holat massa va ta'sir kuchlari muvozanati hamda simmetriyasini buzadi va atomlararo masofalar muvozanatini o'zgartirib, siljish deformatsiyalari, qirra va yoqlarni tekislanishlariga olib keladi. Sirtiy relaksatsiya bir necha sirtiy qatlamlarni qamrab oladi va zarracha hajmiga  $D^{-1}$  ( $D$ -zarracha o'lchami) tartibidagi o'zgarish beradi. Tadqiqotlar ko'rsatishicha, nanozarrachalarda sirtiy relaksatsiya sirtda eng katta va zarracha markaziga tomon kamayib boradi, hamda ayrim sharoitlarda tebranuvchi bo'lishi ham mumkin. Bunday tebranishlar tufayli yuz beradigan sirtiy relaksatsiya aynigan elektron gaz zichligining Fridel tebranishlari bilan bog'langan.

Fridel tebranishlari elektron-fonon o'zaro ta'sirlashuvi vositasida panjaraga uzatiladi va tekisliklararo masofani qisqartiradi. Fridel tebranishlari amplitudasi sirtdan uzoqlashishi bilan kamayib boradi. Aytish kerak-ki, panjara parametri va kristall o'lchamlariga bog'liq ravishda sirtiy relaksatsiya zarracha hajmini faqatgina kichraytirib qolmasdan, uni kattalashtirishi ham mumkin.

Atomlararo masofalar va panjara parametri o'zgarishining yana bir sababi diametri  $5 \text{ nm}$  dan kam bo'lgan nanozarrachalar tarkibidagi atomlar sonining kamayishi ham bo'lishi mumkin. Haqiqatda, o'zaro

ta'sirlashuvchi atomlar soni cheklanishi nanozarrachalarda atomlarning radial taqsimotini yirik kristallardagi shunday taqsimotdan farqli bo'lishiga olib keladi.

Hulosa qilib aytganda, nazariy tahlillar nanomaterial kristall panjarasi parametri nanozarracha o'lchamlariga bog'liq ravishda qanday o'zgarishiga aniq javob bera olmasligini ko'rsatdi. Nanozarrachalar o'lchamlari kichrayishi bilan panjara parametri kichrayishi ham, kattalashishi ham mumkin ekan.

### 2.3. Fononlar spektri va issiqlik sig'imi

Nanokristallar termodynamik xarakteristikalarini yirik moddalarni kiga nisbatan o'zgarishining asosiy sababi, fononlar spektrining ko'riishi va chegaralari o'zgarishidan iborat, ya'ni atomlar tebranishlari chastotalari taqsimot funksiyalarining o'zgarishidir. Buni kremniy monokristali namunalarini va uning kukunlarini sekin neytronlarning noelastik sochilishi usulida o'rghanish natijalari tasdiqlaydi. Chastotalar taqsimoti  $g(\omega)$  funksiyalari mayda kukunlar va yirik Si namunalari uchun sezilarli farq qiladi.

Tadqiqotlar mayda zarrachalarning fononlar spektrida, yirik namunalar kristallarida uchramaydigan, past chastotali moddalar paydo bo'lishini ko'rsatadi. Nanozarrachalarda zarrachaning eng katta o'lchami  $D$  ni ikkilangan qiymatidan katta bo'limgan uzunlikka ega bo'lgan to'lqinlar hosil bo'lishi mumkin. Shuning uchun fononlar spektri past chastotali tebranishlar tomonidan eng kichik chastota  $\omega_{\min} \sim c/2D$  ( $c$ -tovush tezligi) bilan chegaralangan, yirik namunalarda esa bunday cheklangish bo'lmaydi.  $\omega_{\min}$  ning qiymati moddaning xossalari, zarrachaning shakli va o'lchamlariga bog'liq. Zarrachaning o'lchamlarini kichraytirish fononlar spektrini yuqori chastotalar tomoniga siljitimini kutish mumkin. Nanozarrachalarning tebranish spektrlarining alohida xossalari birinchi navbatda uning issiqlik sig'imida aks etadi.

Past chastotali tebranishlar tomonidan cheklangan xususiy tebranishlar taqsimotini o'rghanish asosida to'g'ri burchakli zarrachani geometrik xarakteristikalarini hisobga olgan holda, xusuviy tebranishlar sonini ta'riflovchi o'xshash ifodalar taklif etilmoqda. Unga asosan, to'g'ri burchak shaklidagi, qirralari  $L_x$ ,  $L_y$ ,  $L_z$  bo'lgan zarracha spektrining chastotalar bo'yicha taqsimot funksiyasi:

$$g(\omega) = \frac{V\omega^2}{2\pi^2 c_3} + \frac{S\omega}{8\pi c_2} + \frac{L}{16\pi c_1}, \quad (2.22)$$

bunda  $L_x L_y L_z = V$ ,  $S = 2(L_x L_y + L_x L_z + L_y L_z)$ ,  $L = 4(L_x + L_y + L_z)$ - nanozarrachaning mos holda, hajmi, sirt yuzasi va qirralarining umumiy uzunliklari,  $c_i$  va  $c_j$  - bo'yylama va ko'ndalang elastik tebranishlar tezligi,  $c_j^{-1} = c_{\ell}^{-j} + 2c_t^{-j}$  - effektiv tezlik ( $g(v)$  danv  $g(w)$   $g(\omega)$  ga o'tishi da  $g(\omega) = (1/2\pi) g$  ifodadan foydalanildi. Aytish kerak-ki, elastiklik nazariyasida faqatgina  $c_3^{-1} = c_t^{-3} + 2c_t^{-3}$  ifoda fizik jihatdan tovushning yirik moddadagi effektiv tezligi sifatida aniq belgilangan,  $V \rightarrow \infty$  da sirtiy holatlar tufayli vujudga keladigan chegara shartlari ahamiyatga ega emas.

$c_2^{-1}$  kattalikning ifodasi, aniq chegara shartlari

$$\sum_{\ell} [\delta_{k\ell} (A - B) \operatorname{div} u + B (\partial_{\ell} u_k + \partial_k u_{\ell})] = 0 \quad \text{mavjudligida, quyida-}$$

gi ko'inishga ega:

$$c_2^{-1} = \frac{2c_t^4 - 3c_t^2 c_l^2 + 3c_l^4}{c_t^2 c_l^2 (c_l^2 - c_t^2)}. \quad (2.23)$$

Bu ifodada zarrachaning chekli o'lchamlari bilan bog'liq bo'lgan moddalarning o'zaro aralashish effekti ham hisobga olingan.  $s_1^{-1}$  uchun aniq ifoda hozirgacha noma'lum.  $N$  atomli zarracha uchun normal modalar umumiy soni

$$3N = \int_{w_{\min}}^{w_{\max}} g(w) dw \quad (2.24)$$

bundan (2.23) ni e'tiborga olinsa,

$$\omega_{\max} \approx \omega_{\max} + \left( \frac{18\pi^2 N c_3}{V} \right)^{1/3} \times \left[ 1 - \frac{S}{144\pi c_2 N^{1/3}} \left( \frac{18\pi^2 N c_3}{V} \right)^{2/3} + \Delta(N^{-2/3}) \right] \quad (2.25)$$

hosil bo'ladi. Bunda  $N^{-2/3}$  tartibidagi  $\Delta(N^{-2/3})$ -to'ldirish hadi,  $\omega = 2\pi\nu$  bo'lgani uchun  $\omega_{\max} = 0$  da (2.25) ifoda  $\omega_{\max}$  dagi o'xshash ifoda bilan to'la mos keladi.

Fononlar spektri chegaralarini hisobga olgan holda mayda zarracha issiqlik sig'imini topish mumkin:

$$C_V = \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \frac{\partial \varepsilon(\omega, T)}{\partial T} g(\omega) d\omega, \quad (2.26)$$

$\varepsilon(\omega, T) = (\hbar\omega / 2) cth(\hbar\omega / 2k_B T)$  -ossillyatorning o'rtacha energiyasi.

$T \rightarrow 0$  da mayda zarracha issiqlik sig'imini  $\omega_{\max} = 0$  taqribda

$$\begin{aligned} C_V(r) = & \frac{4k_B V \omega_{\max}^3}{\pi^2 c_3} \left( \frac{k_B T}{\hbar \omega_{\max}} \right)^3 I_4 + \left( \frac{k_B S \omega_{\max}^2}{2\pi c_2} \right) \left( \frac{k_B T}{\hbar \omega_{\max}} \right)^2 I_3 + \\ & + \left( \frac{k_B L \omega_{\max}}{8\pi c_1} \right) \left( \frac{k_B T}{\hbar \omega_{\max}} \right) I_2 \end{aligned} \quad (2.27)$$

ko'rinishida yozish mumkin.

$$\text{Bunda } I_m = (4m! / 2^{m+1}) \sum_{N=1}^{\infty} N^{-m} \equiv (4m! / 2^{m+1}) \zeta(m)$$

- Rimanning dzeta funksiyasi ( $I_4 = \pi^4 / 30$ ;  $I_3 = 1,8031$ ;  $I_2 = \pi^2 / 6$ ). Agar deb olsak, ya'ni yirik kristallning maksimal chastotasi bilan mos keladi deb olsak, u holda (2.27) dagi birinchi had issiqlik sig'imiga Debye hissasi  $(12\pi^4 N k_B / 5) (T / \vartheta_D)^3$  bo'ladi ( $\vartheta_D = \hbar \omega_{\max} / k_B$  - yirik kristallning Debay temperaturasi). U holda (2.27)ni quyidagicha yozish mumkin:

$$C_V(r) = a_3 V T^3 + a_2 S T^2 + a_1 L T \quad (2.28)$$

bunda  $a_1, a_2, a_3$  - musbat doimiyalar.

(2.27) va (2.28) lardan ko‘rinadiki, mayda zarrachalar holida issiqlik sig‘imida ularning katta sirti tufayli vujudga kelgan hissasi ham bor va uning past temperaturali issiqlik sig‘imi ortishi va unga mos holda Debay temperaturasi kamayishini kutish mumkin. Chastotalar taqsimot funksiyasi  $g(\omega)$  ni hisoblashga kvant fizikasi asosida yondoshilganda  $r$  radiusli  $N$  atomga ega bo‘lgan mayda zarrachalar uchun

$$g(\omega) = \sum_{\ell,s} \delta(\omega - \omega_{\ell,s}), \quad (2.29)$$

bunda  $\delta$  –ruxsat etilgan qo‘shni holatlar orasidagi energetik tirkish

$\omega_{\lambda,s} = k_{\ell,s} c_t = c_t a'_{\ell,s} / r$  – to‘lqin vektori,  $c_t$  – ko‘ndalang elastik tebranishlar tezligi,  $a'_{\ell,s} = \lambda$  – tartibli Bessel sferik funksiyasidan olingan hosilaning  $c$  - noli,  $k_{\ell,s}$  (yoki  $a'_{\ell,s}$ )  $(2\lambda+1)$ -aynish.

$N$  ta atomli radiusi  $r$  bo‘lgan sferik zarracha uchun to‘lqin vektori eng katta bo‘lgan holda moddalarning umumiy soni

$$N = \frac{2}{9\pi} r^3 k_n^3 + \frac{1}{4} r^2 k_n^2 + \frac{2}{3\pi} r k_n \quad (2.30)$$

bunda  $k_n$  – mayda zarracha tebranishlari eng katta chastotasi  $\omega_{\max}$  ga mos keluvchi chegaraviy to‘lqin vektori. (2.30) ning o‘ng tomonidagi hadlar hajmiy, sirtiy va chizig‘iy xissalarni bildiradi.

Chegaralangan  $r$  o‘lchamli kristallning molyar issiqlik sig‘imi ko‘rinishi quyidagicha:

$$C_V(r) = 3N_A k_B \sum_{j=1}^{3N} \frac{(\hbar\omega_j / k_B T)^2 \exp(\hbar\omega_j / k_B T)}{\left[\exp(\hbar\omega_j / k_B T)\right]^2}, \quad (2.31)$$

bundagi  $\omega_j$  chastota, (2.30) ga asosan, zarracha o‘lchamiga bog‘liq. Bu ifodaning temperaturalar oraliq‘ida Puasson formulasidan foydalanib asimptotik yoyilmasi quyidagi ifodani beradi:

$$C_V(r) = C_V + \vartheta_m \frac{9\zeta(3)k_B^3 T^2}{4\pi\hbar^2 c^2 r} + \vartheta_m \frac{k_B^3 T}{6\hbar c r^2}, \quad (2.32)$$

bunda  $\vartheta_m$  – molyar hajm,  $\zeta(3)=1,20206$ .  $r \rightarrow \infty$  da (2.32) ning ikkinchi va uchinchi hadlari 0 ga aylanadi, birinchi had esa issiqlik sig'imi uchun Debay ifodasiga teng bo'ladi.

$$C_V = 9R \left( \frac{T}{\vartheta_D} \right)^3 \int_0^{\vartheta_D/T} \frac{x^4 \exp\{x\} dx}{(\exp\{x\}-1)^2} = 9R \left( \frac{T}{\vartheta_D} \right)^3 D(x). \quad (2.33)$$

Yuqori temperaturalarda  $T \gg \vartheta_D$  (2.33) ni integrallashning yuqori chegarasi  $1 \gg \vartheta_D/T \rightarrow 0$ ,  $D(x) \rightarrow (1/3)(\vartheta_D/T)^3$  va issiqlik sig'imi  $C_V \rightarrow 3R$ , ya'ni Dyulong-Pti qonuni bilan aniqlanadigan chegaraviy qiymatga intiladi. Aniq hisoblar ko'rsatishicha, (2.32) ning ikkinchi va uchinchi hadlari yig'indisi, ya'ni mayda zarrachalar issiqlik sig'imating tebranishlarga tegishli qismining ortishi, kvant o'lchamlik effektlarini e'tiborga olgan holda:

$$\Delta C = C_V(r) - C_V = \vartheta_m \sum_{\ell} \sum_s \frac{3(2\ell+1)k_B}{4\pi r^3} \xi^2 \frac{\exp\{\xi\}}{(\exp\{\xi\}-1)^2} \quad (2.34)$$

ko'rinishga ega bo'ladi. Bunda  $\xi = \hbar c a'_{l,s} / k_B r T$ , (34) ning s va

$l$  ni  $\sum_{l=0}^{l_{\max}} (2l+1)$  gacha birga qiymatlari bo'yicha yig'indisi olindи. (2.34) va (2.32) ifodalar va (2.27) yoki (2.36) formulalardan ko'rindik,  $\eta \omega_{\min} / k_B \ll T < \vartheta_D$  bo'lganda, mayda zarrachaning issiqliq sig'imi  $C_V(r)$  farqi yirik kristall issiqlik sig'imi  $C_V$  dan katta va zarracha o'lchami ortishi bilan ( $r \rightarrow \infty$ ) bular orasidagi farq

$\Delta C = C_V(r) - C_V \rightarrow 0$  bo‘ladi. Past temperaturalarda ( $T \rightarrow 0$ ) (2.31) ko‘rinishidagi issiqlik sig‘imi asimptotik holda

$$C_V(r) \approx 3N_A k_B \left( \frac{\hbar\omega_{\max}}{k_B T} \right)^2 \exp \left\{ -\frac{\hbar\omega_{\max}}{k_B T} \right\} \quad (2.35)$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi.

( $T \rightarrow 0$ ) da bu farq  $C_V(r)$  (2.33) dagi  $C_V$  ga nisbatan tezroq kamayadi va past temperaturalar sohasida  $\Delta C = C_V(r) - C_V < 0$  bo‘lishi mumkin, bu demak, biror  $T_0$  temperatura mavjudki, undan past  $T < T_0$  da  $\Delta S < 0$  va  $T > T_0$  da  $\Delta S > 0$ . Umuman, yirik metallarda past va yuqori temperaturalar sohasida elektronlar nim tizimi issiqlik sig‘imiga yetarlicha elektronlar hissasi  $C_{el} = \gamma_e T$  ni qo‘shadi.

Nanozarrachalar elektron issiqlik sig‘imini, ulardagi atomlar soni cheklanganligi tufayli vujudga keladigan elektronlar energetik sathlarning uzlukligi tufayli, baholash qiyinlashadi. Mayda zarralar va past temperaturalar holatida, sathlararo masofa  $\delta = \eta r_G / 2t^* D > k_V T$  ( $r_G$  – Fermi impulsi,  $D$  – zarracha o‘lchami,  $t^*$  – o‘tkazuvchanlik elektronining effektiv massasi) bo‘lganida uning elektron issiqlik sig‘imi  $C_{el}$  yirik metallnikidan ko‘p marta farqli bo‘lishi mumkin.  $S_{el}(T)$  funksiya energetik sathlar taqsimoti bilan belgilanadi. Elektron sathlarni tasodifiy taqsimoti holatida elektron issiqlik sig‘imi  $\gamma_e^* = (2/3) \gamma_e$  koeffitsient bilan temperaturaga bog‘liq bo‘ladi. Ikki o‘lchamli tizimlarda issiqlik sig‘imining nazariy tahlili ko‘rsatishicha, uning elektron qismi  $T$  ga chiziqli bog‘lanish holida qoladi, tebranishlarga tegishli qismi esa, temperatura kvadratiga proporsional ravishda o‘zgaradi. Bunday xulosa mayda zarrachalar issiqlik sig‘imining temperaturaga bog‘lanishi ifodasi sirtlar hissasi bilan bog‘liq bo‘lgan  $bT^2$  had paydo bo‘lishi bilan tasdiqlangan.

Chegaraviy to‘lqin vektori  $k$  bo‘lgan yirik kristall uchun (2.30) ifodani murakkab bo‘lmagan o‘zgartirishlardan keyin Debay temperaturasining o‘lchamlarga bog‘liqlik ifodasi olinadi. Agar  $k = (6\pi^2/\vartheta)^{1/3}$  – yirik modda chegaraviy to‘lqin vektori va  $\vartheta = V/N$ -atom hajmi bo‘lsa,  $N = (2/9\pi)k^3r^3$  bo‘ladi. (2.30) ifodani e’tiborga olinsa,

$$k^3 r^2 = r^2 k_n^3 + \frac{9\pi}{8} r k_n^2 + 3k_n \quad (2.36)$$

hosil bo‘ladi yoki birinchi tartibli hadlar aniqligida  $k_n = k(1 + \Delta k / k_n)$  deb olinganda ifoda quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\frac{k_n}{k} = \frac{\vartheta_D(r)}{\vartheta_D} \approx \frac{3r^2 k^2 + (9\pi / 8)rk}{3r^2 k^2 + (9\pi / 4)rk + 3}. \quad (2.37)$$

(2.30) ifodani oxirgi qo‘shiluvchisi  $rk_n$  ni hisobga olmaganda Debye temperaturasi uchun soddaroq ifoda hosil qilish mumkin:

$$\frac{k_n}{k} = \frac{\vartheta_D(r)}{\vartheta_D} \approx \frac{1 + (3\pi / 8rk)}{1 + (3\pi / 4rk)}. \quad (2.38)$$

Biroz kamroq anqlik bilan bu ifodani yanada soddaroq ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\frac{\vartheta_D(r)}{\vartheta_D} \approx 1 - \frac{3\pi}{8rk}. \quad (2.39)$$

Hajmi  $V$  va sirt yuzasi  $S$  bo‘lgan ixtiyoriy shakldagi mayda zarracha uchun  $\vartheta_D(r)$  ni aniqlash uchun  $r \approx 3V/S$  deb olib, (2.38) yoki (2.39) formulani qo‘llash mumkin

$$\frac{\vartheta_D(r)}{\vartheta_D} \approx \frac{1 + (\pi S / 8Vk)}{1 + (\pi S / 4Vk)}. \quad (2.40)$$

Sirtiy taranglik  $\sigma$  ni ham qo‘shib hisobga olinganda (2.39) ifoda quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{\vartheta_D(r)}{\vartheta_D} \approx 1 + \left[ \frac{2K\sigma\gamma}{r} - \frac{3\pi}{8r\chi T} \right], \quad (2.41)$$

bunda  $\gamma$ —Grunayzen doimiysi,  $X_T$ —izometrik siqiluvchanlik. Debye  $\vartheta_D(r)$  temperaturasining tovush effektiv tezligi  $c$  ga bog‘liqligini

zarrachani tebranish chastotasi maksimal qiymati  $\omega_{\max} = \alpha'_{\max} c(r) / r$  ifodasidan foydalanim topish mumkin:

$$\vartheta_D(r) = \frac{\hbar \omega_{\max}}{k_B} = \frac{\eta \alpha'_{\max} c(r)}{k_B r} \quad (2.42)$$

Ko'p hollarda nanozarracha Debay temperaturasi  $\vartheta_D(r)$  mos holdagi yirik moddaniki  $\vartheta_D$  dan kichik bo'lgani uchun (2.42) ifodadan nanozarrachalarda tovush tezligi ularning o'lchamlari kichrayganda  $r^m (m > 1)$  ga proporsional ravishda kamayadi.

Mayda zarrachalar fononlar spektrining o'zgarishi atomlarning o'r-tacha kvadratik dinamik siljishlari kattaligiga ham ta'sir etishi kerak:

$$\langle u^2 \rangle = \frac{1}{Nm} \int_{\omega_{\min}}^{\omega_{\max}} \frac{\varepsilon(\omega, T)}{\omega^2} g(\omega) d\omega \quad (2.43)$$

Issiqlik sig'imi – nanozarrachalarning eng ko'p o'r ganilgan xos-salaridan biri va uning temperatura va o'lchamlarga bog'liqliklaridan, hamda Debay temperaturasi tadqiqotlaridan nanozarrachalar haqida ma'lumotlar olish mumkin.

## 2.4. Nanozarrachalarning magnitik xossalari

Nanozarrachalarning o'ziga xos magnitik xossalari ularning elektron va fononlar spektrlarining diskretligidan kelib chiqadi. Mana shunday xossalardan biri paramagnetik metallar nanozarrachalari qabul qiluvchanligining magnitik maydon kuchlanganligi  $N$  ga ossillatsion holda bog'liqligini ko'rish mumkin. Bundan tashqari, kichik o'lchamlar tufayli Kyuri paramagnitizmi Pauli paramagnitizmini sezilarli darajada to'sib qo'yishi mumkin. Elektron holatlar diskretligining mayda zarrachalar magnetik qabul qiluvchanligiga ta'sirini tadqiq etish ko'rsatadi-ki, kuchsizroq magnitik maydon ( $\mu_r N \ll \Delta$ ) holida ( $\Delta$ -qo'shni elektron sathlar orasidagi masofa,  $\mu_r$  – magnitik singdiruvchanlik) juft elektronlar soniga ega metall zarrachalar elektron-spin paramagnitizmi yetarli-cha past, ( $k_B T / \Delta \ll 1$ ) temperaturalarda juda pasayib ketadi, lekin, sust

spin – orbital o‘zaro ta’sir tufayli yo‘q bo‘lib ketmaydi. Toq sonli elektronlar holatida temperatura pasayganda zarrachaning paramagnitik qabulchangligi Kyuri qonuni bo‘yicha ortadi. Yetarlicha katta temperaturalarda ( $k_{\text{B}}T/\Delta > 1$ ) toq va juft elektronli zarrachalar paramagnitizmi asimptotik ravishda Pauli paramagnitizmiga intiladi.

Misol uchun  $\text{Li}(D \sim 1\text{nm})$ ,  $\text{Pt}(D \sim 2\text{nm})$ ,  $\text{Al}(D \sim 2\text{nm})$  nanozarrachalarning magnitik qabulchanligi  $\chi$  past temperaturalarda Kyuri qonuna asosan o‘zgaradi.  $D \approx 3,2$  nm bo‘lgan  $\text{Li}$  nanozarrachalari magnitik qabulchanligi o‘zgarishi past temperaturalarda Kyuri qonuniga, yuqori temperaturalarda Pauli paramagnitizmiga mos keladi.

Magnitik qabulchanlikning nanozarrachalalar o‘lchamlariga bog‘liqligi 1 dan 1000 gacha nanometrli selen va tellur nanozarrachalarida kuza tilgan: Se zarrachalari o‘lchamlarini kichraytirish ular diamagnitizmini ortishiga,  $T_e$  uchun esa Van-Flek orbital paramagnitizmi ortishi tufayli  $\chi$  qarama-qarshi yo‘nalishda o‘zgaradi.

Keltirilgan misollar boshqa ko‘plab metallarda ham biroz chetlanishlar bilan kuzatiladi. Tadqiqotchilarining fikricha, bunday tajribalar natijalari sababi – ushbu metallar juda kichik va nanoo‘lchamli zarrachalarning metallik xossalari ega bo‘lmasligi sababi sirtqi c-elektronlarning bevosita atomlarda joylashganidir. Ularning xossalari yirik metallarnikidan farq qiladi. Shu tufayli klasterlardagi atomlar o‘rtasida oddiy, almashinish o‘zaro ta’sirlashuv mumkin bo‘lib qoladi.

Ferromagnitik moddalar nanostrukturalarida aniqlangan magnitik maydonda uning umumiy energiyasi kamayishiga sabab bu energiyaning elektronlar spinlari parallel joylashganda minimal bo‘ladigan almashinish o‘zaro ta’sirlashuv energiyasi; kristalda yengil va qiyin magnitlanish o‘qlari mavjudligiga bog‘liq bo‘lgan kristall magnitik anizotropiyasi energiyasi; panjara tugunlari orasidagi muvozanatiy masofalar va domenlar uzunligi o‘zgarishi bilan bog‘liq magnitostriksiya energiyasi; kristall hajmida va sirtida mavjud bo‘ladigan magnitik qutblariga bog‘liq magnitostatik energiyalardan iborat bo‘lganligidir. Yengil magnitlanish o‘qi bo‘ylab joylashgan domenlar magnitik oqimlari tutashib qolishi magnitostatik energiyani kamaytiradi, ferromagnetikning bir jinsliligini har qanday buzilishi uning ichki energiyasi ko‘payishiga olib keladi.

Ferromagnetik o‘lchamlari kichrayishi, uning ichidagi magnitik oqimlarning ulanib qolishi energetik jihatdan samarasiz bo‘la boshlaydi.

Ferromagnetik zarracha ko'p domenlik tizimga ega bo'lib turganda uning tashqi magnitik maydon bilan o'zaro ta'siri domenlar orasidagi chegaraviy qatlam (devor) ni siljitimishdan iborat bo'ladi.

Ferromagnetik zarrachalarining bir domenlik holatga yaqinlasha borishi bilan qayta magnitlanish asosiy mexanizmi bo'lib, ko'pchilik alohida atomlar magnitik momentlarining kogerent aylanishi bo'lib qoladi.

Bunga zarrachalar shakli, kristallografik va magnitik anizotropiyalari qarshilik qiladi. Ma'lum bir kritik o'lcham  $D_s$  ga yetganda, zarracha bir domenlik bo'lib qoladi va koersitiv kuch  $N_s$  ning maksimal qiymatiga erishishini ta'minlaydi. Bir domenli sferik zarrachaning kogerent aylanishi tufayli qayta magnitlanish uchun unga  $N_s = 2K/I_s$ , ( $K$ -anizotropiya diomiysi,  $I_s$ -to'yinish magnitlanishi) teskari magnitik maydon (maksimal koersitiv kuch) qo'yilishi kerak. Tajribalarda  $G$ 'e va  $Ni$  ning bir domenli zarrachalari eng kattasi mos holda 20 va 60 nm dan ortmaydi.

Zarrachalar o'lchamini yana ham kichraytirish ularning superparamagnitik holatlarga o'tishi bilan koersitiv kuchni nolgacha keskin kamayib ketishiga olib keladi. Geyzenberg noaniqliklar munosabatlari dan kelib chiqqan holda ko'rsatish mumkinki, issqlik tufayli magnitik moment yo'nalishlari fluktuatsiyasi ferromagnetiklik yo'qolishiga olib keladi, Kyuri temperaturasidan past temperaturalarda ferromagnetizm yo'qolib ketadigan holdagi nanozarranining kritik chiziqiy o'lchami 1 nm atrofida bo'ladi.

Haqiqatan, agar ferromagnitik zarracha chizig'iy o'lchami  $\delta_0$ , zarrachaning ichida erkin tarqala oladigan elektron impulsi  $r$  bo'lsa, u  $\Delta r$  noaniqlikka ega bo'ladi. Geyzenberg noaniqliklariga asosan,  $\Delta r = \eta/\delta_0$ . Zarrachaning o'lchamlari cheklanganligi bilan bog'liq bo'lgan elektron energiyasi bo'lagi:

$$\Delta_{\varepsilon_0} = \frac{(\Delta p)^2}{2me} \approx \frac{\eta^2}{2me\delta_0^2} \quad (2.44)$$

yoki  $\eta$  va  $m_e$  qiymatlarini hisobga olgan holda bo'ladi.

$$\Delta_{\varepsilon_0} \approx \frac{6,1 \cdot 10^{-39}}{\delta_0^2} \quad (2.45)$$

Bunda  $\Delta_{\varepsilon_0}$  joullarda,  $\delta_0$  – metrlarda o'lchanadi.  $\Delta_{\varepsilon_0}$  energiya mag-

nitik momentlarga issiqlik tebranishlariga o'xshash, tartibsizlantiruvchi ta'sir ko'rsatadi. Magnitlanish bir jinsliligi buzilganda o'zaro ta'sir almashish energiyasiga qo'shimcha vujudga keladi. Agar, magnitlanish vektori panjara doimiysi  $a$  ga yaqin masofalarda o'z yo'naliшини teskarisiga aylantirsa, bu qo'shimcha maksimal bo'ladi. Qo'shimchanning fizik mohiyati – almashish energiyasi magnitlanishning har qanday buzilishida ham uning bir jinsliligini saqlab qolishga intiladi, ya'ni almashish energiyasi magnitik tartiblash energiyasidir. Uning maksimal qiymati  $\Delta\epsilon_{almash}^{\max} = AV / a^3$ , bunda  $A$  – almashish energiyasi,  $V$  – jism hajmi.

Magnitlanish bir jinsliligining to'la buzilishi va magnitik momentlarning yo'naliishlari tartibsizlanishi, ferromagnetikning o'z-o'zidan magnitlanishi yo'qolishi Kyuri temperaturasi  $T_s$  da yuz beradi.

Shuning uchun  $\Delta\epsilon_{almash}^{\max}$  qo'shimchasi issiqlik energiyasi  $k_B T_s V / a^3$  dan ancha past bo'lishi kerak. Demak, almashish energiyasi quyidagicha bo'lishi kerak:

$$A \approx k_B T_s. \quad (2.46)$$

Tartibsizlantiruvchi energiya  $\Delta\epsilon_0$  (2.45) va tartiblovchi almashish energiyasi  $A$  (2.46) ni bir-biriga tenglab,  $\Delta\epsilon_0$  energiya ta'sirida har qanday temperaturada ham magnitik momentlarning tartibsizlanishi tuyfayli ferromagnitik zarrachaning ferromagnetizmi yo'qoladigan kritik chizig'i y o'lchovi  $\delta_0$  ni baholash mumkin:

$$\delta_0 [\mu] \approx 2 \cdot 10^{-8} T_c^{-1/2}. \quad (2.47)$$

(2.47) ga asosan, Kyuri temperaturasi 500–1000 K bo'lgan zarrachani ferromagnetizm yo'qoladigan va superparamagnitik holatga o'tadigan kritik chizig'i y o'lchami 1 nm ga teng bo'lar ekan. Ko'pchilik ferromagnetiklar uchun superparamagnitik holatga o'tish zarracha o'lchami 1–10 nm dan kichik bo'lganda yuz berishi mumkin.

Ilmiy adabiyotlar ma'lumotlari tahlili ko'rsatishicha, koersitiv kuch  $N_s$  ning ortishi zarracha o'lchami ma'lum bir kritik o'lchamgacha kamayishida yuz beradi.  $N_s$  ning maksimal qiymatiga Fe, Ni va Co zarrachalari o'rtacha diametri 20–25, 50–70 va 20 nm bo'lganda eriishiladi. Bu qiymatlar birdomenli zarralar  $D_s$  larining nazariy qiymatlariga ya-

qin.  $D < D_s$  bo'lganda  $N_s$  ning kamayishiga sabab faqat supermagnitizm effektigina emas, sirtiy qatlarning boshqa magnitik xossalari ham bo'lishi mumkin.

Agar sirtiy qatlarni past anizotropiyaga ega bo'lsa, u pastroq maydonlarda ham qayta magnitlanishi mumkin va hamma nanozarrachaning qayta magnitlanishini yengillashtirishi mumkin. Nisbiy magnitlanganlik  $I_r / I_s$  ( $I_s$  – metal bo'lagi magnitlanganligi to'yinishi) ni Fe, Ni va Co zarrachalari o'lchamlaridan bog'liqlik grafigi maksimumi bu elementlarga mos  $D_s$  ning maksimal qiymatlari yaqinidan o'tadi.

Magnitlanganlik to'yinishi  $I_s$  pasayishini ayrim mualliflar metall nanozarrachalar sirti oksidalnishidan deb tushuntirsa, boshqalari o'lcham effektlari bilan bog'laydilar.

Umuman olganda, ferromagnitik nanozarrachalar magnitlanishi to'yinishi o'zgarishiga faqat yuqorida keltirilgan mexanizmlargina sababchi bo'lmay, alohida olingan nanozarracha yoki kukunlardagi nanozarrachalar sirt qatlamlarining maxsus holatlari bilan bog'liq ekanligini ko'rish mumkin. Shu bilan birga nanozarrachalarda rivojlangan sirt mavjudligi o'z-o'zidan ularning kichik o'lchamga ega ekanligi natijasidir.

Koersitiv  $N_s$  kuchlarning Fe, Ni va boshqa qotishmalar nanozarrachalari o'lchamlariga bog'liqligini o'rganishlar ko'rsatishicha, Fe nanozarrachalari o'lchamlarini 80nm dan 10–12nm gacha kichraytirish Fe uchun  $N_s$  ning 3 martagacha ortishiga, Ni nanozarralari uchun 15–35 nm atrofida  $N_s$  ning maksimumga erishishi, undan ham kichraytirilganda  $N_s$  ning 5 martagacha kamayishi kuzatilgan.

$\text{Fe}_{0.9}\text{Si}_{0.1}$  qotishmasi nanozarrachalari o'lchami 40nm dan 6 nm gacha kamaytirilganda  $N_s$  5 marta ortgan.

Nanozarrachalarning o'z-o'zidan magnitlanishi hodisasini o'rganishlar Kyuri temperaturasi  $T_s$  ning o'lchamlarga bog'liqligini ko'rsatadi. Nanozarra o'lchami  $D < 10\text{nm}$  bo'lganda  $T_s$  ning sezilarli darajada o'zgarishi yuz beradi,  $D=2\text{ nm}$  da nanozarracha  $T_s$  si massiv metallni-kidan 10% dan ko'p farq qilmaydi. Monte – Karlo usuli bilan superparamagnitik zarrachalar termodinamikasini o'rganish bu zarrachalarda magnitik o'tishlarning ochiq ko'rinish turadigan o'tishlar bo'lmagan uchun, Kyuri temperaturasining zarrachalar o'lchamlariga bog'liq ravishda o'zgarishi haqida gapirish qiyin. Haqiqatan, nanozarrachalarni

supermagnitik holatdan paramagnitik holatga o'tishi sekin - asta, magnitik maydonning keskin o'zgarishlarisiz yuz beradi.

Ni ning 6,0 va 4,8 nm nanozrrachalari diametrlarini 2nm gacha kichraytirilganda  $T_s$  mos holda 7 va 12% gacha kamayishi kuzatilgan. Aytish kerak-ki, ferromagnitik nanozarrachalarda supermagnetizm hodisasi  $N_s$  to'yinish magnitlanishini va Kyuri temperaturasini o'lcham-larga bog'liqligini tadqiq qilishni qiyinlashtirib yuboradi.

Avval aytganimizdek, bir domenli zarracha o'lchamlarini kichraytirish uning ferromagnitik holatlaridan superparamagnitik holatga o'tishiga olib keladi. Issiqlik ta'siridagi o'rtacha issiqlik og'ishlar, agar  $k_p T$  energiya  $E=KV$  anizotropiya energiya ( $K$ -yig'indi anizotropiya doimiysi) ga teng yoki undan katta bo'lsa, magnitik momentlar aylanishini vujudga keltiradi. Tashqi magnitik maydonni to'yintirish uchun yetarlicha bo'lganda hosil bo'ladigan zarrachaning to'la magnitlanganligi, maydon to'xtatilgandan so'ng relaksatsiya vaqtini  $\tau_r$  o'tgandan keyin 0 ga teng bo'lib qoladi.

Diskret oriyentatsiyalar modelida relaksatsiya vaqtini

$$\tau_r = \tau_0 \exp\left\{ \frac{KV}{k_B T} \right\}. \quad (2.48)$$

Agar o'lchash vaqtini  $\tau_m$  relaksatsiya vaqtini  $\tau_r$  dan ko'p marta kichik ( $\tau_m \ll \tau_r$ ) bo'lsa, u holda zarracha o'zining dastlabki ferromagnetik holatini saqlab qoladi. Aks holda,  $\tau_m \gg \tau_r$  bo'lganda issiqlik fluktuatasiyalari magnitik momentlar yo'nalişlarini buzadi va zarracha superparamagnitikdek bo'lib qoladi. Ferromagnitiklikdan superparamagnitik holatga o'tish  $\tau_r = \tau_m$  bo'lgan biror  $T=T_b$  himoyalash temperaturasida yuz beradi. (2.48) ni hisobga olgan holda himoyalash temperaturasi bo'ladi:

$$\tau_r = \tau_0 \exp\left\{ \frac{KV}{k_B T} \right\}. \quad (2.49)$$

Hajmi  $V$  bo'lgan nanozarracha  $T < T_b$  da ferromagnetik,  $T > T_b$  da -superparamagnitik holatlarda bo'ladi.

Berilgan biror temperaturada  $\tau_r = \tau_m$  shart ham kritik himoyalanish hajmi  $V_b$  ni bildiradi:  $V < V_b$  da nanozarrachalar supermagnitik holatida,

$V_b$  da –ferromagnetik holatida bo‘ladi. Hisoblashlar ko‘rsatishicha, tipik ferro- yoki ferromagnetiklar uchun 100 K da kritik hajm  $10^{-27}-10^{-23} m^3$ , ya’ni nanozarrachalar chizig‘iy o‘lchamlari 1–15 nm dan kamroq bo‘lgan holga mos keladi.

Diametri 1,8 dan 4,4 nm gacha bo‘lgan kobalt nanozarrachalari magnitik xossalari 55 kE kuchlanganlikka ega bo‘lgan SKVID – magnitometrida 2–300 K temperatura intervalida o‘rganilgan. 300K da Co nanozarrachalari superparamagnitik holatda bo‘ladi.  $T_b$  ni 22 dan 50K gacha o‘zgartirish zarracha o‘lchamini 1,8 dan 4,4 nm gacha kattalash-tirishda  $T_b=KV/30k$ , ya’ni (2.49) munosabat bilan ifodalanadi. Bundan topilgan  $T_b$  (V) bog‘lanishni va  $T_b$  hamda zarracha o‘lchamlari tajribaviy qiymatlardan foydalanib, anizotropiya doimisi  $K$  ning o‘lchamga bog‘liqligi topilgan:  $1,8\text{nm} \leq D \leq 4,4\text{nm}$  oraliqda o‘lchamni kichiklaniши bilan  $K$  ortadi va YOMK kobaltning yirik namunalarinikidan ham katta bo‘ladi. Koersitiv kuch  $H_s$  ni hamma o‘lchamli nanozarrachalar ferromagnitik holatida bo‘ladigan 10 K da o‘lchanganda n-Co zarrachalari o‘lchamlarining kattalashishi bilan uning ortishi bir domenli zarrachalar xossasiga mos keladi. Kobalt nanozarachalari uchun  $T_b$ ,  $K$ ,  $H_s$  larning o‘lchamga bog‘lanishlari tabiatiboshqa ferromagnetik metallarning shunday kattaliklariga mos keladi.

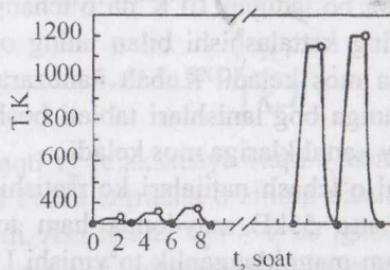
Magnitlanganlikni o‘lhash natijalari ko‘rsatishicha,  $T=2\text{K}$  da Co nanozarrachalarini hatto 55kE maydonda ham to‘yinishga erishilmaydi. Shuning uchun magnitlanganlik to‘yinishi  $I_s(1/n)$  bog‘lanishni  $(1/n) \rightarrow 0$  gacha davom ettirish (ekstrapolyatsiya qilish) orqali topildi. Zarrachalar o‘lhami  $D$  kichrayishi bilan  $I_s$  o‘sса boradi va  $D < 3,3\text{ nm}$  da u yirik (massiv) kobaltning  $I_s$  sidan katta bo‘ladi. Eng mayda Co nanozarrachalari ( $D=1,8\text{nm}$ ) uchun  $I_s$  magnitlanganlik yirik kobaltnikidan 20% ko‘p bo‘lgan.

Nanozarrachalardagi Co atomi magnitik momentining ortishi nazariy jihatdan bashorat qilingan va kobalt klasterlari uchun tajribalarda kuzatilgan.

JYUCH - generatori qo‘llab plazma kimyoviy usul bilan olingan  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanokristali kukunni ( $D \sim 4-7\text{nm}$ ) magnitik xossalarni o‘rganish,  $T_b=80\text{K}$  bo‘lganda u supermagnetik ekanligini ko‘rsatdi. Temperatura  $T < T_b$  gacha pasaytirilganda bu zarrachalar ferromagnetik xos-salarini namoyon qiladi, uning magnitlanganligi qoldig‘i ortib, 20K da eng katta qiymatga erishadi, keyin esa yana pasayadi.

$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanozarrachalari himoyalanish temperaturasining o'lcham-larga bog'liqligi 3–10 nm oraliqda chizig'iy bog'lanishga yaqin bo'lgan va (2.49) funksiya bilan ta'riflanadi.

Mis matriksada taqsimlangan Fe nanozarrachalari superparamagnetizmini o'rganishlar ko'rsatishicha, 0,01% temir atomlari aralashgan dastlabki mis 300–1225 K temperaturalar oralig'ida diamagnitlik xossalariiga ega bo'lgan. Shunday misni teng kanalli burchakli bosimlar (haqiqiy logarifmik bosim darajasi  $e \approx 3,5$ ) ostida o'lchamlari 130–150 nm bo'lgan submikrokristal n-Cu olingan va unda avval erigan temir nanozarrachalari ajralishi kuzatilgan. Magnitik o'lchashlar  $1,3 \cdot 10^{-3}$  Pa ( $10^{-5}$  mm.s.u.) da, maydon induksiyasi 8,8 kHz bo'lgan yuqori darajada sezgir magnitik tarozilarda olib borildi. O'lchashlar 300 K dan T-kuydirish temperaturasigacha qizdirish, shu holda 1 soat ushlab turish, shundan keyin magnitik qabulchanlik  $\chi$  ni o'lchash, 300 K gacha sovutilish va yana  $\chi$  ni o'lchash, yana  $T$  gacha qizdirish va h.k. usulida olib borilgan (2.6 - rasm).

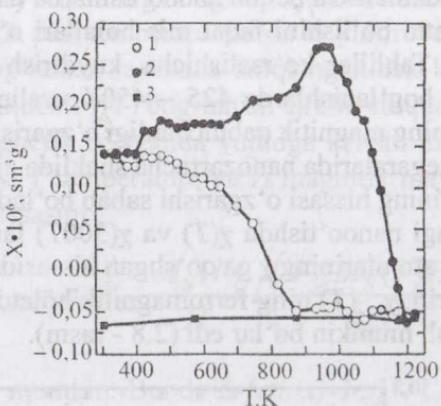


2.6-rasm. Kuydirish tajribasida o'lchashlar ketma ketligi: ○ – kuydirish temperaturasidagi o'lchashlar; ● – kuydirishdan so'ng 300 K gacha sovutilgandagi o'lchashlar.

Temperatura 300 K dan 1225 K gacha har 25 K dan keyin o'zgartirib borilgan. Bevosita kuydirish temperaturasida qilingan o'lchashlar magnitik qabulchanlikka tegishli va  $\chi(t)$  bilan belgilanadi. Kuydirishdan keyin va 300 K gacha sovitilganda o'lchangan  $\chi$  kuydirish egri chizig'iga tegishli va u  $\chi(300, T)$  bilan belgilanadi.

Tadqiqotlar submikrokristall misning magnitik qabul qiluvchanligi dastlabki misnikidan katta va n-Cu qabul qiluvchanligida magnitik maydon kuchlanganligi N ga teskari proporsional bog'lanish vujudga keladi, ya'ni namunada ferromagnitik Fe atomlari mavjudligini ko'rsatadi.

2.7 - rasmdagi  $\chi(300,T)$  bog'lanishni  $T \approx 425\text{K}$  (misni submikro-kristallikdan yirik donadorlik holatiga o'tishi) yaqinida  $\chi$  sakrab o'zgaradi,  $450\text{--}650\text{ K}$  oraliqda ko'p o'zgarmaydi va keyingi temperatura ortishida  $\chi$  o'sadi,  $975\text{K}$  da maksimumdan o'tadi va diamagnetik qiymatlarga gacha pasayishi kuzatiladi,  $850\text{K}$  da misning  $\chi$  sining temperaturaviy bog'lanishiga o'tadi.



2.7-rasm. Magnitik induksiya  $8,8\text{ kHz}$  maydonda temir aralashmali nanskristallik mis ( $n\text{-Cu}$ ) matritsa magnitik qabulchanligi  $\chi$  ning: 1—temperaturaviy bog'lanishi  $\chi(T)$ ; 2—kuydirishga bog'lanishi  $\chi(300,T)$ ; 3— $0,01\%$  temir aralashmasi bo'lgan misning qabulchanligining temperaturaning orqaga qaytishiga bog'liqligi.

$T < 425\text{ K}$  larda  $\chi(T)$  bog'lanishda  $\chi$  ning pasayishi,  $425\text{--}475\text{ K}$  oraliqda diamagnetiklik qiymatgacha tushishi va  $850\text{ K}$  dan boshlab misning magnitik qabulchanligining temperaturaviy bog'lanishiga o'tishi kuzatiladi.  $\chi$  ning magnitik maydon kuchlanganligi  $N$  ga bog'langanligi  $T > 850\text{ K}$  da yo'q bo'ladi.  $1225\text{ K}$  dan  $300\text{ K}$  gacha oraliqda  $\chi(t)$  teskari bog'lanishi  $N$  ga bog'liq emas va  $0,01\%$  temir aralashmali misni  $\chi(t)$  siga mos bo'ladi.

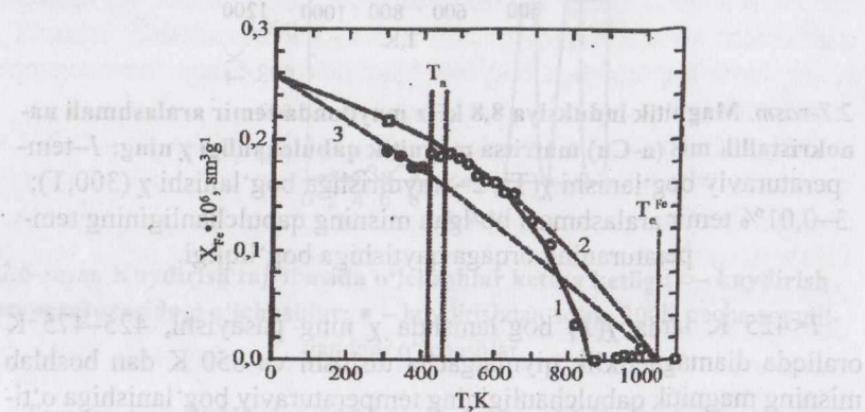
Tadqiqotlarda aniqlangan  $\chi(t)$  va  $\chi(300t)$  ni  $T \approx 425\text{K}$  dagi sakrab o'zgarishi haqida ham misning submikrokristallikdan yirik donadorlik holatiga o'tishini bildiradimi degan savolga javob olish uchun nazariy va tajribaviy ma'lumotlar tahlil qilindi.

Mis kristallarining magnitik qabulchanligi asosiy tarkibiy qismlari - atomlar asoslari diamagnetizmi, Paulining spin paramagnetizmi va

o'tkazuvchanlik elektronlarining Landau diamagnetizmidir. Bu hissalar yig'indisi mis uchun manfiy, shuning uchun mis diamagnetik bo'ladi. Ko'rileyotgan holatda temir zarrachalari to'plamlari tufayli n-Cu qabulchanligi musbat ishorali bo'ladi. Submikrokristall misning nisbatan past qabulchanligi Fermi sathida holatlar zichligi va o'tkazuvchanlik elektronlari effektiv massasi kichikligi sababli bo'lishi mumkin.

Lekin, bu  $\chi(T)$  ning bunday katta o'zgarishlariga olib kelmasligi kerak. Shuning uchun n-Cu uchun nanoo'tishlarda ( $\Delta\chi = \chi(300, T) - \chi(T)$ ) ning 500K da katta bo'lishini faqat mis holatlari o'zgarishi bilan tu-shuntirish qiyin. Tahllillar ko'rsatishicha, kuydirish  $\chi(300T)$  va temperaturaviy  $\chi(T)$  bog'lanishlarda 425 – 450K oraliqda  $\chi$  ning sakrab o'zgarishiga misning magnitik qabulchanligi o'zgarishi emas, balki mis donadorliklari chegaralarida nanozarracha shaklida ajralib chiqayotgan temir zarrachalarining hissasi o'zgarishi sabab bo'ladi.

Agar n-Cu dagi nanoo'tishda  $\chi(T)$  va  $\chi(300T)$  lar bog'lanishlarda sakrash kirishma atomlarining  $\chi$  ga qo'shgan hissasidan deb olsak,  $\chi(T)$  dan  $\chi_{Cu}(T)$  ni ayirib,  $\chi_{Ge}(T)$  ning ferromagnitik holatdagi qabulchanligi hissasini hisoblash mumkin bo'lar edi (2.8 - rasm).



2.8-rasm. Kirishmaviy superparamagnitik fazaning magnitik qabulchanligini temperaturaviy bog'lanishi aproksimatsiyasi:

(1-2) – qabulchanlikning nanoo'tishdan keyingi Fe kirishmalari eruvchanligini hisobga olgan va olmagan holdagi o'zgarishlari, (3) – qabulchanlikning nanoo'tishdan avvalgi o'zgarishi; (□) – superparamagnitik qabulchanlikning misga nanoo'tishdan keyingi 300K dagi qiymati. Tik uzuq chiziqlar  $T_n$  va temir uchun Kyuri temperaturasini  $T_e^Fe$  temperaturalari yaqinida nanoo'tishlar sohasini bildiradi.

Bu faza sirtiy yoki hajmiy bo'lishi mumkin. Agar faza sirtiy bo'lsa, u ikki donadorlik o'rtasida joylashgan bo'lishi mumkin, agar hajmiy (o'lchamli) bo'lsa – u uch yoki undan ko'p donadorliklar uchrashgan joyda bo'ladi. Buni chuqurroq o'rganish uchun  $\chi_{Fe}(T)$  ni temir yig'ilmlari zarrachalarini bir xil o'lchamli va Fe uchun Kyuri temperaturasi Ts ni nanozarracha o'lchamiga bog'liq emas deb faraz qilamiz. Oddiy ferromagnetiklarda past temperaturalarda to'yintiruvchi magnitik maydonidagi  $\chi(T)$  bog'lanish tajribada aniqlanganidek kuchli emas. Past temperaturalarda kuchli  $\chi(T)$  bog'lanish ajralib chiqqan temir zarrachalar superparamagnetik bo'lganda vujudga kelishi mumkin. O'lchamiksiz kattaliklarda T temperatura va H magnitik maydonda  $\chi_{SP}$  supermagnetizmlilik hissasini

$$\chi_{SP} = n_{SP} V_{SP} \frac{M_s(T)}{H} L \left( \frac{V_{SP} M_s(T) H}{k_B T} \right), \quad (2.50)$$

ko'rinishda olish mumkin. Bunda  $L-[cth(x)-1/x]$  – Langranj funksiysi,  $n_{SP}$  – superparamagnitik zarrachalarning birlik hajmdagi soni;  $V_{SP}$  – zarracha hajmi,  $M_s(T)$  - T temperaturalarda ferromagnitik fazaning to'yinish magnitlanishi qiymati.

$M_s(T)$  quyidagi tenglamani yechishda aniqlanishi mumkin:

$$\frac{M_s(T)}{M_s(0)} = th \left( \frac{M_s(T) T_C}{M_s(0) T} \right), \quad (2.51)$$

$M_s(0)$  – T=0K da to'yinish magnitlanishi. Temir kristallari uchun  $M_s(0)=1740\text{Hz}$  va  $T_C=1043\text{K}$ .  $M_s(0)$  ning ushbu qiymatiga Fe atomi uchun  $2,22 \mu_r$  ( $\mu_r$  – bor magniton) magnitik moment mos keladi.

Ferromagnetik hissasi oddiy monokristall temir uchun Kyuri temperurasidan bir qancha past bo'lgan 850 K da yo'q bo'ladi.

Bu esa, misda ferromagnetik aralashmasining 850K da to'la singib ketishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Fazalar diagrammasiga, asosan, misda erigan temir zichligi  $c_{Fe}(T)$  temperatura ortishi bilan quyidagicha ortadi:

$$c_{Fe}(T) = c_{Fe}(0) - C \exp \left\{ -\frac{E_m}{k_B T} \right\}. \quad (2.52)$$

bunda  $c_{G'e}(0) \approx c_{G'e}(300)$ - erigan Fe ning 0 K da maksimal zichligi yoki unga amalda teng bo'lgan 300K dagi zichlik;  $C$ -doimiy son;  $E_m$  - siljish energiyasi. Hisoblashlarga, asosan,  $C=43$ ,  $E_m/k_v = 9217\text{K}$  yoki  $E_m = 0,79\text{eV}$ .

O'lchamliksiz hajmiy  $\chi_{SP}$  va atomlar zichligi  $c_{Fe}$  dan ferromagnitik fazaning (zichligi eruvchanlik natijasida o'zgarib turuvchi) massiv ( $\chi$ ) ga o'tishi uchun quyidagi ifodadan foydalanish mumkin:

$$\chi_{Fe}(T) = \chi_{SP}(T, n_{SP}, V_{SP}) c_{Fe}(T) \frac{A_{Fe}}{A_{Cu} \rho_{Fe}}, \quad (2.53)$$

bunda  $A_{Cu} = 63,55$  va  $A_{Fe} = 55,85$  – mis va temirning atom og'irliliklari,  $\rho_{Fe} = 7,86\text{g.sm}^{-3}$  – temir zichligi.  $\chi_{Fe}(T)$  ni, (2.50)–(2.52) larni hisobga olgan holda, (2.53) ifodaga asosan 425–1053K oralig'ida aproksimatsiyareshash va Kyuri temperaturasi  $T_s = 1043\text{K}$ , siljish energiyasi  $E_m = 0,79\text{eV}$  ligini e'tiborga olinsa, tajriba va hisoblash natijalarini birmuncha mos kelishi kuzatiladi.

Shunday qilib, agar temirning misda 650K gacha eruvchanligi hisobga olinmasa, supermagnitik kirishmaning misdag'i hajmiy zichligi  $n_{SP} V_{SP}$  ning nanoo'tishdan avvalgi va keyingi qiymatlari bir xil. Bundan kelib chiqadiki, (2.50) ga asosan har ikki supermagnitik holatdagi hissalar 0 K da bir xil bo'ladi. Kyuri temperaturasi supermagnitik zarrachalar o'lchamlariga bog'liq emas, nanoo'tishda misning  $\chi$  si o'zgarmaydi deyilsa,  $\chi_{Fe}$  ning tajribaviy qiymatini nanoo'tishgacha bo'lgan  $\chi$  bo'yicha aproksimatsiyalash mumkin (2.8-rasm, 3-egri chiziq). Bundan ko'rindaniki, nanoo'tishgacha supermagnitik zarracha hajmi 1,62 marta kichik edi.

Nanoo'tishdan keyingi nanozarrachalar o'rtacha o'lchami esa o'tishdan keyingisidan  $(1,62) = 31,17$  marta kichik.  $\chi(T)$  ni nanoo'tishdan oldingi va keyingi qiymatlari orasidagi farqni superparamagnitik nanozarrachalarning o'rtacha o'lchamlarini 2,8 dan 3,3 nm gacha ortishi bilan izohlash mumkin.

Bitta superparamagnitik kirishma zarrachasiga misning  $V = 1/n_{SP}$  ga teng hajmi to'g'ri keladi. Bundan mis zarrachasining chizig'iy o'lchamini topish mumkin, ya'ni har bir superparamagnitik zarracha ga nanoo'tishdan keyingi diametri 128nm va o'tishdan keyin 150nm bo'lgan mis zarracha mos kelar ekan.

Bu o'lcham misning namunadagi mis zarrachalarining o'tishdan oldingi va keyingi o'lchamlariga mos keladi va shunga asosan, kirishma atomlari misda bir tekis taqsimlangan va har bir mis donasiga bitta temir zarrachasi mos keladi. Bu Fe zarrachasi bir necha mis zarrachalar tutashgan tugunda joylashgan bo'lishi mumkin. Mis zarrachalari kattalashishida, ya'ni mis atomlari submikrokristallik holatidan yirikroq donadorlik holatiga o'tishi natijasida, zarrachalar tutashgan joylar soni kamayadi va temir kirishma atomlari donadorlik sirtlari bo'ylab qolgan tugunlarga tomon diffuziyalanadi.

Bu holda qolgan nanozarrachalar o'lchamlari kattalashib, ular soni kamayadi. Yuqoriroq temperaturalarda ham mis zarrachalari o'lchamlari ortishi jarayoni davom etadi. 450–600 K oralig'ida  $\chi(300, T)$  bog'lanish o'zgarmaydi (2.7-rasm). Bu esa supermagnetik zarracha holati, ya'ni zarrachalarning soni va o'lchamlari ko'rsatilgan temperatura oralig'ida va keyingi kuydirishlarda o'zgarmaydi.  $\chi(T)$  ni hisoblashlar buni tasdiqlaydi (2.8-rasm 1 va 2 egri chiziqlar), ya'ni 450–600 K oraliqda temir atomlarining eruvchanligi hisobga olmasak ham bo'ladigan dara-jada kichik.

Kuydirish temperaturasini 650 dan 975 K gacha orttirganda  $\chi(300, T)$  ning  $\sim 10^{-7} \text{ sm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  qadar ortishi qisman 300 K gacha sovutilgan superparamagnitik zarrachalar o'lchamlarining ortishi va mos holda kirishmalar hissasining 300°K da ortishi bilan bog'liq. Lekin, bu bilan  $\chi(300, T)$  ning faqat  $\sim 2 \cdot 10^{-8} \text{ sm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  qadar ortishini tushuntirish mumkin. Magnitik qabulchanlik  $\chi$  ning ortishi qolgan qismini boshqa omillar, masalan, nanozarrachalar to'ynish magnitlanishi  $M_s$  ning yirik namunalarda kichikligi yoki sovutishda ko'p miqdordagi ferromagnitik massalarning ajralishi bilan tushuntirish mumkin. Tahlillarning ko'rsatishicha,  $\chi$  ning 1000–1225 K oralig'ida kamayishi namunalarni katta tezlikda sovutish, ya'ni yuqori temperaturali holatda toplash orqali undagi ferromagnitli kirishma zarrachalarining misda to'la erigan holatini saqlab qolgan holdagina yuz beradi. Agar misni sekin sovutilsa, misdagi temir atomlari ferromagnetik fazalarga birikishga ulguradi va 2.7-rasmdagi  $\chi(300, T)$  ning maksimumdan keyingi kamayishi kuzatilmaydi.

Shunday qilib, magnitik qabulchanlikni o'lchashlar diamagnetik taglikdagi ferromagnitik nanozarrachalar xossalarni o'rganishda ko'proq axborot olish mumkin bo'lgan usul ekan. Matritsaning bo'lishi ferromagnitik polikristallning tarkibiy relaksatsiyalanish temperaturasida

nanozarrachalarni tezkor o'sishiga xalaqt berib, shu bilan birga ferromagnitik nanoholatlari mavjud bo'lish temperaturalari oralig'ini ancha kengayishiga olib keladi.

## 2.5. Optik xossalari

Nanozarrachalarda yorug'likni yutilishi va sochilishi yirik namnalarga nisbatan o'ziga xos xususiyatlarga ega. Bu xususiyatlar ko'p sonli zarrachalarni o'rganishda yaqqolroq namoyon bo'ladi. Masalan, kolloid eritmalar va donalangan pardalar nanozarrachalarning maxsus xossalari tufayli tezkor ravishda bo'yalishi mumkin. Dispers muhit optik xossalari o'rganishning eng yaxshi namunasi oltindir. O'z vaqtida Faradey oltinning kolloid eritmasi va yupqa pardasi ranglari o'xshash ekanligiga e'tibor berdi va oltinning dispers tuzilishga ega ekanligi haqida fikr bildirgan.

Yorug'likning nozikdonadorlik metall pardalarida yutilishida spektrning ko'rinishidan qismida yirik namunalarda uchramaydigan yutilish chiziqlari (cho'qqilari) paydo bo'ladi. Masalan, Au zarralarining donadorlik 4 nm diametrli pardalari yorug'likning  $\lambda=560-600$  nm sohasida yaqqol namoyon bo'ladigan yutilish maksimumiga ega. Shunga o'xshash Ag, Cu, Mg, Li, K, Na, K nanozarralari ham optik diapazonda eng ko'p yutilishni ko'rsatadi.

Donalangan pardalarni yana alohida xususiyatlaridan biri yorug'lik spektrining ko'rinish sohasidan infraqizil sohaga o'tganda yutilishning kamayishidir. Tutash metall pardalarda esa, bundan farqli ravishda, yorug'lik to'lqin uzunligi ortishi bilan yutilish ham ortib boradi.

Optik xossalarning o'lchamlik effektlari o'lchamlari yorug'lik to'lqin uzunliklaridan sezilarli darajada kichik bo'lgan va 10–15 nm dan katta bo'limgan nanozarralar uchun muhim rol o'ynaydi.

Nanozarrachalar va yirik metallar yutilish spektrlaridagi farqlar ularning dielektrik singdiruvchanliklari farqi tufayli yuz beradi  $\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2$ . Diskret energetik spektrli nanozarrachalarning dielektrik singdiruvchanligi zarrachalar o'lchamlariga va nurlanish chastotalariga bog'liq. Dielektrik singdiruvchanlik nurlanish chastotasiga monoton emas, balki elektronlar holatlari orasidagi o'tishlar tufayli tez o'zgarib turuvchi holda bog'langan.

Tajribalarda optik xossalarni o'lchash uchun zarrachalarning soni  $10^{10}$  dan kam bo'lmasisligi kerak. Bunday miqdordagi bir xil o'lcham va

shakldagi zarrachalarni hosil qilish amalda mumkin bo‘limgani uchun real sharoitlarda zarrachalar to‘plami uchun tebranishlar tekislanib ko‘rinadi.

Shunga qaramasdan  $\epsilon$  ning o‘rtacha qiymati yirik namuna  $\epsilon$  sidan farq qiladi. Dielektrik singdiruvchanlikning mavhum qismi zarracha radiusi  $r$  ga teskari proporsionalligini ko‘rish mumkin:

$$\epsilon_2(\omega) = \epsilon_{\infty,2}(\omega) + \frac{A(\omega)}{r}, \quad (2.54)$$

bunda  $\epsilon_{\infty,2}(\omega)$  – yirik kristal dielektrik singdiruvchanligining mavhum qismi,  $A(\omega)$  – chastotaga bog‘liq funksiya. Tajribalarda  $r=0,9-3,0$  nm li oltin zarrachalari uchun  $\lambda=510$  nm li o‘zgarmas to‘lqin uzunlikli nurlanishda  $\epsilon_2 \approx 1/r$  ekanligi tasdiqlangan. Zarrachalar o‘lchamiga yutilish sohasi kengligi va uning past chastotali tomoni shakli ham bog‘liq. Au va Ag nanozarrachalarini kichiklanganda yorug‘likni yutilish sohasi kengayishi tajribalarda kuzatilgan.

Yana bir o‘lchamlik effekti – yorug‘likning rezonans yutilishi cho‘qqisining siljishidir. Diametri yirik metalldagi elektronlarning erkin yugurish yo‘li  $\lambda_\infty$  dan kichik zarralardagi elektronlarning erkin yugurish yo‘li zarracha radiusi  $r$  ga teng. Bu holda yorug‘lik yutilishidagi effektiv relaksatsiya vaqtini

$$\tau_{ef}^{-1} = \tau^{-1} + \frac{\vartheta_F}{r} \quad (2.55)$$

ko‘rinishida ifodalash mumkin. Bunda  $\tau = \lambda_\infty / \vartheta_F$  – yirik metall namunasidagi relaksatsiya vaqt;  $\vartheta_F$  – elektronlarning Fermi sathidagi tezligi. Zonalararo o‘tishlarni hisobga olmasdan va faqat erkin elektronlar harakatini hisobga olgan holda

$$\epsilon_1 = 1 - \frac{\omega_p^1}{\omega_p^2 + 1/\tau_{ef}} \quad \epsilon_2 = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega_1^2 + 1/\tau_{ef}} \quad (2.56)$$

deb yozish mumkin. Bunda  $\omega_p = 4\pi Ne^2/m^*$  – plazma chastotasi,  $N$ ,  $e$ ,  $m^*$  – erkin elektronlar zichligi, zaryadi va effektiv massasi.

Mi nazariyasida yorug'lik yutilishining eng katta qiymatiga  $\varepsilon_m = -\varepsilon_1(\omega_F)$  sharoitida erishiladi. Buni hisobga olgan juda mayda zarrchalar uchun  $\tau_{ef}^{-1} \approx g_F / r$  bo'lган holda (2.56) dan rezonans chastota

$$\omega_1 = \left( \frac{\omega_p^2}{1 + 2\varepsilon_m} - \frac{g_F^2}{r^2} \right)^{1/2} \quad (2.57)$$

ko'rinishga keladi. Bunga, asosan, zarracha o'lchami kichiklashganda rezonans chastota ham kamayadi, ya'ni yutilish sohasi past chastotalar tomoniga siljishi kerak. Lekin, kvantmexanik hisoblar zarracha o'lchamlari kichiklashganda rezonans yutilish cho'qqisi yuqori chastotalar tomoniga siljishini ko'rsatadi. Mana shunday qarama-qarshi natijalar tajribalarda ham ko'rindi. Bunday siljishlar uchun elektron bulutining zarracha sirtida juda oz miqdorda o'zgarishi ham kifoya ekanligi taxmin qilinadi. Shunga asosan, yorug'lik yutilish sohasi kengligi zarrachalar o'lchamining murakkab funksiyasi bo'lib, u  $D \approx 1,1 \text{ nm}$  atrofida eng katta qiymatga erishadi.

Oxirgi paytlarda yarimo'tkazgichlarning optik va lyuminessent xossalari o'rganishda o'lcham effektlariga qiziqish ortmoqda, chunki yarimo'tkazgichlar zonalar tizimini o'rganishda optik yutilish asosiy usullardan biridir. Yarimo'tkazgichlarda molekulalararo o'zaro ta'sirlashish energiyasi katta bo'lgani uchun makroskopik yarimo'tkazgichli kristallni katta bir yaxlit molekula deb qabul qilish mumkin. Yarimo'tkazgich kristallari elektronlarini qo'zg'atish kuchsiz bog'langan elektron-kovak juftligi – eksitonlar hosil bo'lishiga olib keladi. Eksiton tarqalish (delokalizatsiya) sohasi yarimo'tkazgich kristall panjarasi davridan ko'p marta ortiq bo'lishi mumkin. Yarimo'tkazgich kristalini eksiton o'lchamlariga yaqin o'lchamlargacha kichraytirilsa, uning xossalari o'lchamga bog'liq bo'lib qoladi.

Shunday qilib, yarimo'tkazgich nanozarrachalarini o'ziga xos xossalari nanozarrachalar o'lchamlari molekula o'lchamlari bilan ham, mikroskopik kristalldagi eksitonlarning Bor radiuslari  $[r_{ex} \approx n^2 \eta^2 \varepsilon / \mu_{ex} e^2]$ ;  $\mu_{ex} = m_e m_h / (m_e + m_h)$ -eksitonni keltirilgan massasi;  $m_e m_h$  – elektron va kovaklar effektiv massalari;  $\eta = 1,2,3..\cdot$ ] bilan ham belgilanadi. Yarimo'tkazgichlarda Bor radiusi 0,7nm (Cu, Cl da)dan 10nm (Ga As

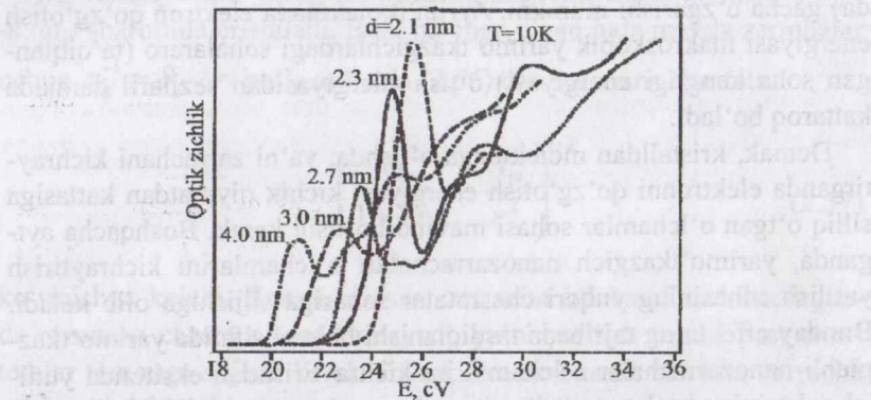
da) gacha o'zgarishi mumkin. Ayrim molekulada elektron qo'zg'otish energiyasi makroskopik yarimo'tkazgichlardagi sohalararo (ta'qiqlangan soha kengligi energiyasi) o'tish energiyasidan sezilarli darajada kattaroq bo'ladi.

Demak, kristalldan molekulaga o'tishda, ya'ni zarrachani kichraytirganda elektronni qo'zg'otish energiyasi kichik qiymatdan kattasiga silliq o'tgan o'lchamlar sohasi mavjud bo'lishi kerak. Boshqacha aytganda, yarimo'tkazgich nanozarrachalar o'lchamlarini kichraytirish yutilish sohasining yuqori chastotalar sohasiga siljishiga olib keladi. Bunday effektning tajribada tasdiqlanishi belgisi sifatida yarimo'tkazgichli nanozarrachalar o'lchamlarini kichraytirishdan eksitonda yutilish sohasining ko'k rang (yuqoriroq chastota) tomonga siljishini ko'rish mumkin. Ko'proq o'rganilgan yarimo'tkazgich – CdS mana shunday yutilish sohasining "ko'k" siljishi nanozarrachalar diametri  $D \leq 10-12$  nm bo'lganda kuzatiladi. Nanozarrachalar o'lchamlarining optik yutilish spektrlariga ta'siri ko'p yarimo'tkazgichlarda kuzatilgan.

Makroskopik kristallda eksiton energiyasi kristallning ta'qiqlangan zonasini kengligi Yeg dan elektron va kovakning bog'lanish energiyasi (Ridberg effektiv energiyasi  $E_{Ry} = \mu_{ex} e^4 / 2n^2 \eta^2$ ) va eksitonning og'irlik markazi kinetik energiyalari ayirmasiga teng.  $r$  o'lchamli yarimo'tkazgich nanozarrachasi uchun oxirgi qo'shiluvchi  $- n^2 \pi^2 \eta^2 / 2\mu_{ex} r^2$  ga teng, ya'ni  $r^2$  ga teskari proporsional. Nanozarra o'lchamining eksiton energiyasiga ta'sirining, elektron va kovakning o'zaro kulon ta'sirlarini ham e'tiborga olgan holdagi aniqroq tahlillari quyidagi ifodani beradi:

$$E = E_g - 0,248E_{Ry} + \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2\mu_{ex} r^2} - \frac{1,78e^2}{\epsilon r}. \quad (2.58)$$

Bundagi birinchi va uchinchi hadlar yig'indisi taqiqlangan zonaning effektiv qiymatiga teng. (2.58) ifodadan ko'rindaniki, zarracha o'lchami kichrayishi taqiqlangan zona effektiv kengligi ortishiga olib keladi. Mana shunday o'zgarish CdTe nanozarrachalari uchun kuzatilgan; yirik kristalldan diametri 4 va 2 nm li nanozarrachalarga o'tilganda  $E_g = 1,5$  eV dan mos holda 2 va 2,8 eV gacha ortadi. Mayda dispersli kukunlarda  $\text{Si}_3\text{N}_4$  kristaliga nisbatan  $E_g$  ning ortishini IQ va fluoresensiya emission spektrlarini o'rganishida aniqlangan.

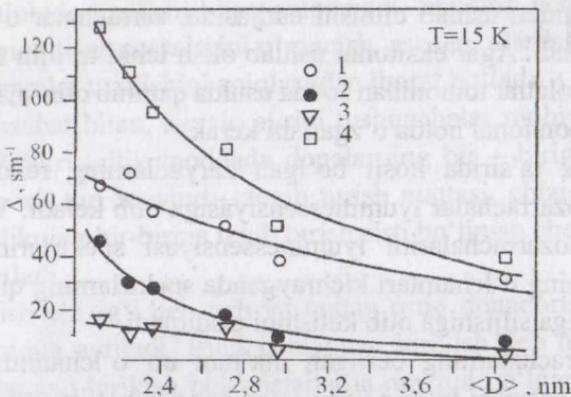


**2.9-rasm. 10K da diametrleri 2,1 dan 4,0 nm gacha bo'lgan CdSe nanozarrachalarining optik yutilish spektrlari**

Eksitonni qo‘zg‘atish energiyasi  $E = \eta\omega$  ( $\omega$ —tushayotgan yorug‘lik chastotasi) bo‘lgani uchun (2.57) dan ko‘rinishicha, nancezarracha o‘lchami kichrayishi bilan optik spektr chiziqlari yuqori chastotalar tomoniga siljishi kerak. Mana shunday siljish (0,1eV gacha) CuCl nanozarrachalari ( $D=31,10$  va  $2\text{nm}$ ) yutilish spektrlarida aniqlangan.

2.9-rasmda CdSe nanozarrachalarining optik spektrlari ko‘rsatilgan: CdSe nanozarrachalari kichraytirilganda yutilish sohasi yuqoriroq energiyali, ya’ni “ko‘k” tomonga siljishi kuzatilmoqda. Birlamchi yaqinlashishda yutilish sohasining maksimum energiyasi CdSe zarrachalari radiusi kvadratiga teskari proporsional. Yutilish sohasi kengligining katta ( $\sim 0,15\text{eV}$  yoki  $1200\text{ sm}^{-1}$ ) bo‘lishligi nanozarrachalar o‘lchamlari dispersiyasiga bog‘liq – zarrachalar diametri o‘rtacha qiymatidan  $\pm 5\%$  ga chetlangan. Haqiqatan, hatto eng monodispers namunalar o‘rganilganida ham kengaygan yutilish sohalari, ya’ni gomogen bo‘lmagan kengayish kuzatiladi.

Shuning uchun CdSe nanokristallarida eksitonlar dinamikasini o‘rganish uchun fentosekundli foto-exo texnika qo‘llaniladi. Bu usul gomogen bo‘lmagan kengayishlarni hisobga olmasdan nanozarraching ayni bir qiymatiga aniq mos keladigan “gomogen” chiziqlar kengligini topishga yordam beradi. Buning natijasida nanozarrachalar diametrini kichraytirish yutilish chiziqlari kengligi ortishiga olib kelishi ko‘rsatildi (2.10-rasm).



**2.10-rasm. Yutilish optik chiziqlari haqiqiy kengligi  $\Delta$  va uning hissa kat-taligining 15 K da CdSe nanozarrachalari diametrlariga bog'liqligi:**

1—kirishmalar va panjara nuqsonlarida elastik sochilish tufayli hosil bo'ladigan hissa; 2—past chastotali tebranishlar bo'lagi bog'lanib qolishi bilan bog'liq hissa; 3—eksitonning yashash vaqtini hisobga oluvchi qo'shimcha; 4—haqiqiy ("gomogen") chiziqlar kengligi – ko'rsatilgan uch hissalar yig'indisidan iborat.

"Gomogen" yutilish chiziqlari kengligiga uch xil hissa qo'shilishini ko'rish mumkin. Eng katta hissa – bu nurlanishning kristalldagi kirishma atomlari va panjara nuqsonlaridan elastik sochilishi hissasi (2.9-rasm, 1). Bu hissa nanozarracha o'Ichami, aniqrog'i zarrachaning S/V (bunda S va V–nanozarracha sirti va hajmi) ga proporsional sochilish sirti effektiv maydoniga bog'liq bo'lib, temperaturaga bog'liq emas.

Ikkinci hissasi – kristall tebranishlari past chastotali bo'lagining bog'lanib qolishidir (2.10-rasm, 2- egri chiziq). Bu hissa temperaturaga kuchli bog'langan va temperatura ortishi bilan chiziqlarning kengayishi chiziqliy ravishda ortib boradi. Past chastotali tebranishlar bilan bog'liq bo'lган fononli kengayish "gomogen" kenglikka faqat yuqori emas, past temperaturalarda ham sezilarli (20–35% gacha) hissa qo'shadi.

Spektr chiziqlari kengligiga uchinchi hissa (2.10-rasm, 3) eng kichigi. U dastlabki holatning parchalanib, asosiy holat bilan kuchsiz bog'langan boshqa holatga tezroq o'tishga mos keluvchi yashash vaqt bilan bog'liq hissa. Elektron holatining o'zgarishi, eksitonni sirtiy ho-

latlar tomonidan ushlab olinishi natijasida, zarrachalar o'lchamlariga bog'liq bo'ladi. Agar eksitonni ushlab olish ichki to'ljin funksiyalaring sirtiy holatlar tomonidan sodda usulda qamrab olinsa, uning tezligi S/V ga proporsional holda o'zgarishi kerak.

Yorug'lik ta'sirida hosil bo'lgan zaryadlarning rekombinatsiya-lanishi nanozarrachalar lyuminessensiyasiga olib keladi. Yarimo'tkaz-gichlar nanozarrachalarini lyuminessensiyasi spektrlarini o'rganish zarrachalarning o'lchamlari kichrayganda spektrlarning qisqa to'ljinli ko'k tomoniga siljishiga olib kelishini tasdiqladi.

Nanozarrachalarning berilgan ma'lum bir o'lchamida lyuminessensiyaning so'nishi to'ljin uzunligiga bog'liq bo'lib, u qancha kichik bo'lsa, chiqayotgan yorug'lik kvanti energiyasi shuncha katta va to'ljin uzunligi shuncha kichik.

Qo'zg'otilgan holat yashash vaqtining lyuminessensiya  $\lambda$  to'ljin uzunligiga bog'liqligiga sabab, elektron va kovakning kulon o'zaro ta'sir energiyasining chiqayotgan yorug'lik kvanti energiyasiga qo'shayotgan hissasiga bog'liq  $\eta\omega = 2\pi\eta c / \lambda$

$$\frac{2\pi\eta c}{\lambda} = E_{\min} - (D_h - D_e) + \frac{e^2}{\varepsilon r_{eh}}. \quad (2.59)$$

Bunda  $E_{\min}$  – radiusi  $r$  bo'lgan nanozarrachanining lyuminessensiyasi ni qo'zg'otish minimal energiyasi;  $D_h$ ,  $D_e$  – kovak va elektron tutqichlari chuqurligi;  $r_{eh}$  – elektron va kovak orasidagi masofa. Kichik  $r_{eh}$  qiymatli elektron-kovak juftlari, ularning tunnelli rekombinatsiyalanishida,  $r_{eh}$  lari katta bo'lgan juftlarga nisbatan yorug'likning tezroq va kichikroq to'ljin uzunlikka ega bo'lganini chiqaradi.

## 2.6. Ixchamlashgan nanokristall moddalar mikrotuzilishi

Nanokristall va yirik donadorli polikristallar xossalari farqi kristallitlarning kichik o'lchamlari va nanokristall atomlarining 50% gacha qismidan iborat o'ta takomillashgan bo'linish chegaralari bilan bog'liq. Ko'plab tadqiqotchilar fikricha, ixchamlashgan nanokristall moddalar xossalaring (ayniqsa, mexanik) o'ziga xosligi bo'linish chegarasi

uzunligi va alohida tuzilishi bilan aniqlanadi. Shuning uchun ixcham nanokristall moddalar xossalarini o'rganish, asosan, ulardagi donadorliklararo chegaralar tuzilishini aniqlashdan iborat bo'ladi.

Shu munosabat bilan, avvalo ayrim tushunchalar mohiyatini aytib o'tish joiz. Polikristallik moddada donalarning bir – biriga tegib turishining uch xil turi mavjud – tegib turish nuqtasi, chizig'i va sirti. Ikki donadorlikning bir-biriga tegib turish sirti bo'linish chegarasi yoki interfeys deyiladi.

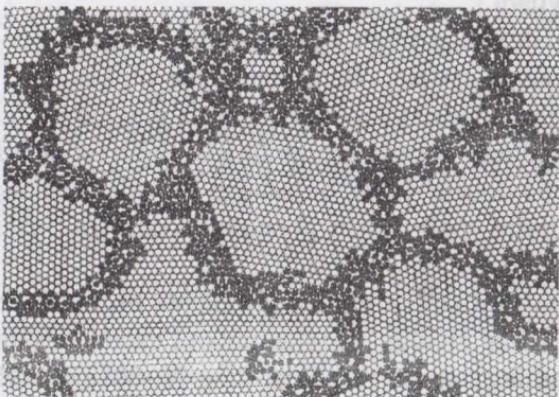
Tegib turish chizig'i deb uch va undan ortiq donadorliklar uchun umumiyligi chiziqqa aytildi. Buni uchlangan birikish deb ham ataladi. Bunday uchlangan birikish polikristallarda mavjud bo'lgan barcha tegib turish chiziqlari orasida uchrab turadi. Tegib turish nuqtasida odatta, oltitagacha donadorliklar birlashgan bo'ladi. Uchlangan nuqta bu uchta donadorlik tegib turish chiziqlari kesishgan, ya'ni uchlangan birikish joyi sirtidan iborat bo'ladi.

### **Ixchamlashtirilgan nanomoddalarda bo'linish chegaralari**

Nanomoddalar zichligi nanokukunlarni ixchamlashtirish usullariiga qarab ularning nazariy zichliklarining 70–80% dan 95–97% gacha bo'lishi mumkin. Eng oddiy holatlarda bir turdag'i atomlardan iborat nanokristall tuzilishi bilan farq qiluvchi ikki xil tarkibdan iborat: o'lchamlari 5–20 nm li tartiblashtirilgan dona (kristalitlar) va kengligi 1,0 nm gacha bo'lgan kristallitlararo chegara (2.11-rasm). Barcha kristallitlar bir xil tuzilishga ega bo'lib, faqat kristallografik yo'naliishlari va o'lchamlari bilan farq qiladi. Bo'linish chegarasi tuzilishi atomlararo o'zaro ta'sirlashish turlari (kovalent, lital, ionli) va qo'shni kristallitlarning o'zaro joylashish yo'naliishi bilan belgilanadi. Qo'shni kristallitlarni har xil joylashishi modda zichligining bo'linish chegarasida biroz kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, bo'linish chegarasiaga tegishli bo'lgan atomlar kristallitlardagi atomlardan farqli bo'lgan yaqin qo'shnilariga ega.

Rentgen va neytronografik usullarda o'tkazilgan tadqiqotlar ixchamlashtirilgan nc-Pd nanokristallarida bo'linish chegarasida moddalar zichligi oddiy Pd nikidan 20–40% gacha kamligi, hamda chegaradagi atomlar koordinatsion soni ham oddiy Pd nikidan kam ekanini ko'rsatdi. Har xil usullar bilan aniqlangan bo'linish chegarasi kengligi ixcham nanokristallarda 0,4÷1 nm ni tashkil etadi.

Dastlabki tasavvurlarga asosan, kristallitlararo modda tuzilishi atomlarning erkin joylashishi va nafaqat uzoq, balki yaqin tartib ham yo'qligi bilan ta'riflanadi. Bunday holatni atomlar harakatchanligini emas, ularning joylashishlarini e'tiborga olib gazsimon holat deb ataladi (2.11-rasm). Kristalitlararo modda ixchamlashtirilgan nanomoddalarda bir muncha tartibsizlanishini difraksion usuldagagi tadqiqotlar ham tasdiqlaydi.



**2.11-rasm. Nanokristall materialini ikki o'lchamli kompyuter modeli**

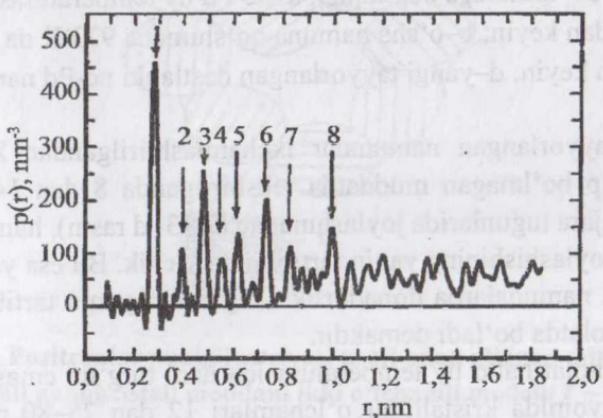
Shuning bilan birga nanomoddalarda bo'linish chegarasi tuzilishi oddiy polikristallardagi shunday holatlarga o'xshash va atomlarning chegaralardagi o'zaro joylanish tartibi darajasi tasavvur qilinganidan yuqoriroq. Yirik donadorlik tuzilishli palladiyning nanokristallik palladiyiga nisbatan rentgen difraksiyasi o'zgarishi kristallitlarning kichik o'lchamlari va donadorliklar bo'linish chegaralaridagi yoki donadorliklarning o'zlaridagi kuchlanishlarga bog'liq va bu sifatlar donadorlik chegarasi fazasi gazsimon tuzilishiga yoki donadorlikdagi vakansiyalarning katta miqdoriga bog'liq emasligini ko'rsatadi.

Nanomoddalarni yuqori sezgirli elektron mikroskop yordamida tekshirishlarning ko'rsatishicha, oddiy polikristallardagidek nanomoddalarda bo'linish chegarasidagi atomlar faqat ikki qo'shni kristallitlar ta'siri ostida bo'ladi. G'ovaklar bo'linish chegarasini butun uzunligida emas, faqat uchlangan ulanish joylaridagina aniqlangan; kristallitlararo chegaradagi atomlar zichligi kristallitlardagiga yaqin bo'lgan.

Ixcham nanokristallitli nc-Pd namunalarida donadorlik chegaralari dagi atomlar joylashish tartibi yetarlicha yuqori darajada ekanini tajribalarda aniqlangan. Tajriba natijalarini taxlil qilish uchun atomlar zichligi radial taqsimot funksiyasi

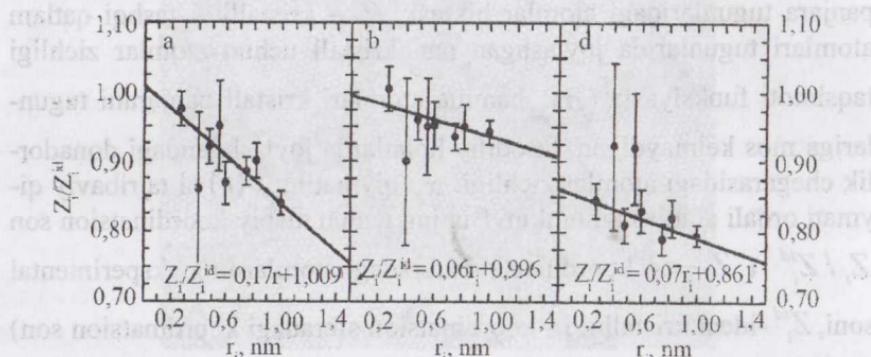
$$\rho(r) = x_\lambda \rho_\lambda(r) + (1-x_\lambda) \langle \rho \rangle_{gb} \quad (2.60)$$

|fodasidan foydalanilgan. Bunda  $r$ -atomlararo masofa;  $x_\lambda$ -kristall panjara tugunlaridagi atomlar hissasi;  $\rho_\lambda$ - kristallitni tashqi qatlam atomlari tugunlarida joylashgan nanokristall uchun atomlar zichligi taqsimoti funksiyasi;  $\langle \rho \rangle_{gb}$  hamma atomlari kristall panjarani tugunlariga mos kelmaydigan, tasodifly holatlarda joylashgandagi donadorlik chegarasidagi atomlar zichligi.  $x_\lambda$  qiymatini  $\rho(r)$  ni tajribaviy qiyati orqali aniqlash mumkin. Buning uchun nisbiy koordinatsion son  $Z_i / Z_i^{id}$  ( $Z_i$ -i - koordinatsion sferadagi atomlarning eksperimental soni,  $Z_i^{id}$ -ideal kristallni i - koordinatsion sferadagi koordinatsion son) ning atomlararo masofa  $r$  ga bog'liqligini chizib olish zarur.  $Z_i / Z_i^{id}$  ni eng katta qiymati ( $r=0$  da) kristall panjara tugunlaridagi atomlar hissasi  $x_\lambda$  ga teng (2.12-rasm).



**2.12-rasm. "Kiritilgan" ixcham nc-Pd nanokristall namunalarda atomlar zichligi taqsimoti difraksiyasi;** strelkalar bilan birinchi sakkizta koordinatsion sferalarga mos keluvchi cho'qqilar ko'rsatilgan.

2.13-rasmida uy temperaturasida 4 oy davomida saqlab turilgan ixcham nc-Pd nanokristall namunasida atomlar zichligining radial taqsimoti keltirilgan. Bu  $\rho(r)$  taqsimot rentgen difraksiyasi bo'yicha tajriba natijalari asosida tuzilgan. Bunday "qaritilgan" yoki ular yana qo'shimcha ravishda 973 K da kuydirilgan namunalarda  $r=0$  da  $Z_i / Z_i^{id}$  ya'ni  $x_\lambda$  ning qiymati, o'lhash aniqqliklari chegarasida, 1 ga teng (2.13-a va b rasm).

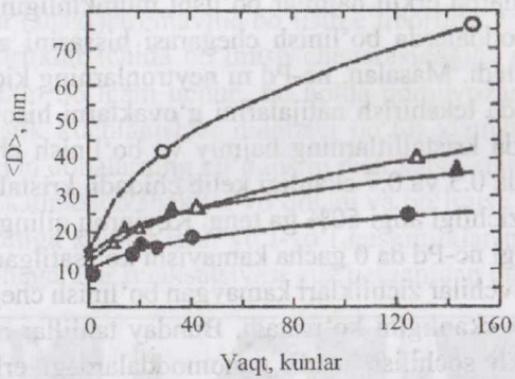


2.13-rasm. nc-Pd namunalarda nisbiy koordinatsion son  $Z_i / Z_i^{id}$  ning atomlararo  $r$ , masofaga bog'liqligi; a—nc-Pd uy temperaturasida 4 oy saqlangandan keyin; b—o'sha namuna qo'shimcha 973 K da kuydirilganidan keyin; d—yangi tayyorlangan dastlabki nc-Pd namuna

Yangi tayyorlangan namunalar ixchamlashtirilgandan keyin o'n kundan ko'p bo'limgan muddatda tekshirilganda 8 dan 14% gacha atomlar panjara tugunlarida joylashmagan (2.13- d rasm), hamda ularning o'zaro joylashishining yaqin tartibi juda kichik. Bu esa yangi olin-gan ixcham namunalarda donadorlik chegaralari yaqin tartibli nomvozanati holatda bo'ladi demakdir.

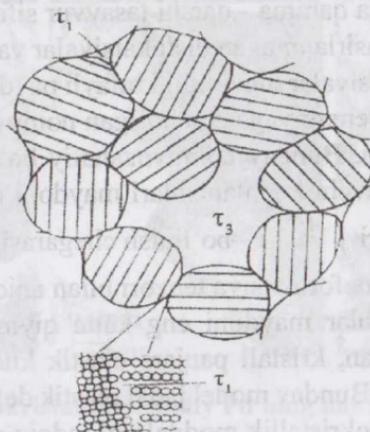
Bunday holat hatto uy temperaturasida ham turg'un emas va 120–150 kun davomida kristallitlar o'lchamlari 12 dan 25–80 nm gacha ortadigan artiblanganroq holatga o'tadi (2.14 - rasm).

Tajriba natijalarini umumlashtirish asosida xulosa qilish mumkinki, ixchamlashtirilgan nanokristall moddalar bo'linish chegaralarida:



2.14-rasm. Ixchamlashtirilgan nc-Pd namunalarida donadorlik o'lcham-lari ( $D$ ) ning uy temperaturasida saqlanishiga nisbatan o'zgarishi.

- Ayrim vakansiyalar; vakansiyalar birlashmalari yoki kristallitlar uchliklarida hosil bo'luvchi g'ovaklar; kristallitlar bo'lmay qolgan joylardagi yirik g'ovaklar kabi nuqsonlar bo'lishi mumkin (2.15 - rasm).



2.15-rasm. Pozitronlar annigilyatsiyasi usuli bilan olingen mikroskopik erkin hajmli nanokristall moddani ikki o'lchamli modeli ( $\tau$  – pozitronning annigilyatsiya vaqt):  $\tau_1$  – bo'linish chegarasiga vakansiya,  $\tau_2$  – vakansiyalar birlashmasi (taxminan 10 ta vakansiya hajmiga teng nanog'ovak),  $\tau_3$  – kristallit yo'q joydagi yirik g'ovak.

Nanokristallarda erkin hajmlar bo‘lishi mumkinligini e’tiborga olmaslik nanomoddalarda bo‘linish chegarasi hissasini aniqlashda xatolarga olib keladi. Masalan, nc-Pd ni neytronlarning kichik burchakli sochilish usulida tekshirish natijalarini g‘ovaklarni hisobga olmasdan tahlil qilinganda kristallitlarning hajmi va bo‘linish chegaralari hissalari mos holda 0.3 va 0.7 ekanligi kelib chiqadi, kristallitlararo mod-daning nisbiy zichligi atigi 50% ga teng. Keyinroq qilingan tadqiqotlar ikki fazada zichligi nc-Pd da 0 gacha kamayishi ko‘rsatilgan. Bu esa neytronlarni sochuvchilar zichliklari kamaygan bo‘linish chegaralari emas, balki g‘ovaklar ekanligini ko‘rsatadi. Bunday tahlillar neytronlarning kichik burchakli sochilish usuli, nanomoddalardagi erkin hajmlarni istisno qilgan holda, bo‘linish chegaralari haqida ma’lumotlar olishda yaxshi yordam beradi.

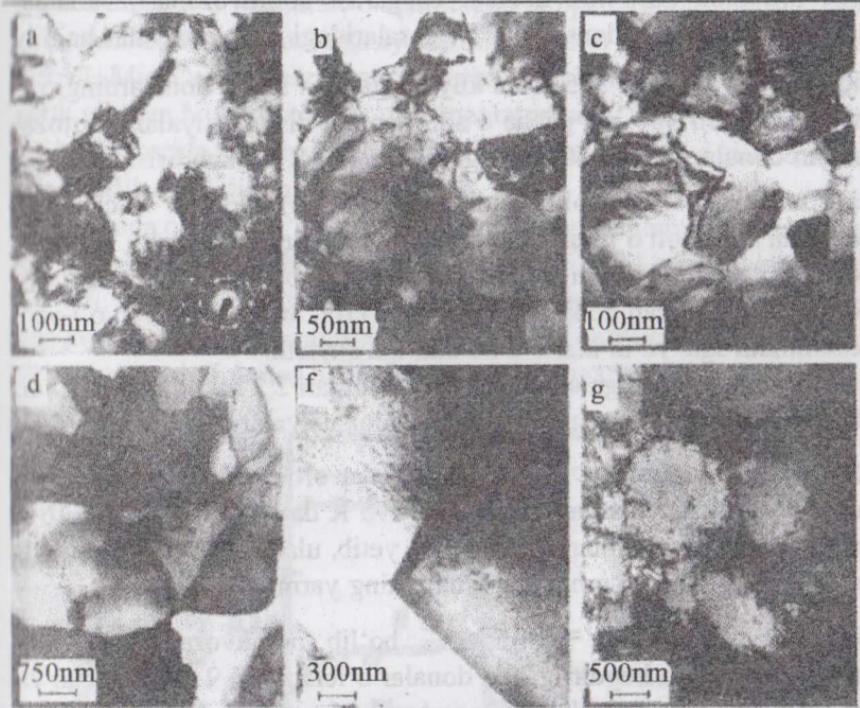
## **2.7. Submikron kristallilik metallar tuzilishining xususiyatlari**

Hozirgi zamonda monokristallik moddalarda bo‘linish chegarasi gazsimon tuzilishga ega degan farazlar haqiqatga mos kelmasligi sezilib qolmoqda. Bunga qarama - qarshi tasavvur sifatida uchlangan tutash joylarida kompensirlanmagan dislokatsiyalar va bevosita bo‘linish chegaralarida dislokatsiyalar mavjudligi tufayli paydo bo‘ladigan ortiqcha (yuqori darajada) energiyaga ega bo‘lgan nomuvozanatiy bo‘linish chegaralari olinmoqda. Bunday nomuvozanatiy bo‘linish chegaralarining uzoqqa ta’sir etuvchi kuchlanishlari maydoni donadorliklar ichidagi tashkil etuvchilari  $r^{-\frac{1}{2}}$  ( $r$  – bo‘linish chegarasiga bo‘lgan masofa) ga proporsional deformatsiya tenzori bilan aniqlanadi.

Demak, kuchlanishlar maydoni eng katta qiymati bo‘linish chegarasi yaqinida bo‘lgan, kristall panjara elastik kuchlanishlari paydo bo‘lishiga olib keladi. Bunday model jadal plastik deformatsiya usullari bilan olingan submikrokristallik moddalarni tadqiq qilishda taklif etilgan. Elektron mikroskopiya usullarida tadqiqotlar ko‘rsatishicha, submikrokristall moddalar xususiyatlarining asosiysi undagi yo‘nalishlarni erkin holda tarqoqlashtirilgan nomuvozanatiy donadorlilik chegaralari mavjudlidir.

Kuydirilmagan submikrokristall va qotishmalar doiralarida (ular chegaralari bo‘ylab) katta elastik kuchlanishlardan xabar beruvchi ek-

stinksiya kontur (shakl)lari mavjud bo'lishi e'tiborlidir. Dislokatsiyalar zichligi donadorliklar ichida bo'linish chegarasidagiga nisbatan sezilarli darajada kam bo'lgan uchun, bu holda nomuvozanatl bo'linish chegaralari elastik kuchlanishlar manbayi bo'lib xizmat qiladi. Kuydirilganidan keyin donalarning ko'p qismi dislokatsiyalardan tamomila ozod bo'ladi. Ekstinksion shakllar yo'qoladi va bo'linish chegaralarida muvozanat holatiga xos bo'lgan yo'l-yo'l keskinliklar paydo bo'ladi. Bu esa ushbu chegaralar relaksatsiyasi yuz berganidan darak beradi.



**2.16-rasm. Submikrokristallik palladiy Pd ning har xil temperaturalarda 1 soat davomida kuydirilgandagi mikro strukturalari:** a–475 K, b–505 K, c–535 K, d–575 K, f–795 K, g–855 K

Palladiyning yirik donadorlik namunalarini kvazigidrostatik bosim ostida buralishi bilan logarifmik darajasi  $e=7.0$  bo'lgan deformatsiya hosil qilindi. Jadal plastik deformatsiyadan keyin namunalar dislokatsion shakllar bilan to'yingan, har xil yo'nalishli 150 nm li bo'lakchalardan

iborat tuzilishga ega bo'ldi. Ayrim donalar chegarasida dislokatsiyalar hajmiy zichligi  $\rho_{V,b} = 4 \cdot 10^{11} \text{ sm}^{-2}$  ga yetadi. 475 K da kuydirilgandan keyin donalari o'lchamlari  $\approx 200$  nm bo'lgan submikrokristallik tuzilma paydo bo'ldi (2.16-a rasm). 40–60% donadorliklar panjaraviy dislokatsiyalardan holi, qolganlari ichida esa dislokatsiyalar zichligi  $2,5 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-2}$  ga yetadi.

Ekstinksyaning donalar ichidagi egilgan konturlari va chegaralar-dagi diffuzion keskinlik donalar chegarasi nomuvozanatiy holatda-ligiga ishora qiladi, donadorlik chegaralaridagi dislokatsiyalar hajmiy zichligi  $1,1 \cdot 10^{11} \text{ sm}^{-2}$  505 K da kuydirilgandan keyin donalarning o'rtacha o'lchami 300 nm gacha o'sdi, panjara dislokatsiyalaridan toza-langan donalar hissasi 60–70% ga yetdi. 535 K da kuydirish donalar-ning notekis o'sishiga olib keldi. (2.16-b rasm). Donalar o'lchamlari bo'yicha taqsimoti o'rtacha 850 nm li model ko'rinishga keldi. 30–40% donalar o'rtacha 350 nm o'lchamga va nomuvozanatiy chegaraga ega bo'lib qoldi. Qolgan donalar o'lchamlari 1100 nm atrofida va yo'l-yo'l keskinlikka ega, ya'ni ular o'z holatlariqa qaytadi.

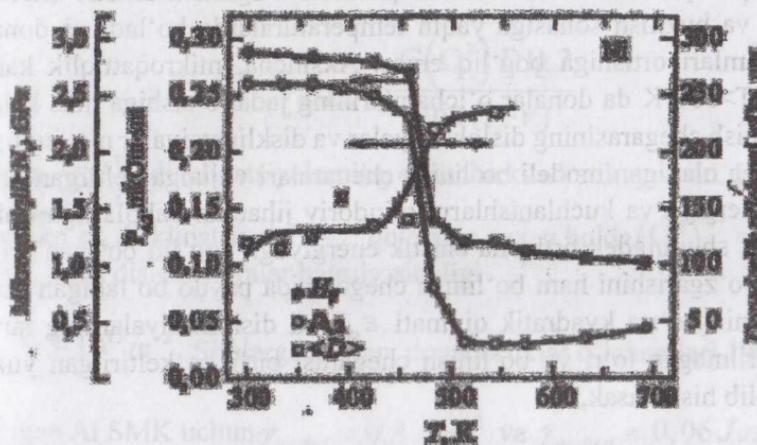
575 K da kuydirilganda donalar o'lchamlari 2,2 mkm gacha ortadi. 10–20% donadorliklarda panjaraviy dislokatsiyalar zichligi (0,3–1,5)  $\cdot 10^9 \text{ sm}^{-2}$  qolganlarida  $\rho_{V,b} = 2 \cdot 10^7 \text{ sm}^{-2}$  dan ortmaydi, ya'ni ko'pchilik donalar dislokatsiyalardan tozalanadi. 795 K da kuydirilganda (2.16-d rasm) donalar o'lchamlari 4,5 mkm ga yetib, ularning ko'pchiligi ichida dislokatsiyalar yo'q hamda donalarning yarmi chegaralarida dislokatsiyalar zichligi  $\nu_b = 4 \cdot 10^3 \text{ sm}^{-2}$  bo'lib, nomuvozanatiy holatda bo'ladi. 855 K da kuydirilganda donalar o'lchamlari 9 mkm gacha va donalarning yarmida dislokatsiya yo'q (2.16-e rasm). 1075 K da kuydirilganda donalarning o'rtacha o'lchami 20 mkm gacha yetadi. Taxlilar ko'rsatishicha, mikrokristallik zarrachalar o'lchamlari ortishi ikki bosqichda yuz beradi: birinchi bosqichi 475 K da, ikkinchi bosqichi esa 795 K da, ya'ni qayta kristallanish temperaturasidan yuqori temperatu-rada sodir bo'ladi.

Bo'linish chegaralarida elastik kuchlanishlar mavjudligi tasdig'i si-fatida tajribalarda kristallitlar panjarasining ular chegaralari yaqinidagi mahalliy buzilishlarini ko'rsatish mumkin. Temir Fe submikrokristalla-

rini Myossbauer spektroskopiyasi yordamida o'rganilganda, tajribaviy spektrlar temir atomlarning ikki holatlari spektrlari qo'shilishidan iborat ekanligi ko'rindi. Ulardan biri (Fe atomlarining kristallitlardagi holati) Fe ni odatiy yirik donadorlik  $\gamma$ -Fe dagi holatiga mos keladi.

Ikkinci holati esa chegaradagi Fe atomlariga mos keladi, bunda donadorliklar va ular chegaralari tuzilishlari bir xil bo'lsa ham submikronkristallik moddalarni kuydirishda bo'linish chegarasi o'z holiga qaytishi bilan birga donalar o'lchamlari ortishi ham sodir bo'ladi hamda donalar o'lchamlari o'zgaradigan temperaturalar sohasida submikrokristallik metallar xususiyatlarining keskin sakrab o'zgarishi yuz beradi. Misol uchun, elementlarni eritib, keyinchalik 1423 K da kuydirib olingen Ni<sub>3</sub>Al qotishma uy temperaturasida, 8GPa kvazigidrostastik bosim ostida burash usulida jadal plastik deformatsiya qilinib, nozik donadorlik hosil qilingan.

Natijada o'rtacha o'lchamlari 100 nm bo'lgan submikrokristallik nikel donalari va o'rtacha o'lchamlari 20 nm li Ni<sub>3</sub>Al donachalari hosil bo'ladi. Submikrokristallik Ni ni kuydirish temperaturasini 450 K ga cha ko'tarish uning hajmi o'zgarmagan holda qoldiq elektrik qarshiligi ( $\rho_{4,2}$ ) va qattiqligi mos holda pasayishini ko'rsatdi (2.17 - rasm).



2.17-rasm. SMK – Ni donalarining qoldiq elektrik qarshiligi ( $\rho_{4,2}$ ), mikroqattiqligi va donalari o'lchamlarining kuydirish temperaturasiga bog'liq holdagi evolyutsiyasi.

500–525 K temperaturalarda kuydirish donalarning tez o'sishi oqibatida uning elektrik qarshiligi va mikroqattiqligi keskin pasayishiga olib keladi. Temperaturani yana oshirish Ni SMK donalarini bir oz ortirishga va elektrik qarshiligi va mikroqattiqligi sezilarli o'zgarishiga olib keladi.

$\text{Ni}_3\text{Al}$  qotishmalari kuydirish temperaturalarini 293 K dan 530 K gacha ortirilganda elektrik qarshilik biroz ortishi va donalar o'lchamlari o'zgarmagan holda mikroqattiqlik 6.3 dan 8.8 GPa gacha sakrab o'zgarishi va uzoq tartib parametrleri 0 dan 0.27 gacha ortishi kuzatiladi.

530 K dan 830 K temperaturalarda kuydirish elektrik qarshilik eng kam qiymatgacha kamayishi, mikro qattiqlik sekin pasayishi va donalar o'lchamlari 25 dan 150 nm gacha ortishiga va uzoq tartib parametrleri 0.6 gacha ortishiga olib keladi. 830 K – 1330 K temperaturalar oraliqida kuydirishda elektrik qarshilik sezilarli o'zgarmaydi, mikroqattiqlik 2 GPa gacha kamayadi, uzoq tartib parametri bir oz ortadi.

Ni mikroqattiqligi va elektrik qarshiligi kuydirish davomida o'zgarishi donalar o'lchamlari ortishiga bevosita bog'liq va ichki kuchlanishlarga juda bo'sh bog'langan.

$\text{Ni}_3\text{Al}$  qotishmalarida elektrik qarshilik o'zgarishi asosan kristallanishi va buzilish sohasiga yaqin temperaturalarda bo'ladi va donalar o'lchamlari ortishiga bog'liq emas. Aksincha, mikroqattiqlik kamayishi  $T > 530$  K da donalar o'lchamlarining jadal o'sishiga mos keladi. Bo'linish chegarasining dislokatsiyalar va disklinatsiyalar mavjudligini hisobga oladigan modeli bo'linish chegaralari vujudga keltirgan ortiqcha energiya va kuchlanishlarni miqdoriy jihatdan baholashga imkon beradi, shuningdek ortiqcha elastik energiyaga bog'liq bo'lgan kristal hajmi o'zgarishini ham bo'linish chegarasida paydo bo'ladigan kuchlanishning o'rta kvadratik qiymati  $\varepsilon_{disl}$  ni dislokatsiyalarning tartiblashtirilmagan to'ri va bo'linish chegarasi birlikka keltirilgan yuzasi deb olib hisoblasak,

$$\varepsilon_{disl} \approx 0.23b \left[ \frac{\rho}{D} \lg \left( \frac{R}{2b} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \approx 0.13b \left[ \rho_V \lg \left( \frac{R}{2b} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.61)$$

kelib chiqadi. Tashqi dislokatsiyalar tufayli bo'linish chegarasining birlik yuzasiga mos keluvchi ortiqcha energiya

$$\gamma_{ex.dist} = \frac{Gb^2\rho \lg(R/2b)}{4\pi(1-\nu)} \quad (2.62)$$

bo‘ladi, bunda  $b$ —Byurgers vektori,  $D$  — nanokristalldagi donadorlik o‘lchami,  $\rho$  va  $\rho_v \approx 3\rho/D$  — dislokatsiyalarning chizig‘iy va hajmiy zichliklari,  $R$  — yirik donadorlik polikristalldagi dona o‘lchami,  $G$ —sillish moduli,  $\nu$ —Puasson koeffitsienti.

Katta ichki kuchlanishlar SMK modda hajmining quyidagi o‘zgarishiga olib keladi:

$$\frac{\Delta V}{V} \approx 0,13b^2\rho_v \lg\left(\frac{R}{2b}\right). \quad (2.63)$$

Bir necha donadorliklar tutashgan joyda hosil bo‘ladigan disklinatsiyalar tizimi uchun ham kvadrat donadorlikli ikki o‘lchamli polikristallar modelida shunga o‘xshash tenglamalar olinadi:

$$\varepsilon_{discl} \approx 0,1\langle\Omega^2\rangle^{1/2}, \quad (2.64)$$

$$\gamma_{ex.discl} \approx \frac{G\langle\Omega^2\rangle D \lg 2}{16\pi(1-\nu)} \quad (2.65)$$

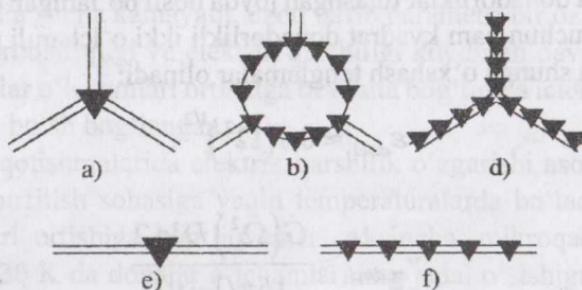
bunda  $\langle\Omega^2\rangle$  —disklinatsiyalarning o‘rtacha kvadratik quvvati. Hisoblarga ko‘ra, disklinatsiyalar  $1-2^0$  quvvatga ega, u holda  $\langle\Omega^2\rangle^{1/2} \approx 0,03$  SMK larda dislokatsiyalar hajmiy zichligi

$\rho_v \approx 3 \cdot 10^{15} m^{-2}$ . Shularga asosan, donadorliklar o‘lchamlari  $100 \text{ nm}$  bo‘lgan Al SMK uchun  $\gamma_{ex.dist} \approx 0,3 J.m^{-2}$  va  $\gamma_{ex.discl} \approx 0,06 J.m^{-2}$ , dislokatsiyalar tufayli hajm o‘zgarishi  $\frac{\Delta V}{V} = 4 \cdot 10^{-4}$ . Hajm o‘zgarishi elastiklik energiyasiga proporsional bo‘lgani va  $\gamma_{ex.discl}$  dan

besh marta kichik bo‘lgani uchun disklinatsiyalar tufayli hajm ortishi  $\sim 0.8 \cdot 10^{-4}$  ga teng bo‘ladi. SMK Al hajmining to‘la o‘zgarishi

$$\frac{\Delta V}{V} = 4,8 \cdot 10^{-4}.$$

Bu esa tajriba natijalari  $9 \cdot 10^{-4}$  dan ikki marta kichik. Taxminlarcha hajmning bunday ortiqcha o‘zgarishi sababi deformatsiya jarayonida vakansiyalar hosil bo‘lishidir. Tadqiqotchilar tomonidan tasarruf qilinayotgan modelda donadorliklarning uchlamchi tutash joylarida hosil bo‘layotgan disklinatsiyalar muhim rol o‘ynaydi. Uchlamchi tutashmalardagi disklinatsiyalarning parchalanishi tizimning elastik energiyasini kamaytiradi. Kamroq quvvatli disklinatsiyalarda bunday parchalanish hajmiy bo‘lishi mumkin, (2.18-rasm) bu holda uchlamchi tutash sohasi amorflanishi yuz beradi.



2.18-rasm. Uchlangan tutash joyida (a) va bo‘linish chegarasida (b) joylashgan disklinatsiyalarni parchalanishi; d-dastlabki disklinatsiyani kichikroq quvvatli disklinatsiyalar ansabliga, e—dastlabki disklinatsiyani kristallitlar bo‘linish chegaralari bo‘ylab joylashgan kamroq quvvatli uch qator disklinatsiyaga ajralishi; f—bo‘linish chegarasi disklinatsiyani chizig‘iy ajralish.

Disklinatsiya parchalanishining boshqa ko‘rinishi – uni qo‘sni donadorliklar chegaralari bo‘ylab joylashgan uch qator kichikroq quvvatli disklinatsiyalarga ajralishi ham bo‘lishi mumkin (2.18 - d rasm). Yana disklinatsiyalar bir necha kichikroq quvvatli donadorlik chegaralari bo‘ylab joylashgan chizig‘iy disklinatsiyalarga ajralishi ham mumkin.

Tahlillar ko'rsatishicha, dastlabki donadorlik chegarasi disklinatsiyasi elastik energiyasi kamayishi yangi hosil bo'layotgan disklinatsiyalar soni qancha ko'p bo'lsa, shuncha ko'p bo'ladi. Chizig'iy parchalanishda elastik energiyaning eng ko'p kamayishi bir-biridan yo'l berilgan uzoq masofada, ya'ni donadorlik chegarasi uzunligiga teng masofada ikkita disklinatsiya hosil bo'lganda yuz beradi. Nanokristall moddalar bo'linish chegarasidagi disklinatsiyalar parchalanishi elastilik energiyasini o'z holiga qaytishining samarali yo'lidir, u bo'linish chegarasi tuzilishi (taxlanish nuqsonlari hosil bo'lishi) o'zgarishi bilan bo'ladi, bo'linish chegarasi yaqinida mikroyoriqlar paydo bo'lishi ehtimolligini kamaytiradi va donadorlik chegaralari bo'y lab diffuziyani rag'batlantiradi.

Bo'linish chegaralarining nazariy va tajribaviy tadqiqotlari natijalari taxlilidan aytish mumkinki, uzoq ta'sirli elastik kuchlanish maydonining mavjudligi (donadorlikning kichik o'lchami va bo'linish chegarasining katta uzunligi bilan bir qatorda) nanokristallik moddalarning asosiy belgilovchi xossasidir.

Nanokristallik moddalar mikrotuzilishi haqidagi tasavvurlar ko'p jihatdan panjara parametrlari ichki kuchlanishlarini, atomlar siljishlarini rentgen usullari bilan o'rganish natijalariga asoslanadi.

Yirik donadorlik moddalarga nisbatan nanokristallik moddalar rentgenogrammalari difraksion qaytish chiziqlarining kattaroq kengligi bilan, ular shakllari qisman o'zgarishi bilan va ular holatlari siljib qolishi bilan farq qiladi. Difraksion qaytishning kengayishi donalarning kichik o'lchamlari kristall panjaraning mikrodeformatsiyalari (taxlanish nuqsonlari) va gomogen emasligi, ya'ni modda tarkibi bir jinsli emasligi bilan bog'liqdir. Qaytish shakli va jadalligi atomlar siljishiga bog'liq: qaytishlar siljishi panjara parametrlari o'zgargandan dalolat beradi. Umumiy holda kristaldan sochilish jadalligini

$$I(q) = I_0(q) \exp\{-2M\} + I_{DAD}(q)(1 - \exp\{-2M\}) + I_D(q) \quad (2.66)$$

ko'rinishli ko'p hadli yig'indi bilan ifodalash mumkin. Bundan  $I_0(q)$  – atomlar siljishi bo'lмаган holatda tarkibiy difraksion aks etish nazariy jadalligi,  $q$  – difraksion vektor  $|q| \equiv q = (2 \sin \theta)/\lambda$ ;

$\exp\{-2M\} \equiv \exp\{2\pi i qu_j\}$  – atomlarni statik va dinamik (issiqlik) siljishlari tufayli tarkibiy aks etish susayishini hisobga oluvchi Debay-Valler omili (2.66) dagi ikkinchi  $I_{DAD}(q)(1 - \exp\{-2M\})$  qo'shiluvchi kristall panjara tugunlaridagi atomlar  $u_j$ , siljishlari tufayli vujudga keladigan diffuzion fon jadalligini bildiradi.  $I_D(q)$  – atomlarning sochilish omillari va o'zaro joylashishidagi muvofiqliklari o'rtasidagi ya'ni yaqin tartibli farq bilan bog'liq diffuzion sochilish jadalligini bildiradi.

Boshqacha aytganda,  $I_D(q)$  – tartibsizlangan kristall qattiq eritma ning diffuzion sochish jadalligi  $I_D(q)$  ni Laue foni va diffuzion sochilish jadalliliklari yaqin tartib bilan bog'langan yig'indisi deb qarash ham mumkin. Tarkibiy tuzilishli alohida xususiyatlari haqida quyidagi uch xil hissa yig'indisi bo'lgan fon ma'lumotlar beradi:

- atomlar sijishidan paydo bo'ladigan diffuzion sochilish (2.66 ning 2-hadi);

- tartibsizlangan kristall qattiq jism tomonidan diffuzion sochilish  $I_D(q)$ ;

- amorf modda atomlari joylashishida tartib yo'qligi tufayli vujudga keladigan diffuzion sochilish.

Amorflanish natijasida bir qism (to'la amorflanishda – hammasi) atomlar kristall panjara tugunlarini tashlab ketadi. Bu esa tarkibiy qaytish jadalligini  $I_0(q)$  dan  $[I_0(q) - \Delta]$  gacha kamayishiga va diffuz sochilishga  $\Delta$  ga teng qo'shimcha paydo bo'lishiga olib keladi. Boshqacha aytganda, amorflanish natijasida tarkibiy qaytish jadalligi bir qismi diffuz sochilish jadalligiga o'tadi. Atomlarning siljishi qaytish burchagi  $\beta$  ortishi bilan fon jadalligining bir tekisda o'sishiga, atomlar joylashishida tartibning yo'qligi esa fanni bir tekisda pasayishiga olib keladi. Tartiblanganlik yoki qatlamlanish ajralgan kabi turidagi yaqin tartibning mavjudligi tufayli vujudga kelgan diffuz sochilish Laue fonini shakllantiradi, ya'ni fon jadalligining davriy o'zgarishiga olib keladi.

Difraksion qaytishlar kengayishi deyarli barcha nanokristall moddalarida kuzatiladi. Kristallitlarning kichik o'lchamlari ( $D$ ) bilan bog'liq  $\beta_s$  kengayishi

$$\beta_s(2\vartheta) \equiv 2\beta_s(\vartheta) = \frac{K_{hkl}\lambda}{\langle D \rangle \cos \vartheta}. \quad (2.67)$$

ifoda bilan belgilanadi. Bunda  $K_{hkl}$  – kristallitlar shakllari va difraksion qaytish indekslari ( $h, k, l$ ) ga bog'liq bo'lgan Sherrer doimiysi. Taxlanish nuqsonlariga bog'liq bo'lgan  $\beta_d$  deformatsion kengayish

$$\beta_d(2\vartheta) = 4A \langle \varepsilon^2 \rangle^{1/2} \operatorname{tg} \vartheta. \quad (2.68)$$

bilan aniqlanadi. Bunda  $A$ -dislokatsiyalar kristallda bir xil taqsimlanganda taxminan 1 ga teng bo'ladigan doimiylik. Bu kengayishlar kattaligi  $\beta_s$  va  $\beta_d$  radiallarda o'chanadi. O'chan va deformatsion kengayishlarining qaytish tartibiga bog'lanish funksiyalari bir-biridan farqli bo'lgani uchun, ularni difraksion qaytishlar juftlari ( $h, k, l$ ) dan foydalanib, hissalarni ajratib olish mumkin:

$$\beta \approx 0.5 [\beta_s + (\beta_s^2 + \beta_d^2)^{1/2}], \quad (2.69)$$

bunda  $\beta$  – difraksion qaytishning to'la kengayishi. Bo'linishda  $\beta_s$  ni 1 indeksga bog'liq emas deb olinadi. O'chan va deformatsion qaytishlar kengayishini ajratilsa, Al, Ru, Pd, Cu, AlRu kabi nanokristallarda o'rta kvadratik deformatsiya qiymati 1–3% ni tashkil etadi va yirik donadorli metallardagi shunday kattaliklardan ancha yuqoriroq.

Nanokristall moddalarning donalar o'chovi, kristall panjara buzilishini, bo'linish chegaralari qalinligi va tuzilishlarini hisobga olib, rentgen difraksion shaklini modellashtirish asosida hisoblar shuni ko'rsatdi: atomlar siljishi difraksion qaytishlarning ham o'zgarishiga olib keladi.

Tadqiqotlar ko'rsatishicha, kristallitlar sirtida atomlarning sirt bo'y lab siljishi faqat difraksion qaytishlar jadalligini kamaytirib, ularning shakli, kengligi va holatini o'zgartirmaydi. Kristallitlar o'chanmi kichrayishi difraksion qaytishlarning sezilarli darajada kengayishiga olib keladi. Uzoq ta'siri elastik kuchlanishlar maydonining difraksion qaytish parametrlariga ta'siri bo'linish chegaralarining dislokatsiyalari chizig'iy zichligi o'zgarishi yordamida modellashtirildi. Dislokatsiyalar zichligini 0 dan 0.1 va 1.0 nm gacha o'stirish qaytish kengayishiga va uning katta  $\vartheta$  burchaklar tomoniga sijishiga olib keldi. Kristallitlar

o'lchami oddiy hujayra davri  $a$  ning 30 barobaridan kichik ( $D < 30a$ ) bo'lganda  $\rho = 0,1 \text{H} \cdot \text{m}^{-1}$  da kengayishning o'lcham effekti ustivor bo'ladi. Kristallitlar yana ham kattaroq bo'lganda difraksion qaytishlar kengayishiga bo'linish chegaralari dislokatsiyalari tufayli hosil bo'lgan kristallitlar panjaralarining elastik buzilishlari asosiy hissa qo'shadi. Demak, kristallitlar o'lchamlari kichiklashganda bo'linish chegaralaring elastik kuchlanishlarining nanokristall moddalar mikrotuzilmalariga ta'siri kamayar ekan.

## 2.8. Tartiblanmagan tizimlar nanotuzilishi

Difraksion va elektron-mikroskopik tadqiqotlar ko'rsatishicha, amorf holatidagi metall qotishmalar uchun o'ziga xos bir jinsli bo'lma-gan tarkibiy tuzilish mayjud. Shunga o'xhash xossa shisha va amorf moddalar uchun ham borligi past energiyali tebranish spektrlari va elastik tebranishlar spektrlari bo'yicha taqsimotini o'rganish orqali aniqlanadi. Shu holatni qisqacha tahlil etsak ko'rindiki, shisha va amorf jismalarning tartiblanmagan tizimlari tebranishlari spektri oddiy kristallitnikidan keskin farq qilar ekan. Kristallar tebranma holatlarini past energiyalar sohasidagi zichligi Debay qonuni bilan yaxshi tavsiflenadi:

$$g_D(\omega) = 9N \frac{\omega^2}{\omega_D^3}, \quad (2.70)$$

bunda  $\omega_D$  – chastotalar taqsimoti Debay funksiyasining eng katta qiymati.

Kristallardan farqli ravishda shisha va amorf moddalar spektrlari-da 1 K dan kam energiyalarda doimiy zichlikdagi tebranish holatlari kuzatiladi, energiyaning  $2\text{--}10 \text{ MeV} (>15 \text{ K})$  sohalarida esa Debaynidan ortiqcha tebranish holatlari kuzatiladi. Bunday ortiqcha holatlar barcha shishalar uchun neytronlar noelastik sochilishi past energiyali spektrlarida, yorug'lik kombinatsion sochilishi past energiyali sohalari-da, infraqizil yutilish spektrlarida, past temperaturali issiqlik sig'imi va issiqlik o'tkazuvchanliklarida kuzatiladi.

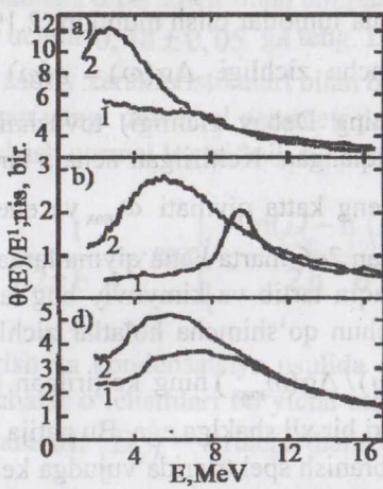
Bunday holatlar haqidagi mavjud tasavvurlarga, asosan, tartiblanmagan moddalardagi holatlar zichligi qo'shimchasini hosil qiluvchi qo'zg'atuvchi tebranishlar manbayi birdan bir necha nanometrgacha

o'Ichamga ega bo'lgan bir necha o'ndan yuzlab atomgacha sohaga joylashgan bo'ladi. Shunday qilib, tartiblanmagan moddalar past energiya- li fononlar spektrlarining alohida holatlari amorf moddalar va shishalar tarkibida, bir necha nanometrli fazaviy o'Ichamga ega bo'lgan o'ziga xos sohalar mavjudligidan, ya'ni bu moddalarning nanotarkibli tuzilishga ega ekanligidan dalolat beradi.

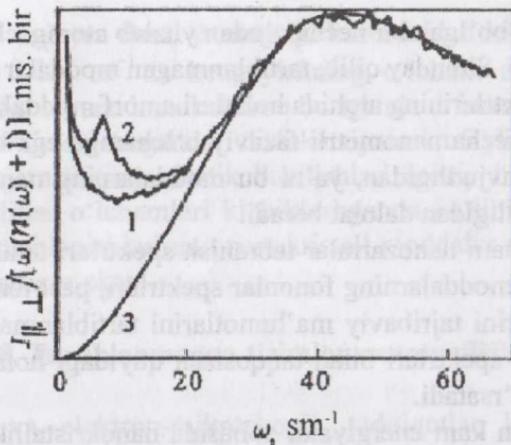
Haqiqatan ham nanozarralar tebranish spektrlari tahlili, nanozarra- chalar va nanomoddalarning fononlar spektrlari, past temperaturali issiqlik sig'imlarini tajribaviy ma'lumotlarini tartiblanmagan moddalar past energiyali spektrlari bilan taqqoslash quyidagi holatlarni keltirib chiqarishini ko'rsatadi.

15 MeV dan kam energiyalar sohasida nanokristallik va tartiblan- magan shishasimon moddalarda tebranma holatlar zichligi va issiqlik sig'imi yirik donadorli kristallarnikidan yuqori. Nanokristall va tartib- lanmagan shishasimon moddalar tebranish spektrlari past chastotalar sohasida holatlar qo'shimcha zichligi ko'rinishi bilan farq qiladi.

Shishalarda holatlar zichligining qo'shimchasi cho'qqi sifatida ko'rinsa (2.19-rasm), zarrachalari o'Ichamlari 10 nm bo'lgan na- nokristall moddalarda u silliq ortib boruvchi chiziq sifatida ko'rindi (2.20-rasm).



**2.19-rasm. Tebranma holatlar zichligining kristal (1) va shishasimon (2) moddalarda energiyaga bog'lanishi:** a –  $\text{As}_2\text{S}_3$ , b –  $\text{SiO}_2$ , d –  $\text{Mg}_{70}\text{Zn}_{30}$  uchun.



2.20-rasm. Nikel nanokristallarining ixchamlashgan (1),  
kukunsimon (2) va yirik donadorlik (3) holatlardagi holatlar zichligi  
 $g(\omega)$  ning fonon energiyasiga bog'liqligi

Shishasimon moddalarda va ularga mos  $\text{As}_2\text{S}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Mg}_{70}\text{Zn}_{30}$  kristallarida past energiyali kvazilokal qo'zg'atishlarni neytronlarning noelastik va kogerent bo'limgan sochilishi va yorug'likning kombinatsion sochilishi usullari bilan o'rganilganda tebranma holatlar zichligi haqida bevosita ma'lumotlar olish mumkin (2.19-rasm). Tebranma holatlarning qo'shimcha zichligi  $\Delta g(\omega) = g(\omega) - g_0(\omega)$  ( $g_0(\omega)$  - tebranma holatlarning Debay zichligi) tovushning tajribaviy tezliklari yordamida aniqlangan. Keltirilgan uchala tartiblanmagan moddalar uchun  $\Delta g(\omega)$  eng katta qiymati  $\omega_{\max}$  va energiyasi  $E_{\max}$  larga mos keluvchi va undan 2–6 marta katta qiymatlarga ega ekan. Har xil kimyoviy tarkibli, yaqin tartib va kimyoviy bog'lanishlari bilan farq qiluvchi shishalar uchun qo'shimcha holatlar zichligining keltirilgan qiymati  $\Delta g' = \Delta g(\omega) / \Delta g(\omega_{\max})$  ning keltirilgan energiya  $E / g_{\max}$  ga bog'liqlik grafiklari bir xil shaklga ega. Bu natija amorf moddalarda past temperaturali tebranish spektrlarida vujudga keladigan chetlatish-larga sabab bo'luchchi omillar amorf moddalar tuzilishidagi alohida holatlar universal xarakterga ega ekanligini ko'rsatadi.

Shishalarda yorug'likning kombinatsion sochilishi spektrlarining past chastotali sohalarida kristallar spektrlarida uchramaydigan keng cho'qqi kuzatiladi. Tahlillar bu cho'qqi Boze statistikasiga bo'y sunuvchi tebranishlar qo'zg'olishlari birinchi tartibli yorug'lik sochilishi bilan bog'liq ekanini ko'rsatadi. Bozon cho'qqisining eng katta qiyomatiga mos keluvchi chastota akustik tebranishlar sohasida bo'lib, har xil moddalar uchun Debay chastotasi  $\omega_B$  ni  $1/3$  dan  $1/7$  gacha qismini tashkil qiladi. Bu demak, bozon cho'qqisini hosil qiluvchi yorug'likni sochuvchi tebranishlarni qo'zg'otgichlar bir necha atomlararo masofada joylashgan bo'ladi. Bozon cho'qqisi yorug'likning kombinatsion sochilish spektrida tebranma holatlarning qo'shimcha zichligi hosil bo'lishini ko'rsatuvchi dalildir.

Shishalarda qo'shimcha tebranma holatlar zichligi va bozon cho'qqilarini hosil bo'lishini tajriba natijalarining eng kam o'zgarishlarisiz ifodalovchi eng optimal funksiya – bu logarifmik normal funksiya

$$\Delta g'(\omega) = \exp\left\{-\frac{\hbar^2(\omega/\omega_{\max})}{2\sigma^2}\right\}. \quad (2.71)$$

Keltirilgan koordinatalarda (2.71) funksiya faqat dispersiya taqsimotidan iborat o'lchamsiz  $\sigma$  parametr bilan aniqlanadi.  $\sigma$  barcha past molekularli shishalar uchun  $0,48 \pm 0,05$  ga teng. Demak, shishalarda nanostrukturalarning asosiy xarakteristikalari bilan bog'liq bo'lgan dispersiya taqsimoti degan yangi universal parametr paydo bo'ldi. Aytish kerak-ki, shunga o'xshash normal logarifmik funksiya

$$F(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} h \sigma_y} \exp\left\{\frac{-\ln(D - h \langle D_g \rangle^2)}{2 h^2 \sigma_g^2}\right\} \quad (2.72)$$

yordamida bug'lantirish va kondensatsiya usulida olingan moddalar da nanokristall zarrachalar o'lchamlari bo'yicha taqsimoti aniqlanadi. Bunda D – zarracha diametri,  $\langle D_g \rangle$  – o'rtacha diametr,  $\sigma_g$  – dispersiya,

$$\ln \sigma_g = \left\{ \sum \left[ n_i (\ln D_i - \ln \langle D_g \rangle)^2 \right] / \sum n_i \right\}^{1/2}.$$

Bunday tahlillar asosida tebranma holatlar qo'shimcha zichligi shishalarda nanometr o'lchamlaridagi alohida sohalar bilan bog'liqligini ko'rsatadi. Qo'shni tebranma holatlar zichligini vujudga keltiruvchi past energiyali tebranishlarni qo'zg'atgichlar modda tarkibidagi nano nojinsliklarda joylashgan deb taxmin qilinadi.

Buning asosida bir necha nanometrli boshqa kimyoviy element klaslerlari o'stirilgan shishada yorug'likning past chastotali kombinatsion sochilishini o'rganish natijalari tasdiqlaydi. Xususan,  $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$  asosli fotoxrom shisha tarkibida kumush galoidi klasterlari mavjud va ular o'lchamlarini kuydirish orqali 4 dan 8 nm gacha o'zgartirish mumkin bo'lgan.

Dastlabki shishada yorug'likni kombinatsion sochilish spektrlarida barcha shishasimon moddalar uchun xos bo'lgan bozon cho'qqisi kuza tilgan (2.19-rasmga qarang).

Namunalarni kuydirish cho'qqilarning faqat past chastotali sohasi o'zgarishini ko'rsatadi: agar shisha asosida 2% dan kam bo'lmagan klasterlar bo'lsa, kuydirishdan keyin yorug'likning noelastik sochilishi spektrida yangi qo'shimcha tasma paydo bo'ladi. Kuydirilgan va dastlabki namunalar spektrlaridagi farq klasterlarning sirtiy tarkiblari tebranish spektriga mos keladi. KRS ni tajribaviy spektrlarida faqat

$$\omega^T = \frac{0.8\vartheta}{D} \quad (2.73)$$

chastotali asosiy tarkib ishtirok etadi.

Bunda  $\vartheta$  –tovushni ko'ndalang tezligi, D-sferik klaster diametri,  $\omega^T$  –asosiy torsion modda chastotasi.

$\text{MgCr}_2\text{O-MgAl}_2\text{O}_3$  klasterli  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$  shishanining yuqoridagiga o'xshash spektri faqat

$$\omega^S = \frac{0.8\vartheta_\lambda}{D} \quad (2.74)$$

chastotali sferik tebranish tarkibga ega bo'ladi.

Bunda  $\vartheta_\lambda$  –tovush bo'ylama tezligi. Mana shu ikki holatlar o'rta sidagi farq klaster va asosiy modda elastiklik doimiy larning munosabatlari bilan belgilanadi: fotoxrom shishalarda asos klasterga nisbatan qattiqroq bo'lgani uchun sferik tebranishlarni so'ndiradi.

Tahlillar ko'rsatishicha, klasterli shishaning past temperaturali is-siqlik o'tkazuvchanligi klasterlar o'lchamiga mos keluvchi tekislikka ega va bu sohada fononlar joylashishi uchun zarur bo'lgan Ioffe-Re-gel sharti bajariladi, ya'ni fonon to'lqin uzunligi  $\lambda$  modda tarkibidagi nojinsliklar o'lchamlari bilan belgilanadigan kuchli sochilishga bog'liq bo'lgan erkin yugurish yo'li  $l$  ga yaqin,  $\lambda \approx l$  bo'ladi. Bu ma'lumotlarni, lokalizatsiya o'lchamlari tarkib korrelyatsiya uzunligiga mos keladigan holatda, shisha issiqlik sig'imini o'hash natijalari bilan solishtirish shisha uchun korrelyatsiya uzunligi 1-3 nm ga teng ekanligini ko'rsatdi.

O'zgaruvchan elastik doimiylar muhitida tebranma harakatlarning qo'shimcha past energiyali zichligini kichik og'ishlar qo'zg'alishlari nazariyasi asosida to'g'ridan-to'g'ri hisoblashlar ko'rsatishicha, korrelyatsiya radiusi  $R_c \approx 1 - 2$  nm bo'lgan elastik doimiylik og'ishlari past chastotali ( $\omega \approx \frac{9}{R_c}$ ) sohada ko'shimcha tebranma holatlar vujudga kelishiga olib keladi.

Avval ko'rliganidek, qo'shimcha tebranma holatlar zichligi disper-siya logarifm chastotasi  $\sigma = 0.48$  bo'lgan logarismik normal funksiya (2.72) yordamida yaxshi tasvirlanishi mumkin. Agar qo'shimcha holatlar zichligi tarkibini nanometrli nojinsliklarida joylashgan tebranish qo'zg'otgichlari tufayli bo'lsa, unda kvazilokal tebranishlar chastotasi  $\omega$  nojinsliklar o'lchami  $D$  bilan  $\omega = K\theta/D$  munosabat ko'rinishda bog'langan bo'ladi. Bunda  $K$  – birga yaqin doimiylik. Bu nojinsliklarning o'lchamlari bo'yicha taqsimoti ham (2.72) ga o'xshash dispersiya  $\sigma$  ning o'sha qiymati bilan yozilishi mumkin demakdir:

$$F(D) = \exp\left\{-\frac{\hbar^2 (D/D_0)}{4\sigma^2}\right\} \quad (2.75)$$

$D_0$  – nanonojinsliklar ehtimolligi eng katta bo'lgan diametri shishalarning nanonojinsliklari bilan bog'liq tebranish spektrlarining past energiyalardagi alohida xossalari shishalar xossalariiga faqat past temperaturalardagina emas, balki shishaning qotish temperaturasiga cha bo'lgan yuqori temperaturalarda ham ta'sir qilishi mumkin. Bunday xossalarga past energiyali tebranish holatlari zichligining Debay chastotasiga yaqin sohadagi spektrga nisbatan kuchayuvchi ta'siri ki-

radi. Misol uchun, atomlar o'rtakvadratik issiqlik tebranishlariga past energiyali fononlar hissasi tebranish chastotalari kvadratiga teskari proporsional holda ko'payadi. Natijada shishada 10% qo'shimcha tebranish holatlari zichligi bo'lganda, atomlar issiqlik tebranishlari amplitudasi kristallarnikiga nisbatan 30–40% ortadi.

Taklif etilayotgan shishasimon va amorf moddalardagi past energiyali tebranishlar spektrlari universal shakli ularning tarkibiy tuzilishida nanometr o'lchamlaridagi nobirjinsliklar mavjudligini bildiradi.

Amorf materiallar va shishalar tarkibi bilan bog'liq bo'lgan tartibsizliklar ichida shishalarning har xil tabiatи (dielektriklik, yarimo'tkazgichlik, metall) ga mos keluvchi universal fazaviy o'lcham mavjud.

Tartiblanmagan moddalarda nanosohalarning bo'lishi kristallar tuzilishi nazariyasi uchun oddiy hujayra mavjudligi qanchalik muhim bo'lsa, shishasimon va suyuq holatlар nazariyasi uchun nanosohalar shunchalik muhim rol o'yнaydi.

## 2-bobning asosiy xulosalari

- Nanozarralarning sirtiy energiyasi zich joylashgan kristall panjaralarda eng kichik qiymatga erishadi. Shuning uchun nanozarralar yoqiy markazlashgan kubik (YOMK) va zich taxlangan geksagonal (ZTG) tuzilishlarga o'tib qoladi. Ba'zi moddalar esa nanozarrachaga bo'linganda amorf holatiga o'tib oladi.

- Suyuqlanish temperaturasi ham nanozarrachalar o'lchamiga bog'liqidir. Nanozarracha o'lchami kichraygani sari suyuqlanish temperaturasi kamayib boradi.

- Nanozarrachalar o'lchami kichrayishi ularning kristall panjara davrlari kamayishiga olib keladi.

- Nanozarrachalarning fononlar spektrida past chastotali moddalar paydo bo'ladi. Bu esa ularning issiqlik sig'imi o'zgarishiga olib keladi. Issiqlik sig'imi ifodasida temperaturaga kvadratik bog'langan qo'shiluvchi  $bT^2$  paydo bo'ladi. Debay temperaturasi ham o'lchamga bog'liq holda o'zgaradi.

- Past temperaturalarda juft elektronli metall nanozarrachalarning elektron-spin paramagnetizmi deyarli nolgacha kamayadi. Toq elektronli metall nanozarralarining temperatura pasayishi bilan paramagnetik qabulchanligi Kyuri qonuniga muvofiq ortib boradi.

- Metallarning nanozarrachalaridan qilingan pardalarda ko'zga ko'rindigan nurlar sohasida yutilish maksimumlari paydo bo'ladi.

- Nanozarrachalarning dielektrik singdiruvchanligi  $\varepsilon(\omega)$  ularning o'lchamiga teskari bog'langan bo'ladi.
- Yutilish polosasi kengligi ham nanozarrachalar o'lchamiga bog'liqdir.
- Nanozarrachalarning lyuminessensiyasi shuni ko'rsatdiki, zaracha o'lchami kichraygan sari lyuminessensiya spektri qisqa to'lqinlar tomon siljiydi.
- Nanokristall bo'lakchalardan tuzilgan polikristallarda zarralar orasidagi chegara tuzilishi atomlararo bog'lanish turiga va qo'shni bo'lakchalarning o'zaro joylashishiga bog'liq bo'ladi.
- Submikrokristalli materiallarni qizdirilganda donadorlik chegaralari relaksatsiyasidan tashqari zarrachalar o'lchamining o'sishi kuza tilidi. Bunday metallarni qizdirish natijasida ularning xossalari sakrab o'zgaradi.

## **2-bobni takrorlash uchun savollar**

1. Kristall panjarasi tuzilishiga uning o'lchami qanday ta'sir ko'rsatadi?
2. Nanozarrachalardagi sirtiy gidrostatik bosim uning o'lchamiga qanday bog'langan?
3. Nanozarrachalarning suyuqlanish temperaturasi uning o'lchamiga qanday bog'langan?
4. Nanozarracha kristall panjarasi davrini uning o'lchamlariga bog'lanishi haqida nimalarni bilasiz?
5. Nanozarrachalarning issiqlik sig'imi ularning o'lchamiga bog'liq ravishda qanday o'zgaradi?
6. Nanozarrachalar magnitik xossalari ularning o'lchamiga bog'liqmi?
7. Koersitiv kuchlar zarracha o'lchamiga qanday bog'langan?
8. Superparamagnitik holat deganda nimani tushunasiz?
9. Nanozarrachalar optik xossalaring o'lchamiga bog'lanishini tushuntiring.
10. Nanomateriallardagi nanozarrachalar bog'lanishi polikristall-dagi donadorlik chegaralaridan qanday farq qiladi?
11. Submikronli kristallar tuzilishining o'ziga xos jihatlari nimadan iborat?
12. Tartiblanmagan nanotizimlar tuzilishi haqida nimalarni bilasiz?

### **3-BOB. NANOKIMYO VA NANOMATERIALLAR**

#### **3.1. Kimyoviy bog'lanish**

Har birimiz yoshligimizda plastilindan narsalar yasaganmiz, qog'ozdan shakllar qirqib, ularni bir-biriga yopishtirganmiz, tugmalar qadaganmiz. Shunga o'xshash narsalarni hammamiz bilamiz, bizni o'rab turgan narsalarni shunchaki biron narsa tutib turmasligini va ularni qandaydir qo'shimcha kuchlar ushlab turishini ham yaxshi bilamiz. Bu kuchlar o'zining tabiatini bilan bir-biridan sezilarli darajada farq qildi: birinchi misolda bu ignaga o'tkazilgan ip matoning parchalarini bir-biri bilan bog'laydi, ikkinchisi butun olam tortishish qonuni, uchinchisi esa yelim, loy va boshqalar. Atom va molekulalar dunyosida universal "yelim" vazifasini kimyoviy bog'lanishlar bajaradi. Kimyoviy bog'lanish tabiatini manfiy elektron va musbat yadro orasidagi elektrik tortishuv orqali sodir bo'ladi deb tushuntiriladi.

***Kimyo fani bu – fizikaning umumiy qonunlariga asoslangan moddalarning xossalari, tarkibi, tuzilishi va boshqa moddaga aylanishini o'rGANADIGAN fan.***

Yelimning turlari ko'p bo'lib, ular pishiqligi bilan biri- biridan farq qilgani kabi turli moddalardagi kimyoviy bog'lar ham bir-biridan farq qiladi. Ba'zi moddalar boshqa modda bilan ta'sirlashganda oson parchalanadi. Masalan, osh tuziga suvni quysak tuz shu zahoti erib ketadi. Chunki, tuzning atomlari o'zaro mustahkam bog'langan emas, boshqa moddalarning atomlari mustahkamroq bog'langan bo'ladi, lekin ular ham deformatsiyalanadi. Masalan, temirni buksa ham, unga shakl bersa ham bo'ladi. Uchinchi bir moddalarga esa qanchalik kuch va energiya sarflamaylik uni sindirish ham parchalab eritish ham qiyin, bunga olmos misol bo'la oladi. Olmosga yuqori bosim ham, yuqori temperatura ham hech narsa emas.

Tuz, metall va olmos uch xildagi kimyoviy bog'larni yorqin namoyon etuvchi moddalar bo'lib, bu bog'lanishlar *ionli, metall va kovalent* bog'lanishlar deyiladi. E'tibor berib qarang, moddalarning atom va molekulalari orasidagi bog'lanish turi moddaning fizik va kimyoviy xossalari qanchalar ta'sir etar ekan?

Atomlar kimyoviy bog'lanishga yagona maqsad bilan, ya'ni : *barqaror elektron konfiguratsiyaga* ega bo'lish uchun (ya'ni, tashqi elektron qobig'ini butkul to'ldirish uchun) kirishadilar. Birinchi bo'lib bu gipotezani 1916-yili Kossel va Lyuis degan olimlar ilgari surishgan va keyinchalik bu g'oya tajribada isbotlangan.

Yuqorida inert gazlar (geliy, neon va argon va boshq.) atomlari doim kimyoviy bog'lanishdan qochishi aytib o'tilgan edi. Ularning o'zini bunday tutishiga sabab, har bir atom o'z - o'zidan turg'un elektron konfiguratsiyaga ega ekanligidir. Geliyning elektron qobig'i –  $1s^2$ , qolganlariniki  $Ns^2Np^6$ , bunda  $N$  – mos kimyoviy qator nomeri.

Inert gazdan farqli ravishda boshqa atomlar barqaror elektron konfiguratsiyaga ega emas, shuning uchun boshqa elementlar bilan tezda kimyoviy bog'lanishga kirishadi. Kimyoviy bog'lanish hosil qilish qobiliyati **valentlik** deb ataladi.

### **Ion bog'lanish**

Ion bog'lanish qarama-qarshi zaryadli ionlar orasidagi elektrik tortishuvi natijasida paydo bo'ladi.

**"Ion"** yunoncha so'z bo'lib, "yuruvchi" degan ma'noni beradi, ya'ni ion elektrik maydonda harakat qiladi deganidir.

Plank va Bor farazlariga. asosan, har bir elektron energiyasi atomda kvantlangan bo'lib, faqat ma'lum bir energetik sathlarga (orbitalarga) to'g'ri keluvchi aniq qiymatlarni qabul qiladi. Elektron bir sathdan ikkinchisiga o'tishi mumkin, bunda fotonlar yutilishi va nurlanishi mumkin. Fotonni yutib elektron yuqori orbitaga chiqadi, natijada elektronni yadro bilan bog'lovchi kuch kamayadi. Agar elektron yadroning tortishish kuchini yengib butunlay "ozod" bo'lsa va atomni tark etsa, atomning ionlashishi sodir bo'ladi. Bunda atom musbat ionga aylanib, **kation** deb ataladi va (+) ishorasi bilan belgilanadi.

$\text{Na}^+$  ,  $\text{Ag}^+$  natriy va kumushning kationlari.

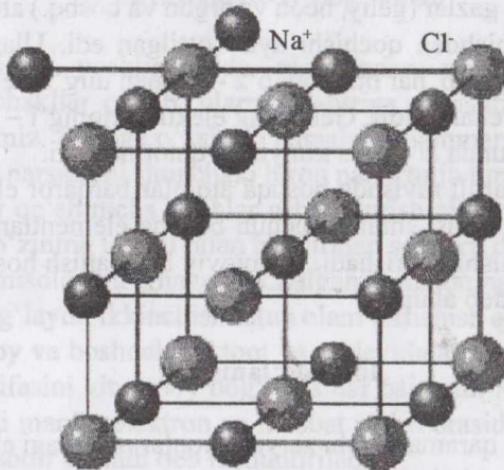
Agar atom aksincha o'ziga qo'shimcha elektronlar qabul qilsa, oshiqcha elektronlar zaryadlari atomni manfiy ionga aylantiradi, uni **anion** deyilib (-) ishorasi bilan belgilanadi.

$\text{S}^{\cdot-}$ ,  $\text{O}^{\cdot-}$  - xlор va kislорod anionlari.

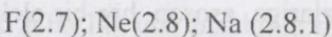
Eslatib o'tamiz, kimyoviy bog'lanishni atomlarning o'ziga eng «yaqin» inert gaz atomi singari barqaror elektron konfiguratsiyaga intil-

ishi mahsuli deb tushuntiriladi. Mendeleyev davriy jadvalining neon ( $1s^1 2s^2 2p^6$ ) atomi qatnashgan ma'lum bir qatorini ko'rib chiqamiz.

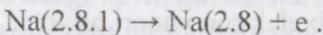
Kimyoviy modda belgisidan keyin qavs ichida K-, L- va M-elektron qobig'idagi elektronlar soni ko'rsatilgan (31-rasm).



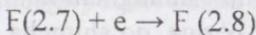
3.1-rasm. Natriy xloridning kristall panjarasi modeli



Natriy atomidan bitta elektron chiqarilsa, neonga o'xshash barqaror elektron konfiguratsiyaga ega bo'lishi mumkin.



Hosil bo'lgan zarra - natriyning musbat zaryadlangan ionidir. Ftorda bitta elektron neondan ko'ra ozroq. Demak, agar ftor boshqa atomdan bir elektronni tortib olsa (masalan, natriy atomidan), u sakkiz elektron dan iborat to'lgan tashqi elektron qobiqqa erishadi:

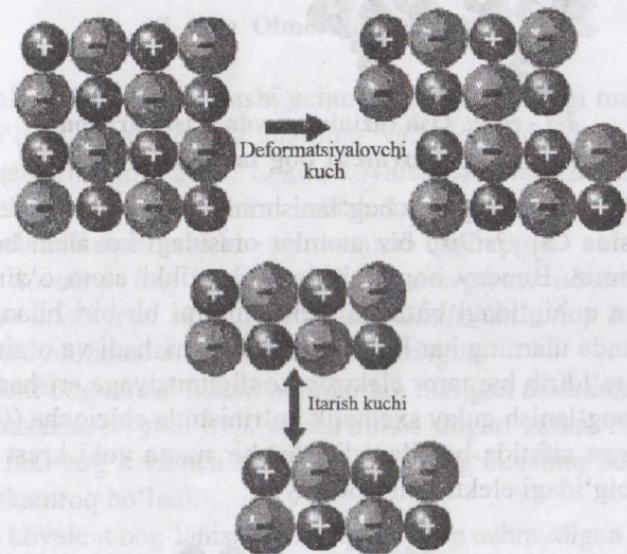


Hosil bo'lgan zarrachalar (ftor anioni va natriy kationi) orasida elektr tortishish kuchlari ularni bir-biri bilan bog'laydi. Bu **ionli kimyoviy bog'lanish** deyiladi.

Ion bog'lanishli birikmalar xossalardan biri tugunlarida musbat va manfiy ionlar joylashgan kristall panjara hosil qila olishdir. Tugunda

manfiy va musbat ionlar joylashgan ion bog'lanishga xos modda namunasini bu hammamizga ma'lum bo'lган osh tuzi bo'lib, uning formulasi NaCl dir.

Ko'p hollarda ion bog'lanishli birikmalar tashqi ta'sir ostida yoki kimyoiy reaksiya natijasida osongina yemiriladi. 3.2-rasmda agar ionli kristallga deformatsiyalovchi kuch ta'sir etsa, qanday holat yuzaga kelishi ko'rsatilgan.

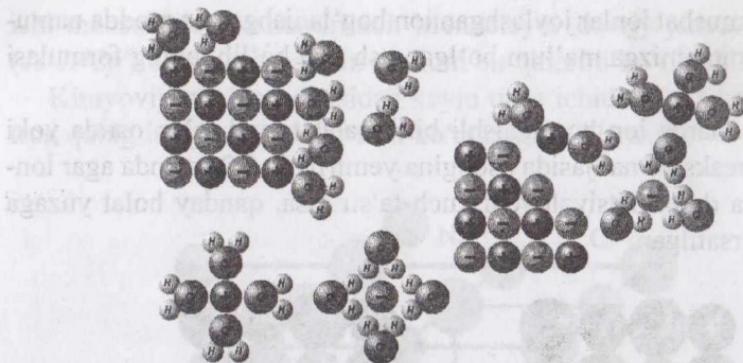


3.2- rasm. NaCl kristalining deformatsiyalovchi kuch ta'sirida uzilishi.

Kristall panjaradagi unchalik katta bo'limgan siljishlar bir xil zaraydli ionlarni yaqinlashtiradi. Natijada ular orasidagi itarish kuchlari ta'sirida kristallda yoriqlar paydo bo'ladi.

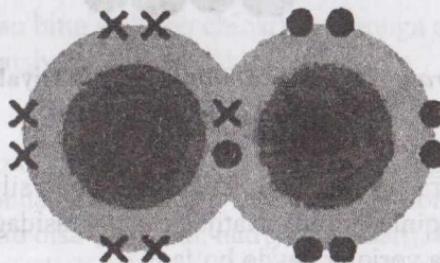
3.3- rasmda osh tuzining kristaliga suv molekulalari qo'shilsa nima bo'lishi yaxshi ko'rsatilgan. Suv molekulasida turli zaryadli atomlar bor (kislород ко'роq elektronlar bulutini o'ziga tortadi, shuning uchun u vodorodga nisbatan manfiy bo'lib qoladi).

Shuning uchun, kislород atomi zaryadlangan natriy kationini, vodorod atomi esa xlor anionini tortadi va NaCl kristall panjarasi par-chalanadi.



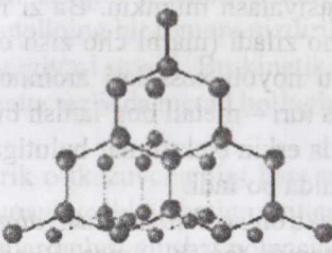
**3.3 - rasm. Osh tuzining suvda erish jarayoni.  
Kovalent bog'lanish**

Ion bog'lanish kimyoviy bog'lanishning birdan- bir turi emas. Xlor molekulasida  $\text{Cl}_2$  ( $3s^2 3p^5$ ) biz atomlar orasidagi kovalent bog'lanishni uchratamiz. Bunday bog'lanishlarda har ikki atom o'zining tashqi elektron qobig'idagi bittadan elektronlarini bir-biri bilan almashib turadi. Bunda ularning har biri 8-elektronga erishadi va o'zining sirtqi qobig'ini to'ldirib barqaror elektron konfiguratsiyaga erishadi. Har bir kovalent bog'lanish qulay sxematik ko'rinishida chiziqcha (C-C), nuqta yoki krest sifatida belgilanadi. Har bir nuqta yoki krest atomning valent qobig'idagi elektronni ifodalaydi.



**3.4-rasm. Kovalent bog'lanish sxemasi.**

Umumlashgan bu ikki elektronlar juftligi **valent** elektronlar deyiladi. Kovalent bog'lanish hosil qilgan elektronlar bitta orbitalni egallaydi ularning spinlari Pauli prinsipiga, asosan, qarama-qarshi yo'nalishli bo'ladi. Shunday qilib, kovalent bog'lanishda atom orbitallari bir-birini qoplaydi.



**3.5-rasm. Olmosning tuzilishi.**

Orbitallar bir-birini qoplashi uchun atomlar orasidagi masofa juda kichik bo‘lishi kerak, bunga ularning yadrolari orasidagi itarishish kuchlari qarshilik ko‘rsatadi. Lekin, kovalent bog‘lanish kerakligicha kuchli bo‘lgani uchun atomlarni ushlab turishga qodirdir. Shu tufayli umumiy orbitalli atomlarni bir-biridan uzib olish qiyin.

*Aynan kovalent bog‘lanishning katta energiyasi olmosning o‘ta mustahkam nodir jism ekanligini izohlay oladi, unda har bir uglerod atomi to‘rtta boshqasi bilan kovalent bog‘langan.*

Kovalent bog‘lanish bir xil atomlardan tuzilgan molekulalarga xos bo‘ladi (masalan,  $N_2$  yoki  $Cl_2$ ), yoxud olmos singari karkas tuzilish hosil qiladi. Ikki bog‘li va uch bog‘li kovalent bog‘lanishlar odatdagidan ko‘ra mahkamroq bo‘ladi.

Ion va kovalent bog‘lanishlar haqiqatda ko‘p uchraydigan kimyoviy bog‘larning ikki chegaraviy holatlaridir, ko‘p hollarda haqiqiy mavjud bo‘lgan kimyoviy bog‘lar shu ikki bog‘lanish orasida bo‘ladi. Biroq, ta’kidlash mumkinki, ba’zi bog‘lanishlarda ionli bog‘lanish ustivor bo‘lsa, ba’zilarida kovalent bog‘lanish ustivor bo‘ladi. Kovalent bog‘lanishning ancha barqarorligi ajablanarli emas, chunki u ion bog‘lanishga ko‘ra katta bog‘lanish energiyasiga ega. Lekin, aytish kerak-ki, alohida har bir atomni qanday bog‘ bilan birikishi reaksiya “sharoitiga” bog‘liq, bir modda turli reaksiyalarda o‘zini turlicha tutishi mumkin.

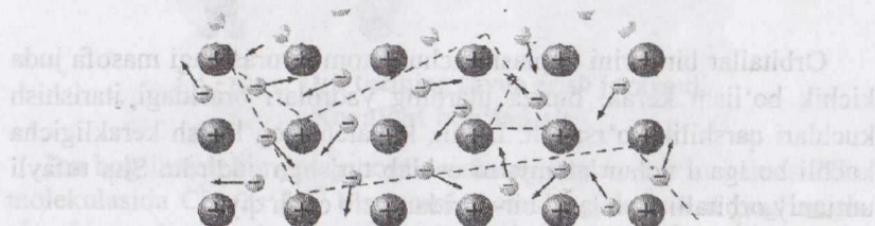
### **Metall bog‘lanish**

Metallar –hozirgi zamon sanoatida juda keng qo‘llaniladigan xom ashyolardandir. Mashinalarning katta qismlari, dastgohlar, asboblar va transport qurilmalari metalldan tayyorlanadi. Ular tokni va issiqqlikni yaxshi o‘tkazadi, yetarlicha pishiq bo‘lgani uchun ularni bemalol

sindirmasdan deformatsiyalash mumkin. Ba'zi metallar toblanadigan bo'lib, ba'zilari esa cho'ziladi (ularni cho'zish orqali sim hosil qilish mumkin). Ularning bu noyob xossalari atomlar orasidagi kimyoviy bog'lanishning maxsus turi – metall bog'lanish bilan tushuntiriladi.

Metall qattiq holatda erkin elektronlar bulutiga "botirilgan" musbat ionlar kristali ko'rinishida bo'ladi.

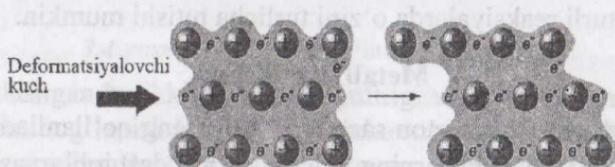
Metalda erkin elektronlar *delokalizatsiyalangan*, ya'ni ular qandaydir muayyan bir atomga tegishli emas. Bunday noyob elektronlar «buluti» qanday paydo bo'ladi?



**3.6- rasm. Metallning kristall panjarasi. Qizil shtrix bilan bitta erkin elektronning harakat trayektoriyasi tasvirlangan.**

Qachonki ikkita metall atomi yaqinlashsa, ularning sirtqi elektron qobig'i bir-birini qoplaydi va *molekuyar orbitallar* hosil bo'ladi. Agar bu ikki atomga uchinchi atom yaqinlashsa, uning orbitali birinchi ikkita atomning orbitalini ustiga qoplanib yana bir molekulyar orbital hosil qiladi. Atomlar soni juda ko'p bolsa, kristallning hamma tomoniga yo'nalgan uch o'lchovli ko'p molekulyar orbitallar hosil bo'ladi. Orbitallarning ko'p marta bir-birini qoplashi natijasida har bir atomning valent elektronlari yonidagi ko'p atomlar ta'siri ostida bo'ladi.

Metall bog'lanish metallarning ko'p xossalari, jumladan, mustahkamligini tushuntirib beradi. Deformatsiyalovchi kuch ta'sirida, ion kristallidan farqli ravishda, metallning panjarasi yoriqlar paydo qilmadan o'zining shaklini o'zgartirishi mumkin.



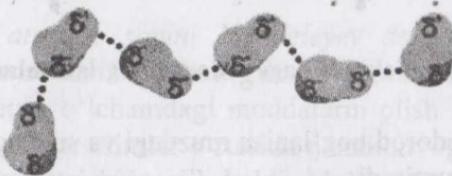
**3.7- rasm. Metallning kristall panjarasiga deformatsiyalovchi kuch ta'siri.**

Metallarning yuqori issiqlik o'tkazuvchanligini shunday izohlash mumkin: bir bo'lak metallning bir tomoni qizdirilsa, undagi erkin elektronlarning kinetik energiyasi ortadi. Bu kinetik energiya "erkin elektronlar buluti" orqali katta tezlikda metall bo'lagining hamma tomoniga tarqaladi.

Metallarning elektrik o'tkazuvchanligi ham tushunarli bo'lib qoladi. Agar metall namunaning ikki chetiga potensiallar farqi qo'yilsa, umumlashgan elektronlar buluti musbat potensial tomonga siljiydi. Bu bir yo'nalishdagi elektronlar oqimi hammamizga tanish bo'lgan elektr tokidir.

### Vander - der - Vaals kuchlari

Ko'rib chiqilgan kimyoviy bog'lanishlardan tashqari nisbatan zaif bo'lgan Vander - der - Vaals kuchlari yordamida hosil bo'luvchi kimyoviy bog'lanishlar ham mavjud. 1873-yilda Vander - der - Vaals atomlar orasidagi bog'lanish singari molekulalar orasida ham tortishish kuchlari mavjud degan fikrni oldinga surdi. Keyinchalik bu faraz tasdiqlandi va molekulalar orasidagi turli o'zaro ta'sir kuchlari kashf qilindi. Ularning ichida eng ko'p tarqalgani *dipol - dipol tortishish kuchlari*dir (3.8-rasm).



3.8-rasm. Dipol - dipol ta'sirlashish sxemasi.

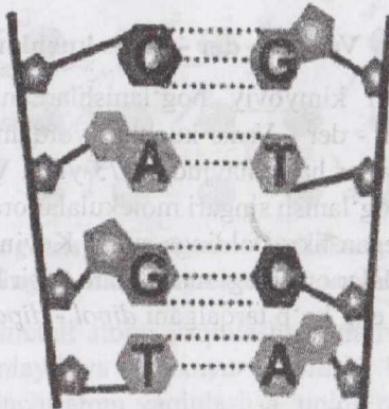
Ba'zi molekulalar (ko'proq kovalent bog'lanishda) *dipol momentiga* ega bo'ladi. Uning mohiyati shundaki, molekulalarning bir qismiga boshqa qismidan ko'ra ko'proq elektron «to'planadi». Buning natijasida molekulaning ikki chekkasi orasida potensiallar farqi paydo bo'lishiga olib keladi. Rasmida ko'rsatilganidek, molekulalardagi turli ishorali zaryadlar orasida o'zaro tortishish kuchi molekulyar bog' hosil qiladi.

Hozirgi paytda "Vander-der-Vaals kuchlari" atamasini vodorod bog'lanishdan tashqari, hamma kuchsiz molekulalararo kuchlariga qo'llaniladi.

## Vodorod bog'lanish

Vodorod bog'lanish vodorod atomi va elektromanfiy atomlar o'rta-sida hosil bo'lishiga qaramay u dipol - dipol tortishishning eng chegaraviy holatiga mos keladi, lekin, uni Vander - der - Vaals kuchlari sarasiga qo'shishmaydi.

Birinchidan, u oddiy *molekular bog'dan* ancha kuchli (3.10- rasm), ikkinchidan u *molekulalar ichidagi bog'lanish ko'rinishida* ham vujudga kelishi mumkin (3.9 -rasm).

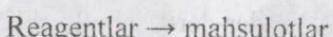


3.9- rasm. DНK molekulasi dagi vodorod bog'lanishlarning ko'rinishi.

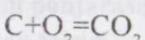
Huddi shu vodorod bog'lanish muzdag'i va suvdagi ko'p noyob xususiyatlarni tushuntiradi.

## 3.2. Nanokimyo nima?

Kimyoviy bog'lanish kimyoviy reaksiya natijasida yuzaga kelishini tushuntirish shart emas. Bunda boshqa moddaga aylanayotgan moddalar *reagentlar*, undan paydo bo'lgan moddalar esa *mahsulotlar* deb ataladi. Shuning uchun har bir kimyoviy reaksiyani quyidagi tarzda yozsa bo'ladi:



Masalan:



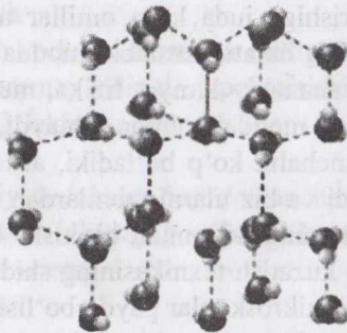
Reaksiyaning borishiga juda ko'p omillar ta'sir qiladi: temperatura, bosim, moddaning holati, dastlabki modda zichligi va h.k. Balk texnologiyasi (ya'ni ananaviy kimyo, fizika, mexanika) makroskopik miqdorga ega bo'lgan moddalar bilan ishlaydi, bunday moddalarda atomlar miqdori shunchalik ko'p bo'ladiki, aftidan, moddalar uzlksiz muhitga o'xshaydi va biz ularni atomlardan tarkib topganini eslamaymiz ham. Atomlarning trillionlab birikishi *kompakt modda* hosil qiladi. Bevosita aniq kuzatish texnikasining shiddat bilan rivojlanishi, xususan skanerlovchi mikroskoplar paydo bo'lishi moddalarni alohida atom va molekulalar sathida o'rganishga sharoit yaratib berdi. Bu yerda olimlarni juda ko'p ajoyibotlar kutmoqda edi. Bir va o'sha modda o'zining kimyoviy xossalari va reaksiyon qobiliyatini namunadagi atomlar miqdori va uning o'lchamiga qarab, sezilarli o'zgartirishi mumkin ekan.

XIX asrning buyuk olimi Maykl Faradey bunga bиринчи bo'lib e'tibor berdi. U oltinning juda mayda bo'laklaridan g'aroyib xususiyatli *suspenziyalar* olgan. O'zining kompakt holatidan farqli ravishda, ham-maga tanish bo'lgan sariq yaltiroq oltin, suspenziya holatida binafsha rangda bo'lgan. Bu esa oltin zarralarining o'lchamlari o'ta kichiklashganda yorug'lik nurlarini akslantirish qobiliyati o'lchamga qarab o'zgarishini bildiradi.

*Zarrachadagi atomlar sonini Mendeleyev davriy sistemasining uchinchi koordinatasi ham deyishadi(guruh va qator bilan birga).*

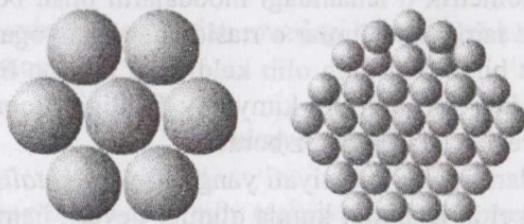
Aynan nanometrik o'lchamdagи moddalarni olish bo'yicha o'tka-zilgan bиринчи tajribalar olimlar o'rtasida nanokimyoga bo'lgan qizishni shiddat bilan o'sishiga olib keldi. Ma'lum bo'lishicha, nanometr o'lchamdagи zarralarning kimyoviy faolligi yuqori bo'lib, ular ishtirokidagi reaksiyalar juda tez boradi.

Nanozarralarning bu xususiyati yangi effektiv *katalizatorlar* yaratilishiga olib keldi. Bugungi kunda olimlar deyarli hamma kimyoviy elementlarning nanotuzilmalarini olishga erishdilar, bu esa izlanishlar uchun yanada keng erkinlik beradi. Keyingi vaqtarda ma'lum bo'ldiki, kumushning kompakt holatidan ko'ra uning nanozarrasi bakteriyalarni yaxshi o'ldirar ekan, shuning uchun suvni tozalashda va infeksiya bilan kurashishda ham ularning ancha yordami tegdi. Bugungi kunda nanozarralar nanokimyoning eng yaxshi o'rganilgan qismlaridan biridir.



**3.10-rasm .Muzdag'i vodorod bog'lanish sxemasi.**

Metall zarralarining 10nm dan kichik bo'laklari **klasterlar** deyiladi. Ular yuqori kimyoviy faollikka ega bo'lib, boshqa moddalar bilan amalda hech qanday qo'shimcha energiyasiz reaksiyaga kirishishadi. Bunday zarralarning ortiqcha energiyalari nanozarra sirtlaridagi atomlarni kompensatsiyalanmagan bog'lari hisobiga paydo bo'ladi deb tushuntiriladi. Gap shundaki, nanozarralarning sirtidagi atomlar sonining, nanozarradagi barcha atomlar soniga nisbatan ulushi oddiy kompakt moddadagiga nisbatan juda yuqoridir va nanozarralarining o'chami kichiklashgan sari sirdagi atomlar ulushi ortib boraveradi. Mos holda nanozarra to'la energiyasidagi sirtiy atomlarning ulushi ham ortadi.



**3.11.rasm. Nanozarrachada (chapdag'i rasm) atomlarning ko'pchilik qismi uning sirtida yotadi, kompakt moddada esa (o'ngdag'i rasm) ular modda ichida bo'ladi.**

Maktab fizika kursidan bilamizki, suyuq modda sirtidagi atomlar ichkaridagilariga nisbatan ma'lum bir ortiqcha energiyaga ega bo'ladi, sirt

taranglik va kapillyar hodisalar shu qo'shimcha energiyaning mavjudligi bilan tushuntiriladi. Sirt atomlarining ortiqcha energiyasi moddarning suyulish temperaturasiga, eruvchanligiga, elektrik o'tkazuvchanligiga, oksidlanish darajasiga, zaharlilik darajasiga, portlovchanligiga va boshqa xossalariga sezilarli ta'sir etadi. Bularning hammasi zarralarning o'lchamlari ham, uning boshqa parametrlari singari, zarraning xossalarini va reaksiyaga kirish qobiliyatini belgilovchi faol o'zgaruvchi ekanligini tasdiqlaydi.

*Nanosistemalar xossalari makroskopik moddalar xossasidan shunchalar farq qiladiki, ularni nanozarralar fizik kimyosi yoki nanokimyo deb nomlanuvchi fanning maxsus yo'naliши о'рганади.*

XX asrning birinchi yarimida nanokimyoga *kolloidlarni* o'rgangan mutaxassislar o'zlarining eng katta hissalarini qo'shgan bo'lsa, ikkinchi yarimda esa, polimerlar, oqsillar, tabiiy birikmalar, fullerenlar va nanonaychalarni o'rgangan mutaxassislar o'zlarining eng katta hissalarini qo'shdilar.

Keyingi o'n yil ichida faol rivojlanayotgan nanokimyo fani turli nantuizilmalar xossalarni, ularni olishning yangi usullari va nanozarralarni modifikatsiyalashtirish yo'llari ustida ish olib bormoqda.

*Nanokimyoning ustivor vazifalaridan biri nanozarraning o'lchamlari bilan uning xossalari o'rtaсидаги bog'lanishni aniqlashdan iboratdir.*

Nanokimyoda *kvant o'lchamiy effektlarning o'mni* juda beqiyosdir, ya'ni zarra xossalaring undagi atom va molekulalaring miqdori, zarra o'lchamlariga bog'liq o'zgarishlari muhim o'rinn tutadi. O'lchamiy effektning ahamiyati shunchalar kattaki, D.I.Mendeleyev davriy sistemasiga o'xshatib klasterlar va nanozarralar xossalaring ularning o'lchami va shakliga bog'liqlik jadvallari tuzishga harakat qilinmoqda.

Nanozarralarni sanoatda olishning ko'p usullari bor: biokimyoviy, radiatsion – kimyoviy, fotokimyoviy, elektroportlovchi, mikroemulsion, detonatsion, suyuqliklarda lazerli ablyatsiya, kondensatsiya, vakuumda bug'latish, ionli implantatsiya va boshqalar. Keyinroq ba'zi bir usullarni yanada kengroq ko'rib chiqamiz.

### **3.3. Nanokimyo obyektlari. Nanozarralar klassifikatsiyasi**

Nanokimyo fani hali yosh fan bo'lgani uchun, hozircha yagona terminologiyasi ham, o'rganilayotgan zarralar klassifikatsiyasi ham yo'q.

Aytish mumkinki, qancha tadqiqotchi bo'lsa, klassifikatsiya ham shuncha. Hozircha nanokimyo fani turli *nanosistemalarni* qamrab oladi va ularning xossalariini o'rGANADI degan hamma qabul qilgan nisbiy tu-shuncha bor.

**Nanosistema** deganda ma'lum bir muhitdagi o'lchamlari 100 nm dan birmuncha kichikroq bo'lgan nanozarralar tushuniladi. Bunda nanozarra yana ham kichikroq bo'lgan *klasterlar* tizimidan, moddanning eng kichik g'ishtchalaridan tuzilgan deb tushuniladi. Klasterning o'lchami 10nm dan katta emas. Xuddi shu klasterlar o'lchamida mumkin bo'lgan barcha kvant effektlar namoyon bo'ladi.

Fanda nanokimyo obyektlarini ko'p marta klassifikatsiya qilishga harakat qilingan. Quyidagi jadval sizlarni atamalarda adashib qolmasligingizga yordam beradi:

6- jadval

#### Nanokimyo obyektlari

Fazaviy holati	Alohidat atomlar	Klasterlar	Nanozarralar	Kompakt modda
Diametri, nm	0,1–0,3	0,3 – 10	10 – 100	100dan ortiq
Atomlar soni	1 – 10	$10\text{--}10^6$	$10^6\text{--}10^9$	$10^9$ dan ortiq

Shunday qilib, nanotuzilmalarga ko'p atomli klasterlar va molekulalar, nanotomchi, nanokristallar misol bo'lishi mumkin. Bunday yondoshish yolg'iz atomlarni nanokimyoning pastki chegarasi sifatida, nanozarra xossasini yo'qtadigan darajadagi atomlar miqdorini esa yuqori chegara sifatida qarash imkonini beradi. Yuqori chegara har bir modda uchun har xildir.

*Geometrik belgisi* (o'lchami) bo'yicha nanoobyektlarni turli nuqtai nazardan klassifikatsiya qilish mumkin. Ba'zi tadqiqotchilar obyekt o'lchami uning makroskopik o'lchamlariga ega bo'ladigan o'lchamlar soni bilan belgilanadi desa, ba'zilari, asosan, nanoskopik o'lhashlar sonini olishni taklif qiladi. Biz esa ikkala yondoshishni birlashtiruvchi klassifikatsiyani sinab ko'ramiz:

### Nanokimyo obyektlarini birlashgan klassifikatsiyasi

Obyekt xarakteristikalarini tavsiflari	100nm dan kichik bo'lgan o'lchamlar soni	100nm dan katta bo'lgan o'lchamlar soni	Misollar
Uchala o'lchami (bo'y, eni, uzunligi) 100nm dan kichik	3 – o'lchovli obyekt	0 – o'lchovli obyekt	Fullerenlar, kvant nuqtalar, kolloid eritmalar, mikroemulsiyalar
Ko'ndalang kesim o'lchami (bo'y, eni) 100nm dan kichik, uzunligi ixtiyoriy katta	2 – o'lchovli obyekt	1 – o'lchovli obyekt	Nanonaychalar, nanotolalar, nanokapillyarlar va nanog'ovaklar
Faqat eni o'lchami 100nm dan kichik, bo'y va uzunligi ixtiyoriy katta	1 – o'lchovli obyekt	2 – o'lchovli obyekt	Nanoparda va nanoqatlamlar
Hamma uch o'lchami 100nm dan katta	0 – o'lchovli obyekt	3 – o'lchovli obyekt	Oddiy makrojismlar

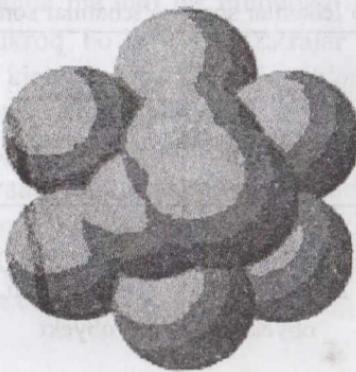
Nanoobyekt klassifikatsiyasi faqatgina rasman nuqtayi nazardangina muhim emas. Nanoobyekt geometriyasi uning fizik-kimyoviy xos-salariga ham jiddiy ta'sir ko'rsatadi.

Moddalarning tarkibiga, klaster shakllariga va atomlar orasidagi bog'lanish turlariga ko'ra juda ko'p nanoobyektlar mavjud. Quyida ulardan bir nechtasini ko'rib chiqamiz:

### Inert gazlar atomlaridan tuzilgan zarralari

Bu eng sodda nanoobyektdir. Inert gaz atomlarining butunlay to'lgan elektron qobiqlari o'zaro Van-der -Vaals kuchlari bilan kuchsiz ta'sirlashadi.

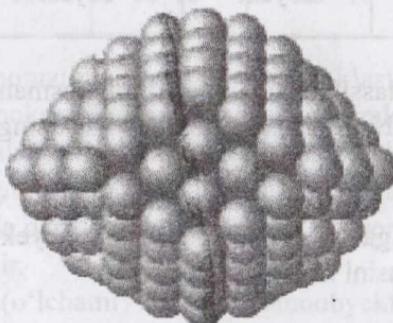
Bunday zarrachalarni ifodalashda yetarlicha katta aniqlikda qattiq sharchalar modelini ishlatishimiz mumkin. Ularning atomlari orasidagi bog'lanish energiyasi juda zaif, shuning uchun ular 10 – 100 K dan baland bo'lgan temperaturalarda mavjud bo'ladi (3.12-rasm).



3.12 - rasm. 16 ta argon atomidan iborat nanozarracha

### Metall zarralari

Bir nechta metall atomlari klasterda kovalent bog'lanish ham, metall bog'lanish ham hosil qilishi mumkin. Metallning nanozarringsi kuchli reaksiyon qobiliyatga ega va ko'p hollarda katalizator sifatida foydalanildi (3.13-rasm).



3.13 - rasm. Metall nanozarrachasi.

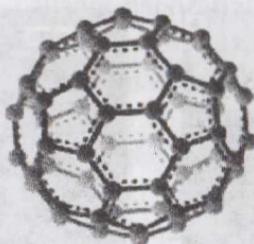
Metall nanozarringsi, odatda, muntazam shakllarni - to'g'ri oktaedr, ikosaedr yoki tetrodekaedr shaklini qabul qiladi (3.14-rasm).



3.14 - rasm. Metall nanzarrachasining imkoniy shakllari.

### Fullerenlar

Birinchi bobda aytganimizdek, fullerenlar uglerod atomlarining olti qirrali kovalent bog'laridan tashkil topgan ichi bo'sh, g'ovak zarralardir (3.15 - rasm). Bu uglerodning mavjud bo'lgan, taniqli, grafit va olmos shakllari bilan bir qatorda mavjud bo'lgan, yaqinda ochilgan tabiiy shaklidir. Fullerenlar orasida muhimi mikroskopik futbol to'pini eslatadigan 60 ta uglerod atomi joylashgan  $C_{60}$  zarradir.



3.15-rasm. Fulleren molekulasi  $C_{60}$

Fullerenlar yangi moylar ishlab chiqarishda, antifriksion qoplamlarda, yoqilg'ilarning yangi turlarida, yuqori qatiqlikdagi olmossimon birikmalarda, datchiklar va bo'yqlarda keng ko'lamda qo'llaniladi.

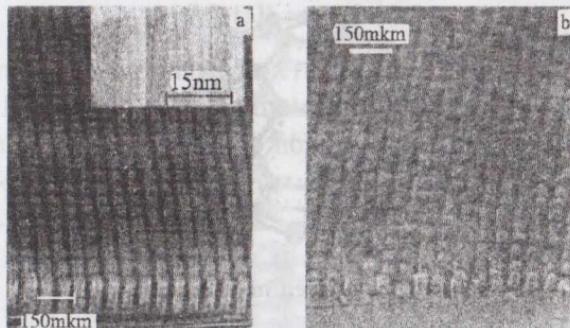
### Nanonaychalar

Nanonaycha – uglerodning 1000000 chamasidagi atomlaridan tuzilgan ichi bo'sh, bir qatlamlili, diametri bir nanometr atrofida va uzunligi bir necha o'n mikron bo'lgan ulkan naychasimon molekuladan iborat. Uning qobig'ida uglerod atomlari to'g'ri olti burchak shaklida birikkan bo'ladi (3.16-rasm).



### 3.16-rasm. Nanonaychaning bir qatlamlı molekulasi.

Nanonaycha yuqoridagi boblarda batafsil ko'rib chiqilgan bir qator noyob xossalarga ega. Shu tufayli nanonaycha juda ko'p joylarda, yangi materiallar yaratishda, elektronikada, skanerlovchi mikroskopiyada keng qo'llaniladi. Nanonaychaning noyob xossalari, ya'ni yuqori darajadagi solishtirma sirtiy elektrik o'tkazuvchanligi, chidamliligi ular asosida turli jarayonlar uchun samarali katalizator tashuvchilarini yaratish imkonini beradi. Masalan, nanonaychadan shunday o'lchamli oddiy elektrik batareykalarga nisbatan 3 marta uzoq ishlaydigan yangi elektr manbalari – *yoqilg'i yachevkalar* yaratildi (3.17-rasm).



### 3.17-rasm. G'ovak(a) va tekis(b) kremniy taglikda o'stirilgan uglerodli nanonaychalar matritsasi.

Uyali telefonlarning hozirgi avlodidan farqli ravishda, *yoqilg'i yachevkali* telefonlar 4 kun emas, taxminan 2 hafta kutish rejimida ishlab turishi mumkin. *Yoqilg'i yachevkasi* metil spirti bilan to'ldiriladi, spirt reaksiya paytida vodorod va kislorodga ajraladi, natijada issiqlik va elektr energiyasi ajralib chiqadi. Bu jarayonning samarasi katalizator o'lchamiga bog'liq, shuning uchun nanonaychaning sirtiga qoplangan platina nanozarralari juda yaxshi katalizator xizmatini o'taydi.

2005-yil boshida NEC kompaniyasi yoqilg'i yacheykasi o'rnatilgan noutbuklar ishlab chiqara boshladi. Hozircha bu noutbuklarning avtonom ishlash vaqtiga taxminan 5 soatni tashkil qiladi. Lekin, injenerlar uni 40soatga uzaytirishni rejalashtirmoqda. Hozirgi vaqtida yoqilg'i yacheykasi ishlab chiqarish bilan ko'p kompaniyalar shug'llanishmoqda. Bular Motorola, Casio, Sony, Hitachi va Samsung kabilardir.

Bu nanonaychalarning hayratlanarli xossalari kelajak avtomashinalariga ekologik toza yoqilg'i bo'lувчи vodorodni toplash va saqlash imkonini beradi. Yoqilg'i yacheykasida ishlaydigan harakatlantirgichlarda elektr energiya ishlab chiqarish uchun vodorod  $H_2$  va kislorod  $O_2$  reaksiyasidan foydalaniлади. Shuning uchun avtomobildan tutun o'rniga suv bug'i ( $H_2O$ ) chiqadi. Oldin avtomobil ishlab chiqaruvchilar bunday avtomobilni hayollariga ham keltirmaganlar, chunki vodorod dunyodagi eng yengil gaz va bir necha kilogramm vodorod bu katta balloon demakdir. Hech qanday avtomashina qiziquvchilari bahaybat balloonni mashinalariga o'rnatib, benzokololonkaga olib borishni xohlaman gan bo'lar edi. Lekin, palladiy nanozarrali nanonaychada vodorodni o'zining normal holatdagi sig'imidan yuz marta zikh holatda saqlasa bo'ladi, bu degani mashinalar yanada quvvatli, arzon va ekologik toza bo'lishi mumkin.

Toyota kompaniyasi 2001-yildayoq bunday avtomobilarni sinashga kirishgandi. 2010-yilda yapon kompaniyalari 50.000 ta yoqilg'i yacheykali avtomashina ishlab chiqarishmoqchi edi. 2020-yilga kelib esa ular 5000.000 ga yetishi rejalashtirilmoqda. Hyundai, UTC, Fuel Cells va Chevron Texaco kompaniyalari Kaliforniyada eksperimental vodorod stansiyasi ochishdi, unda 5 ta Hyundai va Kia vodorod yoqilg'i yacheykali avtomashinalariga vodorod to'ldiriladi.

Yoqilg'i yacheykali manbalar texnologiyasining bundan keyingi rivoji kelajakda hozirgi zamon batareyalardan 100 va 1000 barobar ko'p energiya saqlash imkonini beradi. Qanday qilib bu energiya u yerda joylashadi? Juda oddiy. Eynshteyn keltirib chiqargan  $E=mc^2$  formulaсини eslatib o'taylik. Ko'plar uni ko'rishgan, lekin, uning ma'nosini ko'pchilik tushunmaydi. U shunchaki materiya va energiya orasidagi bog'liqligini ifodalaydi yoki oddiyoq qilib aytganda, energiyani moddaga yoki aksincha moddani energiyaga aylantirish mumkinligini bildiradi. Bu formuladan foydalaniб, masalan, vazni 0.11 kg olmaxonda

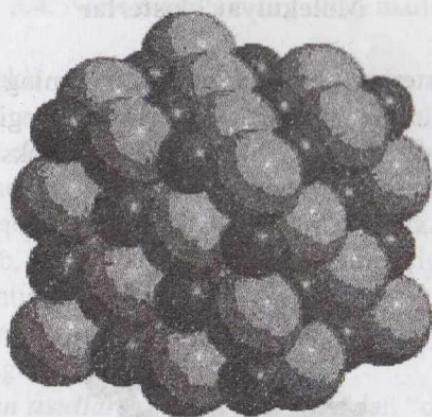
$E=0,11 \cdot (300.000.000)^2 = 10^{16} \text{J}$  energiya bo'lishini ko'rsatish mumkin, bu atom bombasi portlashida chiqqan energiyadan 100 marta ko'p. Unda nimaga olmaxon portlovchi emas, hatto ko'pincha yuvosh? Chunki moddani energiyaga aylantirish juda qiyin. Hatto atom elektr stansiyasida ham massaning mingdan bir hissasigina energiyaga aylanadi. Quyoshdagi *termoyadro reaksiyasida* moddaning bir foizigina energiyaga aylanadi. Faqt materiya *antimodda* bilan to'qnashganda o'zining barcha energiyasini chiqaradi.

Bizning Quyoshimiz ham ulkan *vodorodli termoyadro yoqilg'i yacheykasidan* iborat. Agar vodorod yonishi paytida kislorod bilan bog'lanib suvg'a aylansa, termoyadro reaksiyada ikkita vodorod atomi geliy atomiga aylanadi, unda juda katta energiya ajralib chiqadi. Agar kimyoviy reaksiyalar molekulalarni o'zgartirsa, termoyadro reaksiyasi o'rta asrdagi alkimyogarlarning orzularini amalga oshirib, bir kimyoviy elementni boshqasiga aylantiradi.

Ular yordamida olimlar qo'rg'oshindan oltin olishdi, lekin, bu bilan boyib ketishga erisholmadi – chunki, bir nanogramm oltin olish uchun ishlataladigan termoyadro qurilmasi bir necha vagon to'la tilla quymasi narxiga teng. Nanotexnologiya termoyadro asboblarini kichkina va arzon qilishga zamin yaratadi deyishga hamma asoslarimiz bor. Shunda har bir kichik batareykalarda kichkina quyoshchalar yonadi, mashinalar esa yil bo'yi vodorod yoqilg'isi quymasdan yurishi mumkin. Telefon va noutbuklarga zaryad qilish uskunalari umuman kerak bo'lmaydi. Bunday yoqilg'i yacheykasiga o'xshashni o'quvchilar ko'p filmlarda ko'rgan bo'lishi mumkin. Ularda robot tashlab yuborgan buzilgan batareya xuddi atom bombasidek portlaydi.

### **Ionlar klasterlari**

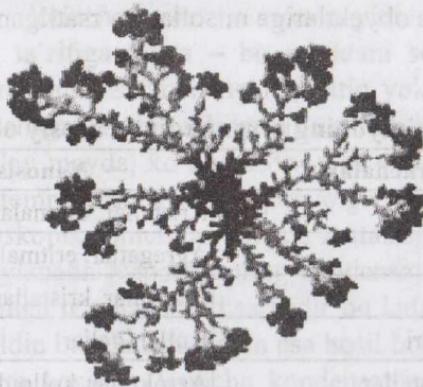
Ion klasteri NaCl kristalidagi ion bog'lanishni tasvirlaydigan klassik rasmlardandir. Agar ion nanozarrasi keragicha katta bo'lsa, uning tuzilishi katta o'lchamli kristall tuzilishiga yaqin bo'ladi. 3.18- rasmda NaCl kimyoviy formulasiga mos ion zarra turiga misol tasvirlangan. Bunday ion bog'lanishli birikmalar yuqori aniqlikda suratga oluvchi fotoplyonkalarda, molekular fotodetektorlarda, mikroelektronika va elektrooptikaning turli sohalarida ishlataladi.



3.18 -rasm. NaCl klasteri.

### Fraktal klasterlari

Fraktal deb ildizsimon tarmoqlangan tuzilishga aytildi. Bularغا qurumlar, kolloidlar, turli xil aerozollar va aerogellar kiradi (3.19-rasm).

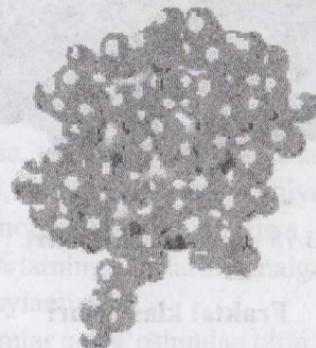


3.19 - rasm. Fraktal klaster.

Fraktal - bu shunday obyektki, uning kattalashib o'sishi jarayonida bitta shakl, tuzilish katta va kichik masshtablarda birday qayta - qayta takrorlanishini ko'rshimiz mumkin.

## Molekulyar klasterlar

Ko'pchilik klasterlar molekular bo'ladi. Ularning sonlari va turlari beqiyos ko'p. Hususan, molekular klasterlarga ko'pgina biologik makromolekulalar misol bo'ladi. 3.20 - rasmida ferredoksin oqsili molekulasi ko'rsatilgan.



3.20- rasm. Molekular klaster.

8- jadvalda turli nanozarrachalar va nanosistemalarning nanokimyo-dan o'rganiladigan obyektlariga misollar ko'rsatilgan.

8- jadval

### Nanokimyoning o'r ganadigan asosiy obyektlari

Nanozarrachalar	Nanosistemalar
Fullerenlar	Kristallar, eritmalar
Nanonaychalar	Agregatlar, eritmalar
Oqsil molekulalari	Eritmalar, kristallar
Polimer molekulalari	Kullar, gellar
Noorganik nanokristallar	Aerokullar, kolloid eritmalar
Mitsellalar	Kolloid eritmalar
Nanobloklar	Qattiq jismlar
Lengmyur- Blodjett pardalari	Sirti pardali jismlar
Gazlardagi klasterlar	Aerozollar
Modda qatlqidagi nanozarralar	Nanotuzilishli pardalar

### 3.4. Nanozarralarning olish usullari

O‘lchami, shakli va tuzilishini aniq boshqara oluvchi nanozarra olishning juda ko‘p usullari ishlab chiqilgan. Biz o‘quvchilarни zeriktirib qo‘ymaslik uchun, har bir usulni batafsil ko‘rib o‘tirmaymiz. Har bir usul o‘zicha noyob va diqqatga sazovor bo‘lsa-da, nanozarralar olishning umumiy qonuniyatlar bilan chegaralanamiz.

Shunday qilib, moddaga ta’sir etish qonuniyatiga, asosan, barcha usullarni ikkita katta guruhga bo‘lishimiz mumkin:

-*dispergatsion usullar*, yoki makronamunani maydalash yo‘li bilan nanozarra olinadigan usullar;

-*kondensatsion usullar*, yoki aloxida atomdan “o‘stirish” yordamida nanozarra olish usullari.

Birinchi guruh bu – «yuqoridan pastga» borish usuli. Boshlang‘ich jismlar nanozarra bo‘lgunga qadar maydalilanadi. Bu nanozarra olishning eng oddiy usuli, makrojism uchun o‘ziga xos “go‘shtmaydalagich”dir. Ikkinci guruh – «pastdan yuqoriga» borish usuli, ya’ni nanozarra alohida atomlarni birlashtirish yo‘li bilan olinadi. Bu qonuniyat hammaga yaxshi tanish bo‘lgan kondensatsiya hodisasiga asoslangan.

Kondensatsiya (lotincha *condensation* – quyqlashish, zichlashish so‘zidan olingan) ta’rifiga ko‘ra – bu moddani sovitish natijasida gazsimon holatdan kondensatsiyalangan (qattiq yoki suyuq) holatiga o‘tishidir. Agar shishaga yaxshi puflasangiz u terlab qoladi. Aslida bunda shishada bir talay mayda, ko‘zga ko‘rinmas suv tomchilari o‘tirib qoladi. Agar havo temperaturasi biz chiqarayotgan bug‘dan past bo‘lsa, keyinchalik mikroskopik tomchilar yanada kattalashadi va ko‘rinadigan tomchilarga aylanadi. Nanozarraning kondensatsion olish usulida ham taxminan shunga o‘xhash hodisa sodir bo‘ladi. Birlamchi makroskopik jismlar oldin bug‘lanadi, keyin esa hosil bo‘lgan bug‘ kerakli o‘lchamli nanozarra hosil bo‘lguncha kondensatsiyalananadi. Natijada kompakt modda ultradispers muddaga aylanadi. Nanozarrani ion eritmadan olinganda ham shunga o‘xhash jarayon sodir bo‘ladi, faqat unda bug‘ emas, suyuqlik ishlataladi.

*Nanozarra olishning barcha usullarida ham tashqi manbadan kuchli energiya ogimi zafur bo‘ladi, chunki bu usullarda nanozarralarni nomuvozanatiy metastabil holatida olinadi.*

Qachonki energiya oqimi to'xtasa, sistema o'zining muvozanat holatiga qaytishga intiladi. Nima uchun bunday bo'ladi?

Masalan, *kondensatsion usulni* ko'rib chiqamiz: monokristallar suyulish temperaturasiga yetguncha va bug'lanib ketguncha qizdiriladi. Keyin hosil bo'lgan bug' keskin sovutiladi. Sovugan sari nanozarralar paydo bo'la boshlaydi va kattalashadi. Ular tartiblanib va birlashib nanoagregatlarga aylanadi. Agar uni o'z holiga qo'ysak, asta sekinlik bilan nanoagregatlar chegarasi yo'qolib, ular mikrokristalga aylanadi. Mikrokristallar bug'da uzoq ushlab turilsa eng kichkina va nuqsonli zarralar tezda bug'lanib ketadi, ancha yiriklari va mukammallari bo'lsa o'sishda davom etadi. Shunday qilib bu jarayon tizimda dastlabki monokristalga tiklanguncha davom etadi.

Bug'dagi nanozarralar soni sezilarli darajada ko'paygan vaqtidan boshlab, to ko'pchilik nanozarralar o'lchami 100 nm ga yetguncha tizim nanoholatda bo'ladi. Keyin sistema muvozanat holatiga kelib nanozarralar tug'ilishi to'xtaydi. Agar ularni sun'iy usulda to'xtatilmasa, zarralar kompakt modda holatiga o'tib ketishi mumkin.

Biokimyoviy, fotokimyoviy va radiatsion-kimyoviy sintezlarda nanozarra kondensatsiyasi bug'dan emas, nanozarra yopishishidan va eritma bilan reaksiyaga kirishib ketishishidan saqlovchi maxsus to'yin-gan eritmadan sodir bo'ladi.

Dispergatsion usulda – keragicha mexanik energiya ta'sirida, monokristallning parchalangan fragmentlari o'lchami kamayib boradi. Mexanik energiya oqimi katta bo'lgan vaqtida ko'pchilik fragmentlar nanometrli o'lchamga ega bo'lganligi uchun sistema nanoholatda qoladi. Qachonki «maydalagich» to'xtasa, nanozarralar sirtqi bog'larining kompensatsiyalanmaganligi natijasida nanofragmentlar o'sishni va kattalashishni boshlaydi. Buning hammasi sistemada dastlabki monokristall tiklanguncha davom etaveradi.

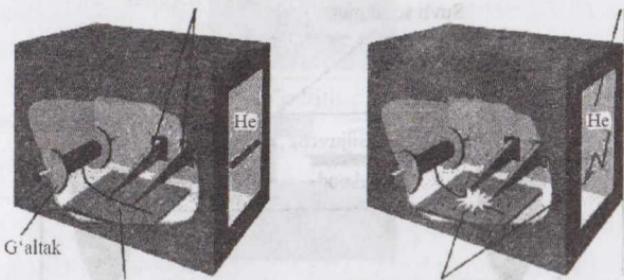
Bunday ko'ngilsizlik oldini olish uchun, sistemaga oqsilning molekular eritmasi, polimer va sirtiy faol moddalardan (SFM) tuzilgan turg'unlashtirgichlar kirgiziladi. O'sishning ma'lum bir nuqtasida stalibizator ishga tushib, uning molekulalari nanozarraga hamma tomonidan yopishib, uning keyingi o'sishiga to'sqinlik qiladi. Turg'unlashtirgich tarkibi va molekulalari zichligini boshqarib, xohlagan diametrdagi nanozarra olish mumkin.

Shunday qilib biz, sanoat usullari bilan olinadigan ko‘plab nanosistemalar noturg‘un ekanligini, ularni saqlashni yetarli shart - sharoitlari yaratilmasa ular o‘zining ixcham holatiga qaytishga intilishini bilib oldik. Unda ba’zi nanozarralar, ma’lum fulleren va nanonaychalarining turg‘unligini qanday tushinish mumkin? Nanonaychalar o‘zlarining nanometrli o‘lchamiga qaramay, ular ajoyib tarzda “yolg‘iz” holda ham mavjud va o‘ziga o‘xshash nanonaychalar bilan birikishga intilmaydi.

Bu ajoyib xossalari uchun fullerenlar, nanonaychalar va boshqa ba’zi nanozarralar “sehrli”, ulardagi atomlar soni esa “sehrli sonlar” deb ataladi. Masalan, ishqoriy metallar uchun sehrli raqamlar - 8, 20, 40, noyob metallar uchun esa – 13, 55, 137 va 255, uglerodli klasterlar uchun 60, 70, 90 va h.k.

*“Sehrli” nanozarralarning barcha atomlari bir-biri bilan mahkam bog‘langan, bu esa ularga kerakli turg‘unlikni beradi.*

Moddalarni nanozarralarga bo‘lish faqatgina mexanik yo‘l bilan maydalabgina emas, boshqa usullarda ham amalga oshirilishi mumkin. Rossiyaning «Yetakchi kukun texnologiyalari» kompaniyasi nanozarralarni metall tolalarini kuchli tok impulsi yordamida portlatish yo‘li bilan olmoqda. Nanozarra olishning yanada ekzotik usuli yaratilmoqda. 2003-yili Amerika olimlari anjir daraxti barglaridan *Rhodococcus* mikroorganizmlarini yig‘ib olib, ularni oltinli eritmaga solishdi. (3.21-rasm)



3.21- rasm. Nanozarralar olishning elektrik portlatish usuli.

Bakteriyalar kimyoiv tiklovchi vazifasini bajarib, oltin ionlarini yig‘ib, o‘lchami taxminan 10 nm bo‘lgan nanozarralar hosil qilishdi. Nanozarralar hosil qilgan bakteriyalar o‘zlarini yaxshi his qilishdi va ko‘payishda davom etdi.

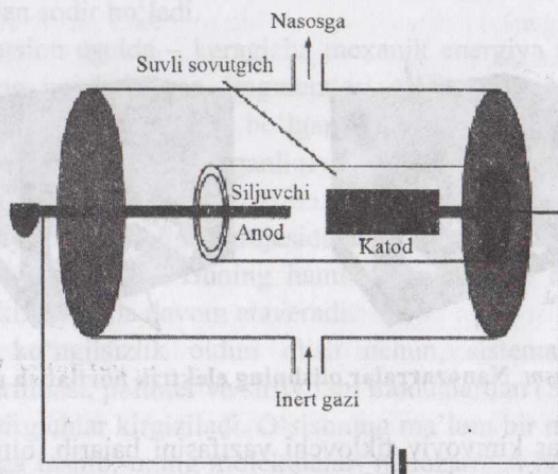
### 3.5 Uglerodli fullerenlar va nanonaychalar olinishi

XX asrning oxiri uglerodning yangi formalari - fullerenlar va nanonaychalar ochilishi bilan shuhrat qozondi. Ushbu kashfiyotning ilmiy va amaliy ahamiyati shunchalik buyukki, hatto bu kashfiyot mualliflari Nobel mukofoti bilan taqdirlandi. Ming yillab uglerodli moddalar - daraxt po'stlog'i, grafit, tabiiy gaz va boshqalar yonganda hosil bo'luvchi oddiy qurumda ham noyob xossali moddalar kashf etilgan edi.

Hozir turli o'lchamli va xossali uglerod nanostructuralari olishning har xil usullari ishlab chiqilgan. Lekin, hamma usullarning ma'nosi bir xil: nanonaycha va fullerenlar uglerodli materiallarni yuqori temperaturalarda kimyoiy aylanishlari hisobiga hosil bo'ladi. Biz bir qancha ommalashgan usullarni ko'rib chiqamiz.

#### Grafitni elektrik yoy bilan changlash

Bu Krechmer tomonidan ishlab chiqilgan, eng tarqalgan usuldir. Shu usulda 1991-yilda yapon olimi Sumio Iijima birinchi marta nanonaycha oldi. Usulning ma'nosi shunday: inert gaz bilan to'ldirilgan kamerada gaz atomlarini ionlashtiruvchi grafit elektrodlari o'rtasida elektrik razryad hosil qilinadi. Katod va kamera devorlari suv yoki suyuq azot bilan sovutiladi (3.22-rasm).



3.22 - rasm. Krechmerning fulleren va nanonaycha olish uchun mo'ljallangan qurilmasi.

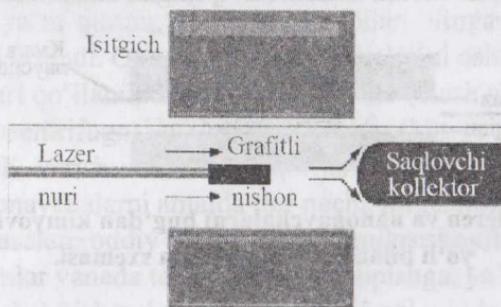
Gaz bosimi atmosfera bosimidan bir necha marta past, elektrodlardagi kuchlanish 25–35V va elektrik razryaddagi tok kuchi 100A bo‘lganda elektrodlar orasida hosil bo‘luvchi plazma temperaturasi 4000K ga yetadi. Bunday temperaturada grafit anodning sirti jadal bug‘lanadi. Bug‘langan uglerod atomlari plazmaning issiq qismidan sovuqroq qismiga borgach, temperaturaning birdan tushib ketishi natijasida kamera devori va katod sirtida sovib, o‘tirib qoladi.

Bu cho‘kmani elektron mikroskopda qaralganda qurum va grafitdan tashqari yangi tuzilmalar – fullerenlar va nanonaychalarini ko‘rish mumkin. Bunda cho‘kmaning bir qismi – grafit, qurum, va fullerenlar kameraning sovuq devoriga, grafit va nanonaychalar esa katodga o‘tirib qoladi(3.23-rasm).

### **Grafitni lazerli bug‘latish usuli**

Bu usulda lazer yordamida bug‘langan grafit sovutilgan kollektorga o‘tirib qoladi. Grafit nishon 1000°C gacha qizdirilgan uzun kvars naychali pechga joylashtiradi.

Naychaning uzunasi bo‘ylab kichik tezlikda yumshatgich gazi (geliy yoki argon) o‘tkazilib turiladi. Nishon 140 mJ energiyали, impuls davomiyligi 8ns, fokuslangandagi diametri 1,6 mkm bo‘lgan lazer nuri dastasi bilan nurlantiriladi (3.23-rasm).



**3.23 - rasm. Lazerli bug‘latish usuli bilan fullerenlar va nanonaychalar oluvchi qurilma sxemasi.**

Grafitning termik changlanishi natijasida hosil bo‘lgan mahsulotlar issiq joydan olib ketiladi va sovutilgan kollektorning yuzasiga o‘tirib qoladi. Olingan cho‘kmada grafit nanozarralaridan tashqari fullerenlar va nanonaychalarini topish mumkin.

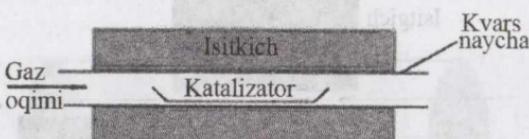
Lazerli usulning asosiy afzalligi shundaki, olinayotgan nanonaycha xarakteristikalari lazer nurlanishi parametrlariga juda sezgir bo‘ladi. Xususan, nanonaycha diametri lazer nuri quvvatiga bog‘liq. Bu esa oldindan belgilangan, kerakli tuzilishga ega bo‘lgan nanonaychalar olish imkonini beradi. Usulning kamchiligi uning nisbatan past unumdorligi va keng ko‘lamlarda qo‘llash qiyinligidir.

Bugungi kunda kam miqdorda, ilmiy izlanishlar uchun kerakli nanonaychalar olish oddiy ish bo‘lib qoldi. Muammo endi mahsulot tan narxini kamaytirib, sanoat ko‘lamida olishdan iboratdir. Yuqorida ko‘rib o‘tilgan usullar bunga imkon bermaydi. Shuning uchun M.M. Tomishko rahbarligida Rossiya olimlari tomonidan ishlab chiqilgan uchinchi usul diqqatga sazovordir.

### **Bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish(o‘tqazish) usuli**

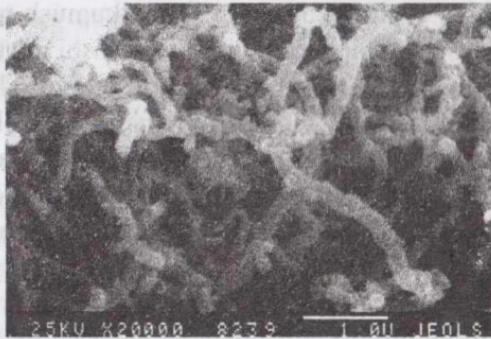
Uglerodli nanonaychalar olishning bu qulay va ommabop turi uglerodli gazni issiq metall katalizator yuzasiga termokimyoviy cho‘ktirishga (o‘tqazishga) asoslangan. Bu usul *uglevodorodlarni katalitik parchalash usuli* degan nomni ham oldi(3.24-rasm).

Uglerodli gaz aralashmasi (odatda atsetilen  $C_2H_2$  yoki metanning  $CH_4$  azot bilan aralashmasi) 700–1000°C temperaturadagi pechkaga kiritilgan kvars naycha orqali o‘tkaziladi. Kvars naycha ichida sopoldan qilingan idishchada metall kukunidan qilingan katalizator joylashgan.



**3.24- rasm. Fullerenva nanonaychalarini bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish yo‘li bilan oluvchi qurilma sxemasi.**

Gaz atomlarining metall atomlari bilan kimyoviy reaksiyaga kirishi natijasida uglevodorodning parchalanishi katalizator sirtida ichki diametri 10nm gacha va uzunligi bir necha o‘n mikron bo‘lgan fulleren va nanonaychalarning hosil bo‘lishiga olib keladi. Nanonaychaning geometrik o‘chamlari katta darajada jarayon borishi shartlariga (vaqt, temperaturasi, bosimi va bufer gazining turi va h.k), hamda katalizatorning dispersiyalanish darajasi va naviga bog‘liq (3.25-rasm).



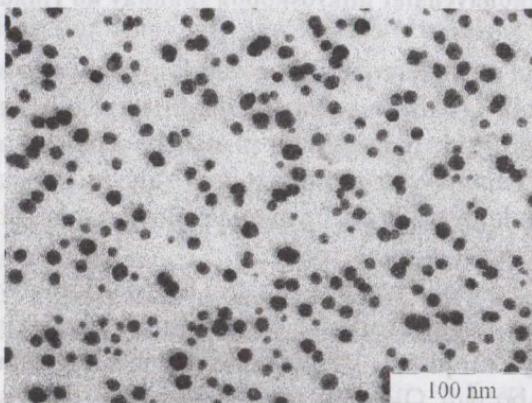
**3.25- rasm. Bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish orqali olingan nanonaychalar mikroskopda shunday ko‘rinadi.**

Nanonaycha va fullerenlarni bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish (o‘tqa-zish) usulida olish, oxirgi vaqtida shiddat bilan rivojlanmoqda, chunki bu usul namuna sirtida juda ko‘p bir xil nanonaychalarni olish imkonini beradi. Bu esa nanonaycha va fullerenlarni katta miqyosda olish yo‘llarini ochadi va ular asosida turli nanomahsulotlar ishlab chiqaruvchi yirik sanoat yaratishni ta’minlaydi.

Fulleren va uglerodli nanonaychalarni bug‘dan kimyoviy cho‘ktirish orqali olishning barcha usullarida bayon qilinishicha, oxirgi materialda amorf grafit, ya’ni qurum, katalizatorlar bilan olinganda esa metallar zarralari hosil bo‘ladi. Olingan mahsulot tozaligini oshirish uchun, turli tozalov usullari qo‘llaniladi – mexanik usullar (elash, ultratovush bilan ishlov berish, sentrifuga) va kimyoviy usullar (kimyoviy faol moddada yuvib tozalash, isitish va boshqa) qo‘llaniladi. Bugungi kunda fullerenlar va nanonaychalarni amalda (bir necha litrgacha) barcha uglerodli gazlardan (masalan, oddiy tabiiy gazdan) mikroskopik miqdorda olish mumkin. Olimlar yanada tejamkor usulni topishga, ya’ni ularni omma-viy bo‘lmasa-da kirishmalar miqdorini minimal miqdorga kamaytirishga urunmoqdalar.

Aytish kerakki, nanostrukturalarni bu olish usuli ularning sifatini ta’minalashda juda muhim rol o‘ynaydi. U faqatgina nanostruktura xossalariqagina emas, balki uning yashash vaqtiga ham, ya’ni o‘z xossalariini saqlab tura olish davriga ham ta’sir ko‘rsatadi. Bu muddat tugagach nanozarra yoki oksidlanib qoladi, yoki mikrozarraga aylanib, ixcham modda xossalariiga ega bo‘lib qoladi.

Masalan, olinish usuliga bog'liq ravishda kumush nanozarrasining yashash vaqtin soatdan bir necha oygacha bo'lishi mumkin. Ye.M.Yegorova boshchiligidagi «Nanoindustriya» konserni olimlari kumushdan nanozarralar olishning noyob biokimyoiy usulini rivojlantirmoqdalar. Bu usulda olingan nanozarralar o'z faolligini bir yil davomida saqlab qoladi. Nanozarralarni teskari mitsella deb ataluvchi molekula va ionlardan iborat mikroskopik kameralarda metallar ionlarini neytral atomga tiklash bilan olinadi. Bunday kameradagi atomlarga nanozarraga birikishdan o'zga chora qolmaydi, mitsella qobig'i esa hosil bo'lgan zarralarni bir - biriga birikib qolishidan va keraksiz reaksiyalardan asraydi. (3.26-rasm)



3.26 - rasm. Teskari mitsellalarda biokimyoiy sintezlangan kumush nanozarralarning fototasviri.

### 3.6. Ba'zi nanozarralar noyob xossalari misollar.

#### Kumush

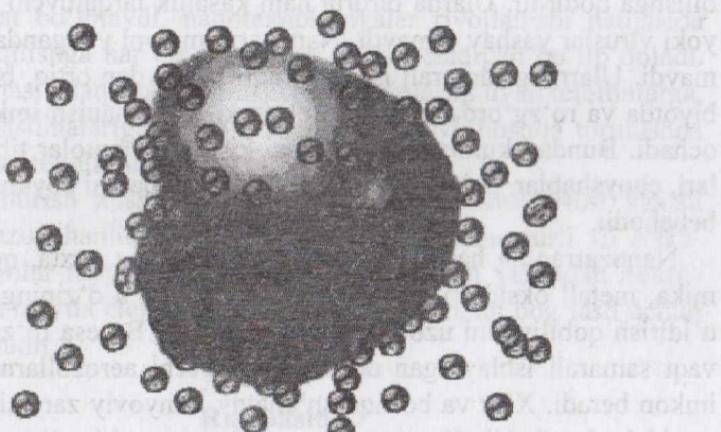
Kumush nanozarralarining xossalari haqiqatda noyob ekanligini bilamiz. Birinchidan, ular bakteriyalarni yo'qotuvchi va antiviruslikdan iborat ajoyib faollikka ega. Kumush ionlarining antimikrob xossa-si insoniyatga qadimdan ma'lum. Balki ko'p o'quvchilar cherkovning davolovchi «muqaddas suvi» xossalarni eshitishgan bo'lsalar kerak, bu oddiy suvni kumush filtrdan o'tkazish yo'li bilan olinadi. Bunday suvda oddiy suvda mavjud bo'lgan kasallik tarqatuvchi bakteriyalar

bo'lmaydi. Shuning uchun bu suv "gullamasdan" va buzilmasdan yil bo'yi turaveradi.

Undan tashqari bunday suv zararli bakteriyalar va mikroorganizmlarni yo'q qiluvchi ma'lum bir miqdorda kumush ionlari zichligiga ega bo'lib, ular inson salomatligi uchun katta yordam beradi.

Kumush nanozarralari bakteriya va viruslar bilan kumush ionlariga nisbatan minglab marta samaraliroq kurashadi. Tajribalar ko'rsatishi-chi, nanozarralarning arzimas zichligi ham, o'zi kamaymagan holda, barcha ma'lum mikroorganizmlarni (shu jumladan SPID, virusini ham) yo'q qilgan.

Bundan tashqari, zararli viruslarga qo'shib hujayralarni ham o'ldiruvchi antibiotiklardan farqli ravishda, nanozarralar faqat zararli viruslarga qilgan etadi, hujayra esa zararlanmaydi(3.27-rasm)



3.27 - rasm. Viruslarning hujayraga hujum qilish tezligi o'q tezligidan yuqori.

Gap shundaki, mikroorganizm qobig'i maxsus oqsillardan tuzilgan bo'lib, agar unga nanozarra ta'sir etsa, bakteriyalarni kislород билан та'minlashni то'xtатади. Omadsiz mikroorganizmlar о'зининг "yo-qilg'isi" - glyukozani oksidlay olmaydi va energiya manbayisiz qolib, nobud bo'ladi. Hech qanday qobig'i yo'q viruslar ham nanozarralar bilan то'qnashganda о'з "ulushini" oladi. Odam va hayvonlarning

hujayralari ancha «yuqori texnologik» devorga ega bo'lib, ularga nanozarralar qo'rjinchl emas.

Hozirgi vaqtida kumush nanozarrasini dori - darmonlarda qo'llanish maqsadida izlanishlar olib borilmoqda. Hozir ham ular keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

Masalan, «Gelios» firmasi kumush nanozarrasidan «Znarx» nomli tish pastasini chiqaradi, u tishni turli infeksiyalarlan samarali himoya qiladi. Nanozarraning ozgina zichligi bir qancha «sara» kosmetik krem-lariga qo'shilmoqda, bu ularni ishlatish vaqtida aynib qolishining oldini oladi. Kumush nanozarrasi ko'rinishidagi qo'shimchalar antiallergiant qo'shimchalar sifatida kremlarda, shampunlarda, pardoz uchun kosmetik moddalarda qo'llaniladi. Ishlatish davomida ularning shamollashga qarshi va yaratilishi tez bitkazuvchi xossalari ham kuzatiladi.

Kumush nanozarrasi kiritilgan matolar o'z - o'zini dezinfeksiya qilishga qodirdir. Ularda birorta ham kasallik tarqatuvchi bakteriyalar yoki viruslar yashay olmaydi. Nanozarra matoni yuvganda chiqib ketmaydi. Ularning samarali ishlash vaqtı olti oydan ortiq, bu ularni tibbiyotda va ro'zg'orda amalda cheksiz ko'p qo'llanish imkoniyatlarini ochadi. Bunday kumush nanozarrasi kiritilgan matolar tibbiyot xalatlari, choyshablar, bolalar kiyimlari, toshmaga qarshi poyabzallar uchun bebahodir.

Nanozarraning har xil qattiq sirtlarga (shisha, taxta, qog'oz, keramika, metall oksidlari va boshq.) surkalganda u o'zining bakteriyani o'ldirish qobiliyatini uzoq vaqt saqlab turadi. Bu esa ro'zg'orda uzoq vaqt samarali ishlaydigan dezinfeksiyalovchi aerozollarni yaratishga imkon beradi. Xlor va boshqa an'anaviy kimyoviy zararsizlantiruvchi moddalardan farqli o'laroq, nanozarrachalar asosida olingan aerozollar insonlar va hayvonlar sog'lig'iga zarar yetkazmaydi.

Odamlar doim havo - tomchi yo'li bilan tarqaladigan infeksiyalar - gripp, tuberkulyoz, meningitlar, virusli gepatit va boshqalar bilan kurashtish yo'llarini izlashgan. Afsuski, bizning xonalaramizdagi, idora va odamlarning gavjum joylaridagi (kasalxonha, jamoat joylari, maktablar, bog'chalar, kazarmalar va boshq.) havo kasal odamlar chiqarayotgan patogen mikroorganizmlar bilan liq to'la.

Kasallikning oldini olishning an'anaviy usullari amalda har doim ham samarali yordam bermayapti, shuning uchun kimyogarlar bu muammoni yechishning chiroyli usulini ya'ni, ushbu korxonalar de-

vorlarini kumush nanozarralar qo'shilgan bo'yoqlar bilan qoplashni taklif qilishdi. Ma'lum bo'lishicha, bunday bo'yoqlar bilan bo'yalgan devorlar va shiplarda ko'pchilik patogen mikroorganizmlar yashay olmas ekan.

Suv tozalovchi ko'mirli filtrga nanozarralar kiritilganda, unga oddiy kumush ionlari kiritilgandan farqli ravishda, hech qachon yuvilib ketmaydi. Bunday filtrlarni ishlatalish vaqtı oddiy filtrlarnikidan o'lchab bo'lmas darajada ko'p va suvni tozalash sifati o'n martalab yuqori bo'ladi.

Qisqacha aytganda mayda, ko'rimsiz, ekologik toza kumush nanozarralarini hamma joyda qo'llasa bo'ladi, ulardan tozalik va gigiyena bilan ta'minlashda: pardoz anjomlardan tortib jarrohlik asboblarini zararsizlantirishgacha foydalaniladi. Yetakchi rus olimlari fikrlaricha, nanozarrali anjomlar va materiallar narxi an'anaviylarinikidan uncha qimmat bo'lmaydi, nanotexnologiyalar rivojlanishi natijasida ularni xarid qilishga har bir insonning qurbi yetadigan bo'lib qoladi. Samsung firmasi allaqachon kumush nanozarralarini uyali telefonlarga, kir yuvish mashinalariga, havo tozalagichlarga va boshqa turmushda qo'llaniladigan texnik jihozlarga qo'llamoqda.

Zararsizlantirish xossasidan tashqari kumush nanozarrasi yaxshi elektrik o'tkazuvchanlikka ega, shuning uchun undan turli xil o'tkazuvchan yelimplar tayyorlasa bo'ladi. O'tkazuvchan yelindan mikroelektronikada mayda elektrik qismlarni bir - biri bilan bog'lash uchun ishlatalish mumkin.

## Rux oksidi

ZnO nanozarrasi ham qator (jumladan, bakteritsidli) noyob xossalarga ega, ulardan eng muhimi elektromagnitik to'lqinlarning juda keng spektrini, ultrabinafsha, infraqizil, mikroto'lqinli va radiochastotali nurlarni yutish qobiliyatidir.

Bunday zarralar oyna, plastmassa, sintetik tola va boshqalarga ultra binafsha nurlardan himoyalovchi yangi xossalalar berishi mumkin. Bu ultrabinafsha nurdan saqllovchi quyoshli ko'zoynak, quyoshli kunlarda kiyish uchun maxsus kiyim yaratish imkonini beradi. Ularni faqat quyoshtan himoyalanish uchun emas, balki issiq kunda qizib ketishdan saqlanish uchun ham ishlatsa bo'ladi. Nanozarralarni quyosh nuridan

saqllovchi krem, surtmalar va boshqa dori - darmonlar tayyorlashda ishlatsa bo'ladi, chunki ular yumshoq, havfsiz va terini qichishtirmaydi.

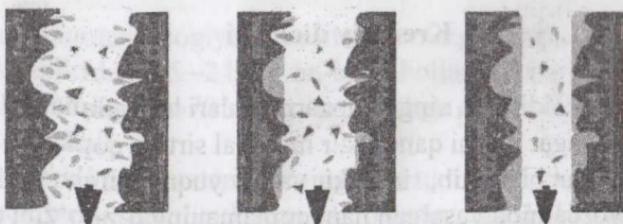
Bundan tashqari, bu nanozarralarning elektromagnitik to'lqinlarini sochishidan infraqizil diapazonida ko'rinnmaydigan kiyim matosida ham qo'llash mumkin, bunday kiyimda odam tanasidan chiqayotgan infraqizil diapazonidagi elektromagnitik to'lqinlar rux oksidi nanozarralarda yutilishi hisobiga odamning tanasi ko'rinnmay qoladi. Bu radio to'lqinlardan ultrabinafsha to'lqinlargacha bo'lgan, keng diapazonda ko'rinnmaydigan «Stels» turidagi maxsus kiyimlar va qoplamlar tayyorlash imkonini beradi. Bunday kiyimlar harbiy va terroristlarga qarshi operatsiyalar uchun juda kerakli bo'lib, ular dashmanlarning tungi ko'rish asboblari sezib qolishidan qo'rqlay, dashmanga juda yaqin kelish imkonini beradi.

ZnO nanozarra asosidagi materiallarni infraqizil datchiklarda qo'llasa ham bo'ladi.

### Serpentin

Serpentin nanonaychasi nanozarrachalarning noyob xossalarni sa-noatda qo'llanilishiga ajoyib misol bo'la oladi. «Nanoindustriya» konserni mineral nanonaychalar (uglerod bilan adashtirilmasin) asosida maxsus ta'mirlovchi-tiklovchi tarkibli (TTT) modda ishlab chiqarishdi. Bunday nanotexnologik TTT amalda har qanday ishqalanish natijasida yeyilib ketgan metall sirtlarni qayta tiklashi mumkin (avtomobil harakatlantirgichining, turli stanok va mexanizmlarning ishqalanuvchi qismlari), avtomobil karteriga TTT moddasini qo'yganingizdan so'ng, harakatlantirgich ishdan chiqishini anchagacha unutsa bo'ladi.

Odatda, harakatlantirgichning mexanik qismlari ishqalanish oqibatida asta - sekin buzilishini kuzatamiz, chunki ular qo'pol balk - texnologiyasi bo'yicha ishlab chiqarilgandir. Agar TTT dan bir shishachseni moyga qo'shilsa, quyidagi hodisa sodir bo'ladi: harakatlantirgich ishlashi davomida mexanik qismlar ishqalanishdan isiydi, bu qizish katalizator vazifasini o'tab, nanonaychalarning asbob qismini buzilgan sohasiga biriktirib qo'yadi, natijada asbobning intensiv ishqalanuvchi qismining sirtida ideal himoya qatlami hosil bo'ladi. Qattiq qiziganda ular o'zlarining birikuvchanlik xossalarni yo'qtadi. Shunday qilib, ishqalanuvchi qismda doimiy issiqlik muvozanati saqlab turiladi, ishqalanuvchi sirtlar mutlaq silliq bo'lgani uchun asbob qismlari deyarli eskirmaydi (3.28-rasm).



Sirni TTT bilan  
tozalash      TTT alohida kristallarni  
paydo bo'lishi      Turg'un yangilangan  
qatlamning paydo  
bo'lishi

### 3.28 - rasm "Nanotexnologiya" konserni ishlab chiqqan TTT moddaning ta'sir qilish sxemasi.

Izlanishlar natijasi shuni ko'rsatadiki, moy almashtirilgandan keyin ham qatlam kutilmagan darajada uzoq vaqt butunligicha qoladi. Bunday oddiy ko'ringan texnologiya sizning mashinangiz umrini uzaytirish bilan bir qatorda yana bir talay quyidagi foydali jihatlarga ega:

- harakatlantirgichni ochmasdan eskirgan detalni tiklash;
- harakatlantirgichni qurumdan va saqichsimon cho'kmalardan tozalash;
- harakatlantirgich quvvatini 15–17% oshirish;
- harakatlantirgich qismini ta'mirlash narxini 2–3 marta kamaytirish;
- Vibratsiya va shovqinni pasaytirish;
- Chiqindi gazning zaxrini 70–80% kamaytirish.

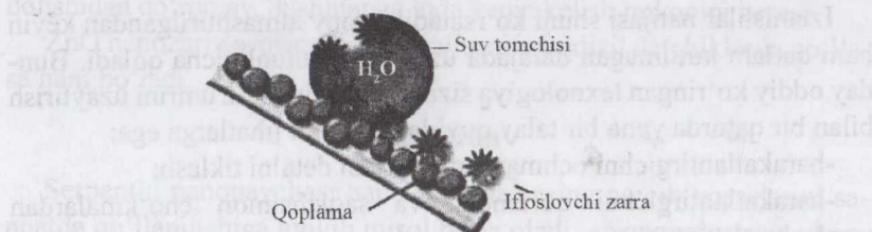
Dunyo bo'yicha chiqindi gazlar ko'payib ketganligi va ekologik holat yomonlashib borishi, oxirgi jihatga asosiy e'tibor qaratilishini taqozo etadi.

Bu muammoga katta e'tibor qaratib kelayotgan g'arbiy Yevropa davlatlari rahbarlari yangilik ahamiyatini juda tez payqdilar. Xususan , Italiyaning «yashillar partiyasi» kerakli izlanishlar olib borib, shunday xulosaga kelishdi: agar barcha Italiyadagi avtomobil egalari mashinasiga Rossiyada ishlab chiqilgan TTT quysa, chiqindi gazlar shunchalik kamayib ketadiki, sanoat chiqindilarini kamaytirmsandan ham Italiya davlati Kiot shartnomasini qabul qilishi mumkin ekan. Hozirgi vaqtida Italiyada shu qonun loyihasini o'tkazishga harakat qilinmoqda.

Bir qancha sanoat korxonasini yo'q qilish davlat iqtisodiyotiga milliardlab zarar yetkazar edi, bitta mashinaga nanotexnologiya yordamida ishlov berish esa 30\$ dan ozroqni tashkil qiladi.(har bir haydovchining shaxsiy foydasidan tashqari).

## Kremniy dioksidi

Kremniy dioksidi  $\text{SiO}_2$  ning nanozarrachalari hayratlanarli darajadagi xossaga ega: agar ularni qandaydir material sirtiga qoplansa, ular sirt molekulalari bilan birlashib, sirtga kir va suv yuqmaydigan bo'lib qoladi. Bu zarra yordamida yasalgan nanoqoplamaning o'z- o'zini tozalash xossasi oyna, plitka, yog'och, tosh va boshqalarni turli ta'sirlardan himoya qiladi. Ifloslik zarralari himoya qatlaming ichiga kirolmaydi va yopisha olmaydi, suv esa osonlikcha undan oqib barcha kirlarni yuvib ketadi (3.29rasm).



3.29- rasm. O'z- o'zini tozalovchi nanoqoplamalarning  
ishlash prinsipi.

Nanotexnologlar qanday qilib, faqatgina yog'och va toshlarnigina himoyalashni emas, balki siz va bizlarning kiyimlarimizni saqlashni ham o'ylab topishdi. Mato iplariga chuqur kirib boruvchi,  $\text{SiO}_2$  nanozarrasini bir litr suvdagi aralashmasi 5–30 kv.m. yuzali matoga ishlov berish uchun yetarlidir. Matoga qoplama tortilgandan so'ng havoni yaxshi o'tkazadi, lekin namlikni o'tkazmaydi. Shundan keyin qiyin yuviladigan kofein, moy, loy dog'lari to'g'risida o'ylashni unutsak ham bo'ladi. Bu qoplama ishqalashga chidamli, egiluvchan, quyosh nuridan, issiq va yuvishdan buzilib qolmaydi.

## 3.7 “Aqli” materiallar

Nanokimyoning birinchi asosiy amaliy tatbiqi, turli nanomateriallar ishlab chiqarishdir. Nanozarralarning noyob xossalari tufayli, ular asosida yaratilgan juda ko'p materiallar “oddiy” lariga nisbatan ko'p parametrlari bo'yicha ustunlikka ega.

Masalan, nanotexnologiyalar vositasida olingen metallning chidamliligi, oddiysinikidan 1,5 – 2 baravar, ba’zi hollarda 3 baravargacha katta bo’ladi. Qattiqligi 50–70 marta, zanglashga chidamliligi esa 10 – 12 marta katta bo’ladi.

Noyob xossali nanomateriallarning turli tumanligi inson tasavvurini ajablantiradi: bular samolyotlardan tortib kesuvchi asboblargacha ishlatalidigan o’ta yengil, o’ta pishiq nanoqoplamlar, o’z- o’zini tozalovchi matolar, odamni radionurlarning yomon ta’siridan saqlovchi materiallardir (allaqachon, yetakchi uyali telefonlar ishlab chiqaruvchilar bundan yangi avlod telefonlarining tashqi qoplamasini ishlab chiqarishni rejalashtirmoqda).

*“Aqli” materiallar atrof-muhit o’zgarishiga faol javob qaytaradi va o’z xossalari holatga qarab o’zgartiradi.*

Nanokimyo, biz ko’nikib qolgan oddiy sanoat materiallari xossalari yaxshilash bilan birga «Aqli materiallar»ning yanada keng tarqalishiga olib kelmoqda. Tabiat yaratgan «Aqli material»ga eng oddiy misol bu - bizning terimizdir. O’ylab ko’ring: bizning tanamiz, miyamiz bilan bog’langan milliardlab sezgir “nanodatchiklar” bilan qoplangan! Hatto ko’zlarimiz yumilgan holda dumaloqni to’rtburchakdan, ho’lni - quruqdan, issiqni - sovuqdan oson ajratib olamiz. Bizning terimiz “xatar”ni sezadi, issiq narsaga tekkanda kuyib qolmaslik uchun, bizni refleksion tarzda qo’limizni olib qochishga majbur qiladi, tanamizni sovuqdan saqlash uchun issiqroq kiyintiradi, terimiz jarohatlanganda o’z- o’zidan bitadi va inson tanasi o’sishi bilan unga mos holda kattalashadi. Bundan tashqari, bizning terimiz insonni yuqori temperaturadan himoyalovchi noyob terlash xossasiga egadir. Har bir maktab o’quvchisi odamning optimal temperaturasi sog’lom odamda  $36,6^{\circ}\text{C}$  bo’lishini biladi. Tana temperaturasi atigi 2–3 darajaga o’zgarganda biz o’zimizni holsiz sezamiz, bizning ishchanligimiz tushib ketadi, diqqatimiz va xotiramiz yomonlashadi, kayfiyatimiz buziladi. Tanadagi temperatura  $30^{\circ}\text{C}$  dan kam bo’lsa, bu odam sog’ligi uchun havflidir.  $27^{\circ}\text{C}$  da odam xushsizlikka tushadi, yurak urushi va nafas olish muammolari yuzaga keladi.  $25^{\circ}\text{C}$  temperatura kritik nuqta bo’lib undan pasayganda – odam o’ladi. Tana temperaturasi ko’tarilishi ham juda havfli. Yuqori kritik temperatura  $42^{\circ}\text{C}$  ni tashkil qiladi, bunda miya hujayralarida modda almashinuvi buzilib, odam xushini yo’qotadi. Agar bunday temperatura uzoq tushmasa, boş miya shikastlanadi va hatto halok bo’lishga olib keladi.

Shunga qaramasdan, terimizga «o'rnatilgan» teri bezlari tufayli, namiz bu 42°C kritik temperaturadan ancha yuqori temperaturalarni ham ko'tara oladi. Ingliz fiziklari Blagden va Chentrililar (tajriba uchun bir necha soat non pishirish pechida o'tirishib) *quruq havoda, asta-sekin isitilganda* odam organizmi 160°C gacha issiqlikka chidashini isbot qildilar! (Bu suv qaynashidan 1,5 baravar yuqoridir!)

Bu degani tuxum yoki bifshteksni bemalol pishirsa bo'ladigan havoda odamlar keragicha uzoq vaqt havfsiz qolsa bo'ladi deganini bildiradi. Bunday chidamlilik nima bilan tushuntiriladi? Shu bilanki, bizning terimiz atrof-muhitning temperuturasi ko'tarilishiga shartli ravishda ko'p terlash bilan javob qaytaradi. Teri sirtidan ter tomchilari teriga tegib turgan havo qatlamidan issiqlik yutadi, natijada teri odatiy temperaturagacha soviydi. Tabiat bizni bu haqiqatda sehrli himoya vositasi bilan ta'minlab o'zi yaratgan mavjudotlarga g'amxo'rlik qilgan. Inson tafakkuri ham bir joyda turgani yo'q! Metallurglar ancha oldin sanoat obyektlarini yuqori temperaturalardan saqlash uchun "terlovchi" metallar ixtiro qilishgan. Bu o'ziga xos "aqlli" material mis mikrozarralari kiritilgan g'ovak po'latdan iboratdir. Misning erish temperaturasini po'latnikidan kichik bo'lgani tufayli tashqi temperatura ko'tarilib ma'lum bir kritik chegaradan o'tgandan so'ng metal faoll "terlash"ni boshlaydi: mis kengayib po'lat g'ovaklari orasidan chiqqa boshlaydi, bunda o'zi bilan ortiqcha issiqlikni olib chiqib ketadi. Sovutganda esa mis tomchilari yana po'lat kapillar g'ovaklari ichiga "so'rildi" va material dastlabki holatiga qaytadi.

Nanomateriallar xossalari turli tumandir. Hozirgi paytda G.V. Popova boshchiligidagi rus olimlari **biomimetik** materiallar, ya'ni biologik to'qimalarga o'xshaydigan materiallar yaratish ustida ish olib bormoqdalar. Bunday materallarga eng ko'p tarqalgan misol sifatida, o'zining mustahkamligi va elastikligi bilan barcha inson yaratgan materiallardan sifatli bo'lgan o'rgimchak to'rini keltirish mumkin. Bu biomimetiklarning asosini sun'iy oqsillar tashkil qiladi. O'zining tabiiy qardoshlariga o'xshab bu oqsillar ham aminokislotalardan iborat bo'lib, ularni ribosomalar emas, balki inson sintez qilgan. Agar oddiy oqsillar 20 ta noyob aminokislotalar ketma-ketligidan tuzilgan bo'lsa, biomimetiklar uchun oqsillar bitta aminokislotaning qayta - qayta ulanishidan tashkil topgan. Shunday qilib, yagona elementdan tashkil topgan oqsillar analoglari – poliaminokislotalar olinadi. Shundan keyin bu oqsil bloklarini xohla-

gan ko'rinishda bir-biri bilan bog'lash, yoki ularga bo'yoqlar, fotofaol, elektrofaol molekulalarni birlitirish mumkin. Bunda har safar yangi ajoyib xossalari materiallar hosil bo'ladi.

Eslab ko'raylik, tabiat turli xil imkoniyatli juda ko'p oqsillarni yaratgan. Ularning ko'pchiligi tashqi muhitning o'zgarishiga faol javob qaytaradi va moslashadi. Sun'iy biomimetiklar o'zlarining xossalari bilan tabiiy oqsillarga o'xshab uncha katta bo'limgan tashqi ta'sirlarga: nurlanish, issiqlik, elektrotok, zararli moddalarga javoban "aqlilagini" namoyon etadi. Ular asosida ekologik monitoring o'tkazuvchi nanotexnologiya va nanoqurilmalarga optik sezgir materiallar yaratilgan.

Masalan, temperaturani yarim darajaga oshirsak, sezgir material darhol o'z rangini o'zgartiradi, keyin yana daslabki holatiga qaytadi. Ozgina elektr toki o'tkazilsa, tizim rangini o'zgartiradi. Uning yonida nashatir spirti yoki hatto komet – gel bankasini ochsangiz, tizim nur chiqara boshlaydi, yopsangiz nurlanish yo'qoladi, go'yo hech narsa bo'limgandek. Ular aqli materialdan nima bilan farq qiladi? Eng qiziqlarisi, bunda material bilan hech narsa sodir bo'lmaydi - barcha qayta qurilishlar inson ko'zi payqamaydigan ichki o'zgarishlar hisobiga sodir bo'ladi. Bu materiallar ichida *biodegradatsiyalanadigan*, ya'ni, ma'lum vaqtidan so'ng tabiiy tarkiblovchilarga tezda ajrab ketuvchi materiallar katta qiziqish uyg'otadi. Ular yordamida qilingan o'rovchi biomateriallar metall va plastikli o'rovchi materiallarga nisbatan atrof-muhitni ifoslantirmaydi.

Bu yo'nali shada Britaniyalik olimlar tomonidan eski uyali telefonlarni yo'q qilish bo'yicha ajoyib loyiha amalga oshirilgan. Ma'lumki, hozirgi vaqtda mobil telefonlar eng ko'p tashlab yuboriladigan elektron qurilmalar qatoriga kiradi. Yevropada foydalanuvchilar har yili 100 mln. dan ortiq eski telefonlarni tashlab yuborishardi. Innovatsiyaning ma'nosи telefonlar korpusi tayyorlangan material tanlashdan iborat. Olimlar uni bir necha hafta ichida yerda chirib ketadigan yangi polimer material bilan almashtirishni taklif qildilar. Undan tashqari, shaffof derazali ishlatib bo'lingan korpus ichida, masalan, kunga boqar urug'ini saqlash mumkin. Telefon yerga tushgach urug'idan kunga boqar o'sib chiqsa boshlaydi va telefondan gulcha chiqadi. Yangi polimer material zaharli emas va axlat to'kiladigan joyda to'la parchalanadi. Mutaxassislar fikricha, shunday qilib eski telefonlarni ekologik zararsizlantirish muammosini hal qilish mumkin.

“Aqlli materiallardan” yasalgan buyumlarga “aqli kiyimni” ham kiritish mumkin. Ko’plab bunday loyihalardan temperatura o’zgarishi-ga sezgir kiyimlarni ko’rsatish mumkin: bunday kiyim issiq paytlarda havoni o’tkazib tanani sovutadi, sovuq paytlarda – zichlashib, issiqni saqlaydi. Yaqin davrda tamaki hidini singdirmaydigan, o’z-o’zini tozalovchi, o’zini sovuta oladigan sport kiyimlari, ega o’lchamlariga mustaqil ravishda moslasha oladigan kostyum va kurtkalar, har xil ha-sharotlarni haydaydigan, hushbo’y hid taratadigan paypoqlar, g’ijim-lanmaydigan ko’ylaklar yaratiladi. Zamonaviy hayotiy filmlarda bunday “aqli” moddalar misollarini ko’plab ko’rish mumkin. Bunga eng yorqin misol “Terminator” filmidagi turli shakllarga kiruvchi suyuq odam. Nanotexnologiyalarning rivojlanishi natijasida bunday g’aro-yib xossali materiallarni yaratish haqiqat bo’lib qoladi. Bugungi kunda esa elektromagnitik maydon ta’sirida ma’lum bir shaklga kiruvchi *ferromagnitik suyuqliklar* mavjud. 3.30- rasmda ferromagnitik suyuqlikning tashqi maydon ta’sirida o’zgarishining video tasviridan bir nechta lavhalar keltirilgan.



*3.30 - rasm. Magnitik maydonda o’zgarayotgan ferromagnitik suyuqlikning video tasviridan lavhalar.*

Ferromagnitik suyuqlik *dispersion muhit, magnitik faza* va *stabilizator*dan iborat uch tarkiblovchi tizimdir. Dispersion muhit sifatida ixtiyoriy suyuq muhit – suv, moy, turli xil eritmalar olinishi mumkin. Odatda, magnitik tashkil etuvchi sifatida kuchli ferromagnitik xossaliga ega bo’lgan nanozarrachalardan foydalilanildi. Suyuqlikka magnitik zarrachalarning sirtlari bilan mustahkam bog’langan va ularning birikishiga to’sqinlik qiladigan stabilizator kiritilishi suyuqlik turg’unligini ta’minlaydi. Ferromagnitik suyuqliklar magnitik materiallarning yangi katta sinfi bo’lib, ularning texnika va sanoatda keng ko’lamda qo’llanilishi kutilmoqda

Bunday tizim tashqi muhit o’zgarishiga faol javob qaytaribgina qolmasdan, ularni boshqarish ham mumkin. Bu materiallar o’zgarishini oldindan dasturlash mumkin.

*Keyingi avlod “aqlli materiallari” turli xil sezgichlar, kichik kompyuterlar, ijrochi nanoqurilmalardan iborat bo‘ladi.*

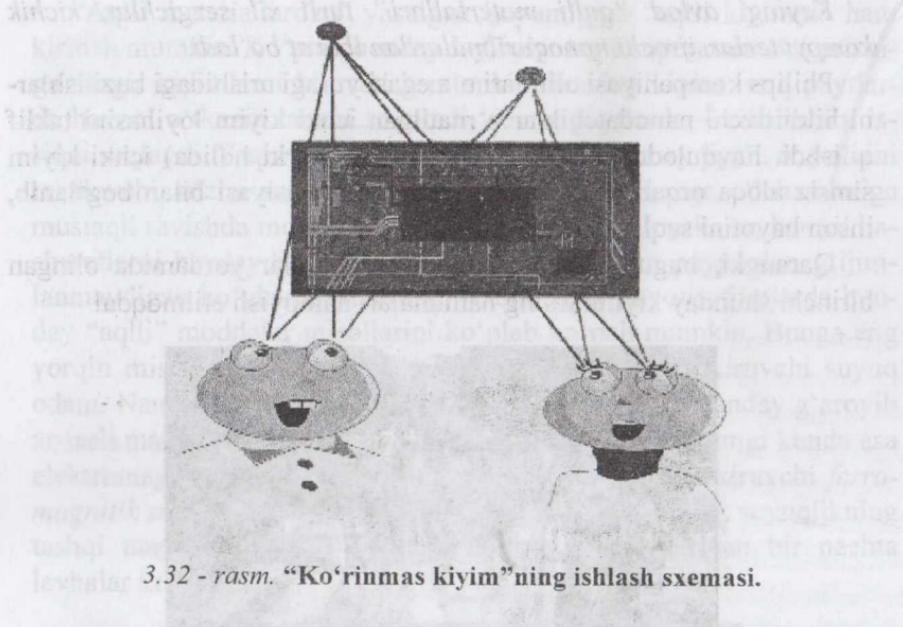
Philips kompaniyasi olimlari o‘z egasi yuragi urishidagi buzilishlarni bildiruvchi nanodatchiklar o‘rnatalgan ichki kiyim loyihasini taklif qilishdi. Favqulodda holatlarda (masalan, infarkt holida) ichki kiyim simsiz aloqa orqali eng yaqin tez yordam stansiyasi bilan bog‘lanib, inson hayotini saqlab qoladi (3.31-rasm).

Qarangki, bugungi kunda nanotexnologiyalar yordamida olingan birinchi shunday kiyimlarning namunalari namoyish etilmoqda!



3.31-rasm. “Ko‘rinmas kiyim”ning tajriba namunasi namoyishi.

Ular hali mukammal bo‘lmasada, yaqin yillarda biz haqiqiy “Ko‘rinmas odam”ning guvohi bo‘lsak ajab emas. 2018- yilgacha AQSH davlati o‘z soldatlarini shunday kiyim bilan ta‘minlamoqchi. “Ko‘rinmas kiyim”ning ishlash qoidasi juda sodda: u kiyimga o‘rnatalgan juda kichik videodatchik va nurlanuvchi elementli nanomaterialdan tuzilgan. Har bir tasvir qabul qiluvchi datchik, masalan, orqa tomondagi nuqta tasviri videosignalini protsessorga jo‘natadi, u esa shu nuqta tasvirini unga mos keluvchi old tomondagi “ekran”ga uzatadi. Bunda protsessor nur trayektoriyasini shunday modellashtiradiki, xuddi qabul qiluvchi datchik bilan nurlanuvchi element orasida hech narsa yo‘qday bo‘lib ko‘rinadi. Kuzatuvchi kiyim egasi orqasidagi narsalarni ham bemalol ko‘raveradi. “Ko‘rinmas kiyim” texnologiyasi inson faoliyatining ko‘p sohalarida ishlatsa kerak. (3.32-rasm) Masalan, ulardan jarrohlar foydalanishi ayni muddao bo‘lar edi, chunki operatsiya paytida ularning qo‘llari va asboblari operatsiya qilinayotgan joyni to‘sib qolib, uni ko‘rishga xalaqit beradi.



3.32 - rasm. “Ko’rinmas kiyim”ning ishslash sxemasi.

Uchuvchilar ham samolyot xonasi pollari shaffof bo’lishiga qarshi emaslar, chunki shunda ular qo’nish paytida yo’lakni ko’rib turishlari mumkin.

Kelinglar ozgina hayol surib ko’raylik... Aytib o’tilgandek, “Aqli materiallar”ning noyob xossalardan biri – dastur yordamida ularni boshqarish mumkinligidir. Dastur tuzuvchilar “ko’rinmas material”ni xohlagan narsani ko’rsatishga sozlashlari mumkin, masalan uni kiygan odam o’rniga taniqli kinoyulduzni yoki o’zga sayyoralik gumanoidni ko’rsatishi mumkin. Hazilni yoqtiruvchilarga bu ajoyib sovg'a bo’lar edi.

Hazilkashlar – ko’rinmaslar qanchalar urinmasin, oddiy yorqin bo’yoq va uni purkovchi qurilma har qanday “ko’rinmas odamni” fosh etadi, ko’rinmaslikdan asar ham qolmaydi!

“Ko’rinmas odam” ochiq quyoshli havoda soya hosil qiladimi? Bu haqda mustaqil o’ylab ko’rishingizni tavsiya etamiz. .

Bugungi kunda mukammal ko’rinmaydigan konstruksiyalarni yaratish qiyin, chunki kerakli kompyuter quvvatlari va kichik o’lchamlar yetishmaydi. Ammo, bu g’oyani, masalan, arxitekturada qo’llash mumkin. Butun boshli binoni yoki uning bir qismini yashirish uchun santi-metrli aniqlik ham yetib ortadi. Shuning uchun yaqin orada ko’p qavatli

bir xil turdag“qutilar” yo‘qolib, “havoda uchadigan” arxitektura ansamblarini ko‘rsak ajab emas. Kelajak arxitekturasi o‘zining go‘zalligi, mustahkamligi va yakkaxonligi bilan ajablantiradi (3.33-rasm).



3.33 - rasm. Kelajakdagi shaharlar aynan shunday  
ko‘rinishi mumkin.

Aytish kerak-ki, bunday konstruksiyalar g‘oyasi yangilik emas. Yuz million yillar oldin tabiat bunday mikroskopik videodatchiklardan iborat qoplamlarni yaratgan va ba’zi hasharotlar ko‘ziga qoplagan. (3.34-rasmida) ninachining ko‘zi 200 marta kattalashtirib ko‘rsatilgan.



3.34 - rasm. Ninachi ko‘zi

Ba’zi nanomateriallar “o‘zlarini” klassik fanlar nuqtayi nazarida tutishi kerakdek tutmaydi. Maktabda barcha jismlar isitilganda ken-gayadi, sovutilganda torayadi deb o‘qitiladi. Yosh fan nomzodi Yelena Serdun izlayotgan nanomaterialda esa aynan teskarisi! Material g‘ovak asos va unga kiritilgan ho‘llanmaydigan suyuqlikdan iborat. Agar u isitsila kichrayib o‘ziga issiqlik to‘playdi va aksincha issiqlik chiqargan holda - kengayadi. Aksincha bo‘lishi mumkin, material mexanik kuch bilan siqilsa o‘z- o‘zidan issiqlik chiqaradi!

Amalda tiklanuvchi issiqlik akkumulatoriga aylangan bu “Aqli” material issiqlik energiyasini mexanik energiyaga va aksincha mexanik energiyani issiqlik energiyasiga aylantira oladi. O‘zining noyob xossalari tufayli uni harakatlantirgichlarda issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantiruvchi sifatida, sovutkichlarda yoki boshqa yangi energetik qurilmalarda ishlatish mumkin.

Masalan, temperatura yoki bosim o‘zgarishi bilan, inson ishtirokisiz ishlab ketuvchi (ortiqcha isib ketish yoki germetizatsiya buzilishi hollarida) himoya klapanlari va membranalarda foydalanish mumkin. Bunday klapanlar butun ishlab chiqarish jarayonini mustaqil boshqara oladi, ishchilar xatosining oldini olib, halokat holatilarida qurilmalar ishini mustaqil to‘xtatib qo‘yadi. Ulardan ishlab chiqarish havfsizligini oshirishda, havfli va zaharli moddalarni saqlash va tashishda foydalanish mumkin.

Muhandislar bu bilan chegaralanib qolmadilar, ular issiqlik energiyasini to‘g‘ridan - to‘g‘ri elektr energiyasiga aylantiruvchi, qo‘rg‘oshin, surma, kumush va tellurdan iborat to‘rt xil metallarning nanostrukturlangan qotishmasini tayyorladilar. Bu turli xil qurilmalar ishlaganda foydasiz tarqalib ketuvchi issiqlikdan foydalanibgina qolmasdan, yer sharining bir necha o‘n kilometr chuqurligidan boshlab ko‘p uchraydigan lava va qaynoq jismlar energiyasidan foydalanish imkonini ham beradi.

Amerika olimlari “*Quyosh plastmassasi*” deb nomlanuvchi qurilmani yaratishda eng muhim bo‘lgan jarayonni amalga oshirishga, polimerlar molekulyar zanjirlari orqali elektrik tokini o‘tkazishga muvaffaq bo‘ldilar. Bu esa quyosh batareyasining elektr samaradorligini shunchalik oshirishi mumkinki, ular kelajakda hozirgi issiqlik elektr stansiyalari bilan raqobatlasha oladi. Elektrik energiya ishlab chiqaradigan yupqa pardalarni uyingiz tomiga yopishtirib – butun uyni elektr energiyasi bilan ta‘minlash mumkin bo‘ladi. Fullerenlar va biopolimerlar yordamida uzoq ishlaydigan, samarali quyosh batareyalari yaratilishi mumkin.

Bugun bunday “Aqli” nanomateriallar biz uchun ajoyib, g‘ayri-oddiy va tan narxi juda qimmat bo‘lib ko‘rinadi, chunki ularni faqat laboratoriya sharoitidagina olinmoqda. Shunga qaramay, yaqin kunlarda ular laboratoriya eshiklaridan chiqib, bizning kundalik hayotimizga kirib keladi.

Axir biz hozir alyuminiyni har kuni ishlatamiz, o'ylab ko'rsak bir paytlar aluminiy idishlar narxi oltin va kumush idish bilan bir xil edi. Elektr toki kashf qilinguncha alyuminiyni olish juda qimmatga tushgani uchun, bu yengil va chiroyli metall, faqat zargarlik buyumlari qilishda ishlatilgan. Ko'p arxeologik topilmalar buni tasdiqlaydi. Masalan, oltin zanjirli aluminiy krujkasi. Buyuk rus kimyogari D.I.Mendeleyev 1889-yili Londonga kelganida, unga maxsus qimmatbaho sovg'a sifatida oltin va aluminiydan qilingan tarozi berilgan edi.

Shuning uchun, tez orada har birimiz "Aqli" nanomateriallarni kundalik hayotimizda ishlatishimiz ehtimoldan holi emas. Tasavvur qiling: siz o'ta mustahkam va o'ta yengil avtomobilga o'tirasiz, uning saloni ichidagi temperatura tashqi havo o'ta issiqligida ham va o'ta sovuqligida ham  $20^{\circ}$ - $22^{\circ}\text{C}$  ni tashkil qiladi. Uyingizdag "Aqli" materialdan qilingan kreslo va stullar havo bosimi o'zgarishiga qarab o'zgaradi. Siz o'tirganingizda ular o'z-o'zidan shunday o'zgaradiki, o'tirish qulay va shinam bo'lib qoladi. O'z-o'zini tozalovchi shishadan qilingan uyingiz oynasi sizning ishtirokegizsiz ham oynadagi chang va kirlarni tozlaydi. Bog'dagi egat ustiga tortilgan issiqxonalar pardasi havo temperuturasiga qarab egatlarni o'zi ochadi va yopadi va h.k.

### 3.8. Almazoid – kelajak nanomateriali

Olmosning noyob xossasi qadimdan olimlar diqqatini o'ziga tortib kelgan. Bunga sabab, birinchidan, olmos kristall panjarasida har bir uglerod atomi to'rtta boshqasi bilan mustahkam C-C kovalent bog' hosil qilib, olmosga ajoyib qattiqlik beradi. U 1050 GPa bosim va  $1800^{\circ}\text{C}$  temperaturaga chiday oladi.

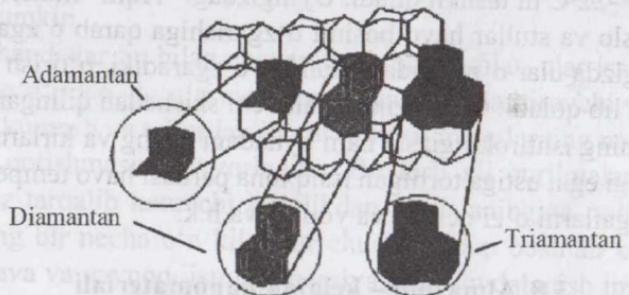
Ikkinchidan, bu qimmatbaho kristall Yer sharida ancha ko'p tarqalgan, neft, tabiiy gaz, yog'och, ko'mir va grafit tarkibiga kiruvchi oddiy uglerod atomlaridan tashkil topgan. Bizning sayyoramizdag'i uglerod miqdori  $6 \cdot 10^{18}$  tonnani tashkil qiladi, bu insoniyat madaniyatining butun tarixi davomida qurban binolari va ishlab chiqargan buyumlaridan millionlab marta ko'pdir.

Agar kamyob va qimmat bo'limganida, o'zining ajoyib xossalariiga ko'ra tabiiy olmos sanoatda va tibbiyotda ko'plab qo'llanilgan bo'lar edi. Original brilliant taqinchoqlardagi eng katta tabiiy olmos o'lchami bir necha santimetrdan oshmasada, ularning narxi yuz minglab dollar

turadi. Uglerod ko'p tarqalganligi olimlarda arzon uglerodli moddalar dan sun'iy olmos olish usullarini ishlab chiqish fikrini paydo qildi.

Natijada bunday usullar ishlab chiqildi, bugun sun'iy olmos sanoating ko'p sohalarida – elektronika, metallni qayta ishlash, aviakosmik, avtomobilsozlik va kemasozlikda bebaho material sifatida ishlatilmoqda.

Nanotexnologiyalar rivojlanishi natijasida nanometr o'lchamli olmos olishga qiziqish paydo bo'ldi. **Almazoid** – makroskopik olmosning eng kichik zarrachalari, g'ishtchalari mayjudligi to'g'risida g'oya ilgari surildi, bu zarra olmosning tetraedrik tuzilishini to'liq takrorlaydi deb taxmin qilindi. (3.35-rasm)



3.35 - rasm. Almazoidni tuzilishi.

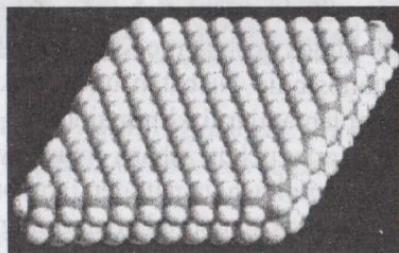
Bunday elementar g'ishtchalar – almazoidlar quyidagicha nomlariga ega bo'ldi: *adamantan* ( $C_{10}H_{16}$ ), *diamantan* ( $C_{14}H_{20}$ ), va *triaman-*  
*tan* ( $C_{18}H_{24}$ ). Almazoidlarda uglerod atomlari bir-birlari bilan kovalent bog'langan bo'lib, zarra sirtidagi atomlarning bo'sh bog'lari vodorod atomlari bilan "band". Ko'p vaqt bu birikmalar hayoliy deb hisoblangan, chunki ularni atrof-muhitdan ajratib ham, termokimyo usullar bilan ham sintez qilib ham bo'lmashdi. 1957-yili u tabiatda topildi – almazoidni xom neftdan ajratib olindi.

Almazoidlar kristali turli fazoviy tuzilishga ega bo'lishi mumkin, lekin barchasining asosiy xarakteristikalari bir xil: Yung moduli 1050 GPa dan katta, suyulish temperaturasi  $1800^{\circ}\text{C}$  dan yuqori, zichligi  $3500 \text{ kg/m}^3$ . Shuning uchun almazoiddan qilingan har qanday obyekt po'latdan qilinganga nisbatan ancha katta qattiqlikka va yuqori suyulish temperaturasiga ega bo'lib, boshqa materiallardan juda yengil bo'ladi.

*Almazoid – uglerod atomlari huddi olmosdagi uglerodlardek joylashgan, tetraedrik fazoviy panjara hosil qiluvchi uglevodorod zarrachasidir.*

### 3.9. Almazoidlarning qo'llanish istiqbollari

Olmosga yaqin xarakteristikaga ega bo'lgani uchun almazoidlar inson hayotining ko'p jabhalarida keng qo'llaniladi. Bu jabhalar avvalo mikro- va nanoelektronika, tibbiyot, mashinasozlik, metallni qayta ishlash, harakatlantirgichlar ishlab chiqarish, samolyotsozlik va transport. Ba'zilarini qisqacha ko'rib o'tamiz (3.36-rasm).



3.36 - rasm. Almazoid parda modeli.

Nanolmos va almazoid pardalar elektronikaning turli qurilmalari, jumladan, maydon tranzistorlarida, elektron nur qurilmasida, optik kompyuterlarda, **MEMS** (Micro Electric Mechanical System) va **NEMS** (Nano Electric Mechanical System) qurilmalarda keng qo'llash istiqboliga ega.

Nanolmoslarning zamonaviy tadbiqlaridan ba'zilari elektronika, radiotexnika, optika, tibbiyot, mashinasozlik, zargarlik sanoatlarida elektron va optik materiallar sirtini silliqlashdan iboratdir. Nanoolmos tarkibli materiallar yordamida ixtiyoriy geometrik shakldagi qattiq jismalarning 2–8 nm li notekis yuzasini oynadek silliq qilish mumkin.

Nanolmoslar qo'llanishi mikroabraziv va silliqlovchi tarkiblar, yog'lovchi moylar, abraziv uskunalar, polimer kompozitlar, rezina va kauchuklar, magnitik yozuvchi tizimlar sifatini sezilarli darajada yaxshilaydi.

Nanolmoslarning polimerlarga, rezinaga va plastmassalarga kiritilishi, ularning pishiqligini va yemirilishga chidamliligini oshiradi. "Olmos"li avtomobil shinalari tayyorlanadigan rezinalar teshilishga va

temperatura o'zgarishlariga chidamli bo'lib, hozirda eng chekka shimal va jazirama cho'llarda muvaffaqiyatli ishlamoqda.

Nanoolmoslar moylovchi yog'larda, sovutuvchi suyuqliklarda ishlatilmoqda. Nanoolmoslarning moylarda ishlatilishi motorlar ishslash muddatini va transmissiyasini oshiradi.

Kelajak istiqbolda tayyorlanadigan tibbiyot nanouskunalarini va nanorobotlari uchun ishlatiladigan materiallar ro'yxatida almazoidlar birinchi o'ringa davogardir. Chunki, ularning faoliyati, asosan, organizm ichida bo'lib, inson tanasi to'qimalari va hujayralari bilan to'liq biomutanosib bo'lishi talab etiladi.

Ma'lumki, oddiy olmos boshqa moddalarga nisbatan inson tanasiga juda yaxshi biomutanosibdir. Nisbatan uncha tekis bo'Imagan olmos sirtli protezlar va implantatlarni klinik sinovlari shuni ko'rsatdiki, u kimyoviy nofaol hujayralar uchun zaharli emas, leykotsitlar uni "o'zinki"dek qabul qiladi, shamollash va patogen jarayonlarni chaqirmaydi.

Olimlar endigina olmos nanoqoplamlarining olishni o'rgandilar, shuning uchun hozir organizm hujayralarining ularga nisbatan reaksiyasini aniq aytib bo'lmaydi. Ammo, mayda bo'lakchalarga bo'lingan uglerod zarralarini tana yaxshi hazm qiladi, yog'och ko'miri va qurum (diametri 10–20nm bo'lgan sferik zarralar) tatuirovka uchun qadimdan ishlatib kelinadi. Hozirgi vaqtida almazoid nanozarralarining inson organizimiga biomutanosibligini o'rghanish bo'yicha faol izlanishlar olib borilmoqda, lekin, haligacha hech kim ularning qandaydir zararli ta'siri to'g'risida ma'lumot bergani yo'q.

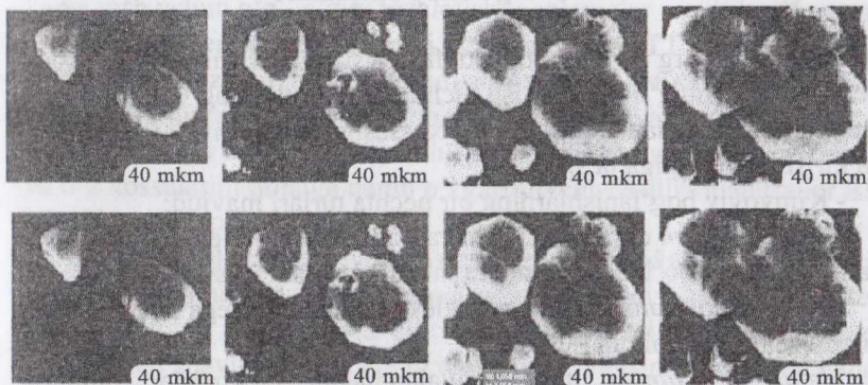
O'zining noyob xossalari ko'ra, almazoid XXI asrning universal va arzon materiali bo'lishi ehtimoldan holi emas.

### **Nanoolmoslar olinishi**

Hozirgi kunda olmos nanozarralarini olishning bir qancha usullari mavjud. Ular orasida keng tarqalganlari quyidagilar:

- tabiiy olmosdan fizik usullarda nanozarralar olish;
- o'ta yuqori bosim va temperaturalarda sintez qilish yo'li bilan olish;
- elektron va ion – nurli usullar bilan olish, bunda uglerodli material elektron yoki argon ionlari oqimi bilan nurlantiriladi;
- yuqori temperatura va bosimli uglerod bug'ini kimyoviy cho'ktirish bilan olish.

Quyidagi rasmda 1000°C li gaz holatidagi ugleroddan olmos nanozarrasining tug'ilish va o'sish jarayonlari tasvirlangan.



**3.37 - rasm. Mis taglikka joylashtirilgan o'zak olmos kristallarining  
a) 0 min, b) 15min, d) 30 min, e) 60 min vaqtidan so'nggi holatlari.**

Nanoolmoslar yana detonatsion usulda olinadi, chunki, portlash vaqtida hosil bo'ladigan bosim va temperatura nanoolmoslar paydo bo'lishi uchun yetarlidir. Lekin, bunday portlovchi moddalar qimmat turadi. Rossiya davlati halqaro shartnomalarga muvofiq million ton-nadan ortiq portlovchi moddalarini yo'q qilishi zarur, ularning har bir tonnasini yo'q qilish 1500 dollarga tushadi. Akademik V.M.Loborev ularni nanoolmoslar olish uchun ishlatalishni taklif qildi, lekin, bu ish amalga oshishgacha borib yetmadi. Natijada portlovchi modda ham, nanoolmos ham, pul ham yo'q.

Murakkab almazoid nanostrukturalarni olish uchun avtomatlashgan mexanosintez g'oyasi istiqbolga ega bo'lib, u aniq nanomanipulatorlar paydo bo'lishi bilan amalga oshadi.

Bugun kimyogarlar kerakli sharoitlarda va kerakli zichlikdagi turli moddalarni probirkada aralashtirib, murakkab molekular komplekslar olishga muvaffaq bo'lmoqdalar. Nima uchun nanostrukturalarni inson va kompyuter nazoratida oddiy mexanik usulda yig'sa bo'lmaydi? Agar kerakli natijaga probirkaga yordamida erishiladigan bo'lsa, bunday vazifani nanomanipulatorlar bajargani afzal emasmi? Molekular mexanosintez g'oyasi juda sodda, u avtobollar yig'uvchi robotlashgan fabrikani eslatadi: nanomanipulator atomni olib yig'ilayotgan obyekt sirtiga biriktiradi. Bunday tizim juda sodda va samarali bo'lib ko'rindi, u "Nanotexnologiya asboblari" bobida batafsил ko'rib chiqiladi.

### 3-bobning asosiy xulosalari

- Atomlar turg'un elektron konfiguratsiyaga erishish, ya'ni tashqi elektron qobig'ini to'ldirish uchun kimyoviy bog' hosil qiladi. Atomlarning bog'lanish turi modda xossasiga, shu jumladan, reaksiya-ga kirish qobiliyatiga ta'sir qiladi.

- Kimyoviy bog'lanishlarning bir nechta turlari mavjud:

*Ion bog'lanish* qarama - qarshi zaryadli ionlarni elektrik tortishishi natijasida hosil bo'ladi. Eng sodda misol - osh tuzi (NaCl).

*Kovalent bog'lanishni* umumiy elektron juftligiga ega atomlar hosil qiladi. Masalan – olmos.

*Metall bog'lanish* lokalizatsiyalanmagan elektronlar bulutida "suzuvchi" metall ionlarini bog'laydi, bu ularning egiluvchanligi va pishiqligini belgilaydi.

*Van- der - Vaals kuchlari* bu vodorod bog'dan tashqari barcha kuchsiz molekulalararo ta'sir kuchlaridir.

*Vodorod bog'lanish* vodorod atomi bilan boshqa elektromanfiy atom orasidagi tortishish kuchidan hosil bo'ladi. U molekulalar o'rtasida(suv va muz) yoki molekulalar ichida (DNK molekulasi) bo'lishi mumkin.

- Zarradagi atomlar soni zarra xossasiga kuchli ta'sir etadi.

- *Nanokimyo* nanozarralarning xossalari va olinishini o'rGANADI. Nanokimyoning asosiy vazifalaridan biri – zarraning reaksiyaga kirishish qobiliyati bilan uning o'lchami o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlashdir.

- Nanozarralar olishning ikki usuli bor:

*dispergatsion* (maydalash);

*kondensatsion* ( ion va atomlardan tiklash).

- Nanozarralar ("sexrli"laridan tashqarisi) birikib ketishga intiladi.

Bunga yo'l qo'ymaslik uchun tizimga turg'unlashtirgich kiritiladi.

- Nanozarralar noyob xossalarga ega bo'lishi mumkin.

*Kumush nanozarrasi* juda ko'p bizga ma'lum virus va mikroblarni o'ldiradi. Bu zarralar asosida yasalgan havo va suvni tozalovchi filtrlar ionli filtrlarga nisbatan juda ko'p marta samarali va uzoq ishlaydi.

- *Sink oksidi nanozarrasi* ultrabinafsha nurlarning zararli ta'siridan himoya qiladi. Ulardan ko'zoynak, kiyim , quyoshdan himoyalovchi krem va h.k. taylorlashda foydalanish mumkin. Undan tashqari ular yordamida matolarni "stels" turidagi elektromagnitik to'lqinlarning keng diapazonida ko'rinmas qiluvchi qoplamlar tayyorlashda ishlataladi.

*Kremniy dioksidi* nanozarralari matolar, oynalar, yog'och, kerami-

ka va tosh uchun o‘z - o‘zini tozalovchi qoplamlar tayyorlash imkonini beradi. Serpentin nanonaychasi asosida qilingan TTT moddalar avtomobil umrini uzaytiradi va chiqindi gazlarni kamaytiradi.

- Nanokimyoning amaliy tadbiqlaridan biri - yaxshilangan xossali nanomateriallar hamda tashqi muhit o‘zgarishiga javob qaytara oluvchi va o‘z xossalarini holatga qarab o‘zgartiruvchi “Aqlii” materiallar ishlab chiqarishdan iborat.

- Nanotexnologiyalar rivojlanishi bilan *almazoid*larga qiziqish ortib bormoqda. Almazoid bu – uglerod atomlari xuddi olmosdagidek tetraedrik fazoviy panjara hosil qiluvchi uglevodorod zarrasidir. Uch xil almazoidlar mavjud: (adamantan diamantan, va trimantan), barchalari olmosning asosiy xossalariga, jumladan, yuqori biomutanosiblikka ega. Shuning uchun, almazoid kelajak istiqbolda yaratiluvchi tibbiyot nano-robotlari uchun materiallar ro‘yxatida birinchi o‘ringa davogardir.

### **3- bobni takrorlash uchun savollar**

1. Kimyoviy bog‘lanish deganda nimani tushunasiz?
2. Kossal va Lyuis farazi nima?
3. Ion bog‘lanish qanday hosil bo‘ladi?
4. Kovalent bog‘lanishni tushuntiring.
5. Metall bog‘lanishni izohlang.
6. Van-der-Vaals kuchlari nima?
7. Vodorod bog‘lanish qanday hosil bo‘ladi?
8. Nanokimyo nimani o‘rganadi?
9. Nanozarralarning qanday turlari mavjud?
10. Fullerenlar va nanonaychalar nimadan tuzilgan?
11. Yoqilg‘i yacheykasi qanday tuzilgan?
12. Klasterlarni tushuntiring.
13. Nanozarralar olishning qanday usullarini bilasiz?
14. Turg‘unlashtirgichning vazifasi nimadan iborat?
15. “Sehrli” sonlar deganda nimani tushunasiz?
16. Fulleren va nanonaychalar olish usullarini aytинг.
17. Kumush, rux oksidi, serpentin va kremluy dioksididan qilingan nanotuzilmalar xossalarini tushintiring.
18. “Aqlii” materiallar nima?
19. “Aqlii” materiallarni qayerlarda ishlatalish mumkin?
20. Almazoid nima va uning necha xil turini bilasiz?

## **4-BOB. NANOELEKTRONIKA VA MEMS**

### **4.1. Yarimo'tkazgichli elektronikaning paydo bo'lishi va rivojlanishi**

XX asrning ikkinchi yarmida insoniyatning yutuqlaridan hayratlanmay ilojimiz yo'q, deyarli har yili u yoki bu sohada yirik o'zgarishlar sodir bo'lди. Bunday yutuqlarga erishishning sabablaridan biri yarimo'tkazgichlarning keng ko'lamlı qo'llanilishidir.

Xo'sh, nima o'zgardi? Insonlar faqat yana bir material turini ishlata boshladilar xolos. Biroq, aytish mumkinki, aynan yarimo'tkazgichlar ikkinchi jahon urushida vayron etilgan, qashshoq Yaponiyani bir necha o'n yillar mobaynida jahondagi eng ilg'or, yetakchi davlatlardan biriga aylantirdi.

**Yarimo'tkazgichlar** – o'tkazgichlar va dielektriklar o'rtasidagi moddalardir. Ularga juda ko'p kimyoviy moddalar (germaniyl, kremniy, selen, tellur va boshq.) va juda ko'p turdag'i kimyoviy birikmalar kira-di. Bizning tevarak - atrofimizni o'rabi turgan deyarli barcha neorganik moddalar yarimo'tkazgichlardir. Tabiatda eng ko'p tarqalgan yarimo'tkazgich kremniy bo'lib, u yer qobig'ining 30% ni tashkil qiladi.

Yarimo'tkazgichlarning asosiy belgilariidan biri shundan iboratki, ularning fizik xossalari tashqi ta'sirga – temperaturaning o'zgarishi yoki kirishmalar kirishiga kuchli bog'langan.

*Yarimo'tkazgichlar temperaturasini maqsadli o'zgartirib yoki uni legirlab (kirishma kiritib), uning fizik xossalariini, jumladan, elektrik o'tkazuvchanligini boshqarish mumkin.*

Bundan 180 yil ilgari odamlarga turli o'tkazgichlar elektr toki-ni turlicha o'tkazishi ma'lum edi. 1821-yilda ingliz kimyogari Hem-fri Devi temperatura ortishi bilan metallning elektrik o'tkazgichligi kamayishini aniqlagan. Uning shogirdi Maykl Faradey 1833-yilda tajribalarni davom ettirib, oltingugut va kumush birikmasi elektrik o'tkazuvchanligi temperatura ortishi bilan pasayishini emas, aksincha ko'tarilishini kuzatgan. So'ngra, u o'tkazuvchanligi temperaturaga

Hundey kriall bo‘lagi cheferiga elektrik kuchlarini bersak nima g‘ayrioddiy bog‘langan yana bir necha muddalarni kashf qildi. Lekin, o‘sha paytlarda bu dunyo ilm ahlini qiziqtirmadi. 1873-yili selennenning (Se) qarshiligi yorug‘lik nuri ta’sirida o‘zgarishi aniqlangandan so‘ng, bu ishlarga qiziqish ortdi.

Selen fotoqarshiliklar tezda turli optik asboblarda qo‘llanila boshlandi. Oddiy selen ustunidan qilingan *fotoqarshilik* birinchi yarimo‘tkazgichli asbob bo‘ldi. Uning elektrik o‘tkazuvchanligi yoritilganda qorong‘ulikdagisiga nisbatan kattalashar edi.

Avval, 1948-yili nuqtaviy, keyin 1951-yili yassi tranzistorlar kashf qilinishi, yarimo‘tkazgichli elektronikaning jadal rivojlanishiga olib keldi. Tranzistorlar ishslash qonuniyatini tushuntirish uchun yarimo‘tkazgichlarda kechadigan qator fizik jarayonlarni ko‘rib chiqish zarur bo‘ladi. Dast avval ulardagi elektrik o‘tkazuvchanlik mexanizmiga to‘xtalib o‘tamiz.

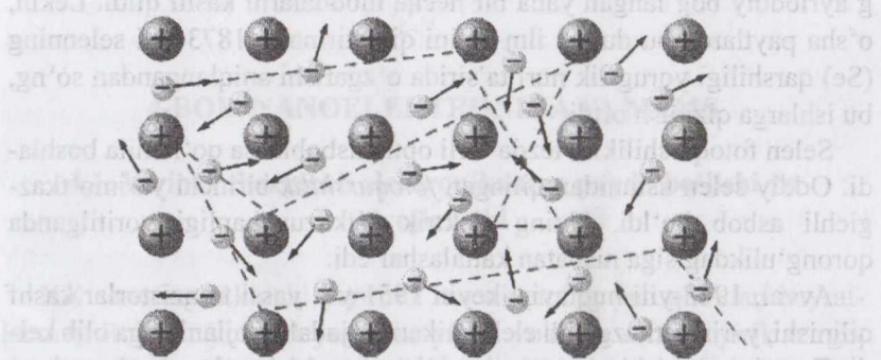
## 4.2. Elektrik o‘tkazuvchanlik

Ma’lumki, barcha muddalar turli kimyoviy bog‘lar hosil qilgan atomlardan tuzilgan bo‘lib, bu bog‘lar ularning ko‘plab fizik va kimyoviy xossalarni, jumladan, elektrik o‘tkazuvchanligini belgilaydi. Masalan, tuz va yog‘ dielektriklar guruhiга mansub bo‘lib, elektr toki ni o‘tkazmaydi, metalldan qilingan sim esa juda yaxshi o‘tkazgichdir. Metallning yuqori elektrik o‘tkazuvchanligi sababi nimada?

### Metallarning elektrik o‘tkazuvchanligi

Kristall panjarada metall atomlari juda zinch joylashgan – har bir metall atomi o‘n ikkitagacha qo‘shti atom bilan bevosita bog‘langan bo‘lishi mumkin. Shuning uchun metall atomining tashqi elektron qo‘big‘idagi valent elektronlar “erkin” bo‘lib, metall ichida tartibsiz issiqlik harakatidagi “elektronlar gazi” ni hosil qiladi. Kristall panjara tugunlaridagi metall ionlari esa, shu elektron gaz ichiga botirilgandak joylashgan.

Metallarning kristall panjara tugunlarida joylashgan ionlari ham, erkin elektronlari ham betartib issiqlik harakatida ishtirok etadi. Ionlar kristall panjara tugunlarida tebranma harakat qiladi, erkin elektronlar esa kristall bo‘ylab betartib ilgarilanma harakatda bo‘ladi (4.1 -rasm)



**4.1 - rasm. metallning kristall panjarasidagi erkin elektronlar harakati.**

Bitta elektronning trayektoriyasi shtrix bilan ko'rsatilgan.

Erkin elektronlar o'zlarining betartib issiqlik harakati davomida kristall panjara tugunlaridagi metall ionlari bilan to'qnashib turadi. Metall sirtiga yaqin biror elektron shu to'qnashishlar natijasida metalldan chiqib ketishi ham mumkin. Buning uchun uning energiyasi potensial to'siq deb nomlanuvchi energiyadan yuqori bo'lishi zarur. Metallning potensial to'siq balandligi (energiya birligida) uning *chigish ishi* deb ataladi. Xona temperaturasida ko'p erkin elektronlarning issiqlik harakat energiyasi potensial to'siqni yengib chiqish uchun yetarli bo'lmaydi.

Metall o'tkazgich chetlariga potensiallar farqini (kuchlanishni) qo'ysak, erkin elektronlarning betartib issiqlik harakatidan tashqari, tartiblangan (bir tomonga yo'nalgan) harakati paydo bo'ladi, ya'ni elektr toki hosil bo'ladi. Aynan erkin elektronlarning metallardagi yuqori zinchligi ularing yuqori elektrik o'tkazuvchanligini belgilaydi.

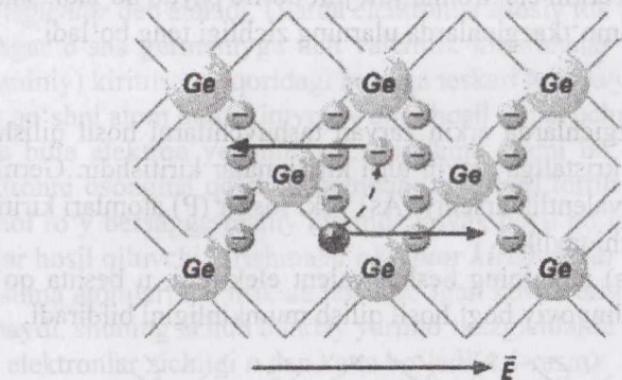
### **Yarimo'tkazgichlarning elektr o'tkazuvchanligi**

Endi yarimo'tkazgich kristali panjarasini ko'rib chiqamiz. Yarimo'tkazgich atomlari *kovalent bog'langan* bo'ladi. Misol sifatida to'rt valent elektronli germaniy (Ge) kristalini ko'rib chiqamiz. Kovalent bog'larning mustahkamligi tufayli germaniy kristalidagi elektronlar metaldagilarga nisbatan ancha mustahkam joylashib olgan. Shuning uchun oddiy sharoitlarda erkin, ya'ni yaxshi joylasha olmagan bog'langan, erkin elektronlar kam bo'lganligi uchun ularning o'tkazuvchanligi metallarnikidan ko'p marta kichikdir.

Bunday kristall bo‘lagi chetlariga elektrik kuchlanish bersak nima bo‘ladi? Biz kristallga  $0^{\circ}\text{K}$  da katta kuchlanish qo‘yib unda kuchli elektrik maydon hosil qilganimizda ham, u maydon atomlarning elektron orbitalarini ozgina deformatsiyalaydi xolos, atomlar orasidagi elektronlarni uzib tashlay olmaydi. Natijada erkin elektronlar hosil bo‘lmaydi, tok ham ortmaydi. Shunday qilib, toza germaniy  $0^{\circ}\text{K}$  da (past temperaturalarda) bu dielektrikdir.

Germaniy kristalida erkin elektronlar hosil bo‘lishi uchun qandaydir yo‘l bilan atomlar orasidagi kovalent bog‘larni uzish kerak. Bunga turli yo‘llar bilan erishish mumkin.

Ulardan biri bu kristallni qizdirishdir. Unda bir qism valent elektronlar qo‘sishma issiqlik energiya ta’sirida kovalent bog‘lanishdan uzilib chiqib ketadi. Faraz qilaylik, qizdirish natijasida atomlar orasidagi bir bog‘lanish uzildi, urib chiqarilgan elektron esa erkin elektronga aylanadi (4.2-rasm). Bunda uzilgan bog‘ (kovak) bilan nima sodir bo‘ladi?



4.2-rasm. Germaniy kristalidagi juft elektron bog‘lari.

Natijada “kovak” qo‘shti atomga siljiydi. U atom o‘z navbatida boshqa atomdan elektronni tortib oladi va h.k. Natijada bitta elektroni yetishmaydigan chala bog‘ kristall bo‘ylab tartibsiz erkin ko‘chib yurishi mumkin. Uzilgan bog‘larning (kovaklarning) ko‘chib yurishi qo‘shti bog‘lardagi elektronlarni tortib olish hisobiga sodir bo‘ladi, shuning uchun har safar bir atom o‘zining uzilgan bog‘i uchun elektron tortib olganda, u bilan birga bog‘ning kompensatsiyalanmagan musbat zaryadi ham ko‘chib yuradi. Bu holatni xuddi yarimo‘tkazgichda

yangi musbat zaryadli zarracha paydo bo‘lganidek qabul qilish mumkin. Ushbu zarraning zaryadi elektron zaryadiga teng bo‘lib, ishorasi esa musbatdir. Bunday kvazi zarralar (“kvazi” – deyarli degan ma’noni bildiradi) “kovak”lar deb nomlanadi.

Bog‘dan uzilib chiqqan erkin elektron va uning o‘rnida hosil bo‘lgan kovak cheksiz uzoq vaqt turaolmaydi. Ma’lum bir vaqt dan so‘ng ( $10^{-12}$  dan  $10^{-2}$  sek gacha) ular bir biri bilan yana uchrashib qoladi va ikkalasi ham yo‘q bo‘lib ketadi, buni rekombinatsiya deb ataladi.

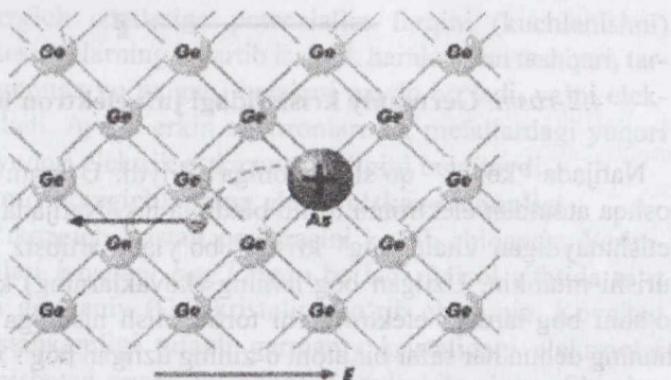
*Rekombinatsiya* paytida energiya ajralib chiqadi, uning qiymati elektron-kovak juftligini hosil qilish uchun sarf bo‘lgan energiyaga tengdir. Ba’zan bu energiya nurlanish ko‘rinishida ajralib chiqadi, ko‘p hollarda esa bu energiya kristall panjaraga berilib, uni qiztiradi. Erkin elektronlar va kovaklar hosil qilgan o‘tkazuvchanlik yarimo‘tkazgichlarning xususiy o‘tkazuvchanligi deb ataladi.

Kovaklar va erkin elektronlar juft juft bo‘lib paydo bo‘ladi, shuning uchun toza yarimo‘tkazgichlarda ularning zichligi teng bo‘ladi:

$$p = n.$$

Yarimo‘tkazgichlarda erkin zaryad tashuvchilarni hosil qilishning yana bir usuli, kristallga atayin turli kirishmalar kiritishdir. Germaniy kristaliga besh valentlik arseniy (As) yoki fosfor (P) atomlari kiritilgan holatni ko‘rib chiqaylik.

Arseniy (As) atomining beshta valent elektroni, u beshta qo‘sni atomlar bilan kimyoviy bog‘ hosil qilish mumkinligini bildiradi.



4.3 -rasm. Germaniy kristall parjarasidagi arseniy atomi.  
n turdagи yarimo‘tkazgich.

Germaniy kristalida faqat to'rtta qo'shni atom bilan bog' hosil qila olish mumkin. Shuning uchun arseniy atomining faqat to'rtta valent elektroni bog' hosil qilishda qatnashadi.

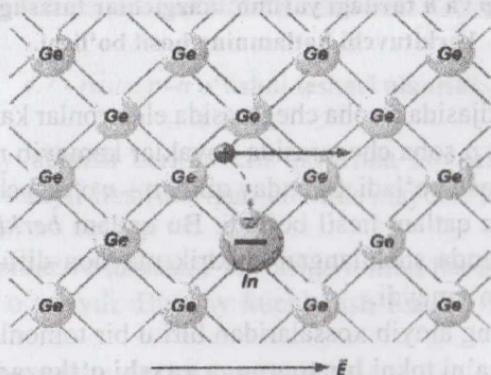
As ning beshinchi valent elektroni esa bog' hosil qilishda ishtirok etmaydi va natijada o'z atomidan uzilib ketsa bitta erkin elektron paydo bo'lishi mumkin.

Bunday kirishmalar **donor kirishmalar** deb ataladi. E'tibor bering, kirishma kiritilganda erkin elektron hosil bo'lishi kovak hosil bo'lishi-ga olib kelmaydi, chunki bunda erkin elektron atomlar orasidagi bog'lanishda qatnashayotgan valent elektronlar hisobiga hosil bo'lmaydi. Natijada donor kirishma kritilgan yarimo'tkazgichda elektronlar zichligi  $n$ , kovaklar zichligi  $p$  dan katta bo'lishi mumkin:

$$n > p.$$

Donor kirishmali yarimo'tkazgichlarni  $n$  (*negative*) turdag'i yarimo'tkazgichlar deb ataladi. Ularda elektronlar asosiy tok tashuvchilardir.

Agar o'sha germaniyaga uch valentlik kirishmalar (masalan indiy, alyuminiy) kiritilsa, yuqoridagi holatga teskari hodisa yuz beradi. Endi to'rt qo'shni atom bilan kimyoviy bog' hosil qilish uchun kirishma atomida bitta elektron yetishmaydi. Kirishma atomi bu yetishmayotgan elektronni osongina qo'shni atomdan (bog'dan) tortib olishi mumkin. Bu hol ro'y bersa, germaniy atomida kovak hosil bo'ladi. Bunday kovaklar hosil qiluvchi kirishmalar **akseptor kirishmalar** deb nomlanadi. Kirishma atomlari ishtirokida hosil bo'lgan kovak erkin elektron hosil qilmaydi, shuning uchun bunday yarimo'tkazgichlarda kovaklar zichligi  $r$ , elektronlar zichligi  $n$  dan katta bo'ladi(4.4-rasm).



4.4 - rasm. Indiy atomi kiritilgan Ge kristall panjarasi.

$$p > n$$

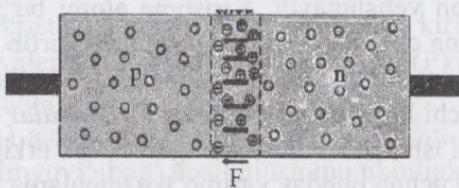
Bunday yarimo'tkazgichlarda kovaklar asosiy tok tashuvchilar bo'lib, ularni *r turdag'i* (*positive – musbat*) yarimo'tkazgichlar deb ataladi.

### 4.3. Elektron - kovak o'tishi

Har qanday yarimo'tkazgichli asbob bir yoki bir nechta elektron - kovak o'tishdan iboratdir.

**Elektron - kovak o'tish** ( $p - n$  o'tish) – bu  $p$  va  $n$  turdag'i yarimo'tkazgichlar tutashgan joyidir.

$n$  turdag'i yarimo'tkazgichlarda erkin elektronlar zichligi kovaklar zichligidan ancha ko'p ( $n >> p$ ) bo'lgani uchun,  $p$  turdagida esa aksincha ( $p >> n$ ) bo'lgani uchun bunday elektrik neytral yarimo'tkazgichlar tutashtirilganda kovaklar va elektronlar diffuziyasi sodir bo'ladi. Kovaklar shiddat bilan  $p$  yarimo'tkazgichdan  $n$  turdag'i yarimo'tkazgich tomon, elektronlar esa  $n$  yarimo'tkazgichdan  $p$  turdag'i yarimo'tkazgichlar tomon diffuziyalaradi (4.5-rasm).



4.5 - rasm.  $p$  va  $n$  turdag'i yarimo'tkazgichlar tutashgan joyida berkituvchi qatlarning hosil bo'lishi.

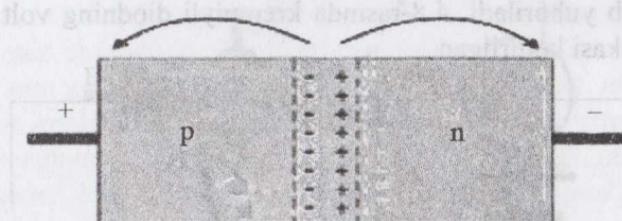
Diffuziya natijasida  $n$  soha chegarasida elektronlar kamayib, musbat zaryadli qatlam,  $p$  soha chegarasida kovaklar kamayib manfiy zaryadlangan qatlam hosil bo'ladi. Shunday qilib,  $p - n$  o'tish chegarasida ikki xil zaryadlangan qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlam *berkituvchi qatlam* deb nomlanib, unda shakllangan elektrik maydon diffuziyani davom ettirishga yo'l qo'yimaydi.

$p - n$  o'tishning ajoyib xossalardan biri u bir tomonlama o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni tokni **bir tomonga yaxshi o'tkazadi**.

$p - n$  o'tishga ikki xil usulda kuchlanish berishimiz mumkin.

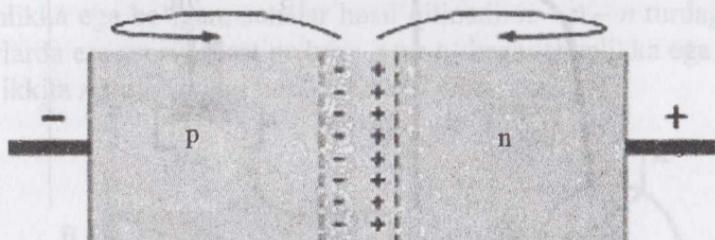
1) manbaning musbat qutbi  $p$  tomonga, manfiy qutbi  $n$  tomonga ulangan.

Bunda berkituvchi qatlam hosil qilgan maydon kuchlanganligi kamayib, kontakt qatlam orqali tok o'tishi osonlashadi. Kuchlanish oshgani sari  $p - n$  o'tishdan o'tayotgan tok kuchi ham ortadi. Bu to'g'ri kuchlanish deb ataladi(4.6-rasm).



4.6 - rasm.  $p - n$  o'tishning to'g'ri ulanishi.

2) endi tashqi tok manbayining musbat qutbi  $n$  sohaga, manfiy qutbi  $p$  sohaga ulangan holatni ko'rib chiqamiz (4.7-rasm).



4.7 - rasm.  $p - n$  o'tishni teskari ulanishi.

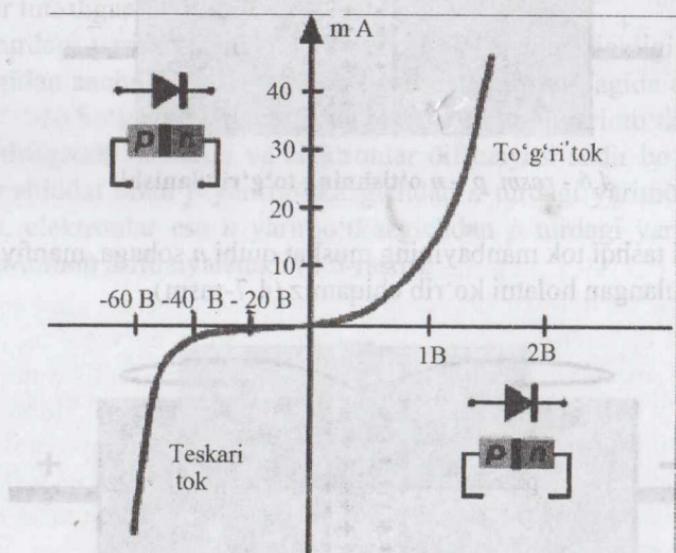
Bunday ulanish berkituvchi qatlamda kovaklar va elektronlar diffuziyasi tufayli hosil bo'lgan elektrik maydon kuchlanganligini yanada orttiradi.

Endi elektronlar va kovaklar bir biriga tomon harakat qila olmaydi va tok deyarli o'tmaydi. Bunday kuchlanish **teskari kuchlanish** deb nomlanadi.

Juda kichgina tokning oqishi yarimo'tkazgichlarning xususiy o'tkazuvchanligi mavjudligi bilan tushuntiriladi.

#### 4.4. Diod

$p - n$  o'tishdan faqat bir tomona tok o'tishi xossasi yarimo'tkazgichli diodlarda foydalaniлади. Yarimo'tkazgichli diodlar, asosan, kremniy va germaniyidan tayyorlanadi. Ularni tayyorlashda bir turdag'i (masalan,  $n$  turdag'i) o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgich kristaliga boshqa turdag'i ( $p$  turdag'i) yarimo'tkazgich kristali tomchisi eritib kiritib yuboriladi. 4.8-rasmida kremniyli diodning volt - amper xarakteristikasi keltirilgan.



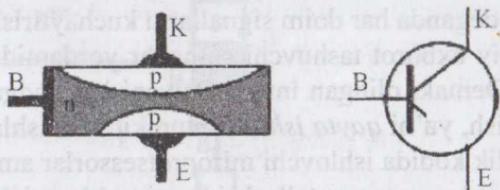
4.8 - rasm. Kremniy diodining volt-amper xarakteristikasi.

#### 4.5. Tranzistor

Ikki  $p - n$  o'tishli yarimo'tkazgichli asboblar tranzistorlar deb ataladi. Barcha mantiqiy mikrosxemalar ular asosida ishlaydi. Tranzistor so'zining lug'ovi ma'nosi ingilizcha *transfer* - ташувчи va *resistor* – qarshilik so'zlaridan tashkil topgan. Ko'p hollarda tranzistorlar ham kremniy va germaniy kristallaridan tayyorlanadi. Oddiy *planar tranzistorlar*  $p$  yoki  $n$  turdag'i o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yupqa yarimo'tkazgich plastinkadan iborat bo'lib, uning sirtiga ikki tomoniga

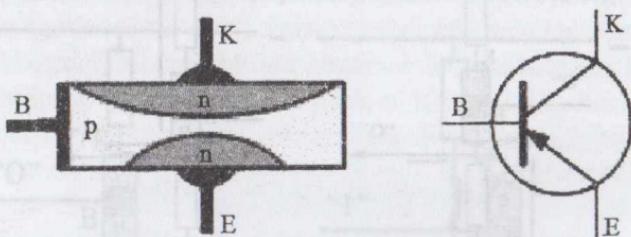
boshqa turdag'i o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan yarimo'tkazgich qatlami o'tqaziladi. Tranzistor plastinasini **baza(B)** deb ataladi, unga o'tqazilgan boshqa turdag'i yarimo'tkazgich qatlamlaridan birini **kollektor(K)**, ikkinchisini **emitter(E)** deb ataladi.

Shartli belgilashlarda emitter strelkasi yo'nalishi undan o'tayotgan tok yo'nalishini belgilaydi (4.9-rasm).



4.9- rasm. *p - n - p* tuzilishli tranzistor.

Tranzistorlar ikki xil bo'ladi *p - n - p* va *n - p - n*. Masalan, *p - n - p* turdag'i germaniyli tranzistor plastinasiga bazasi donor kirishmali n tur o'tkazuvchanlikka ega bo'lib uning ikki tomonida p turdag'i o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan, sohalar hosil qilinadi. *n - p - n* turdag'i tranzistorlarda esa asosiy plastina baza *p* tur o'tkazuvchanlikka ega bo'lib, unda ikkita *n* turli sohalar hosil qilinadi (4.10-rasm).



4.10- rasm. *n - p - n* turli tranzistor.

Agar emmiter zanjiriga o'zgaruvchan kuchlanish berilgan bo'lsa, kollektor zanjirida ham xuddi shunday o'zgaruvchan tok hosil bo'ladi, lekin uning kuchlanishi emitterga berilgan kuchlanishnikidan juda ko'p marta katta bo'ladi, ya'ni tranzistor elektrik signallarni kuchaytira ola-di. Boshqa ularish sxemasida tok kuchaytiriladi.

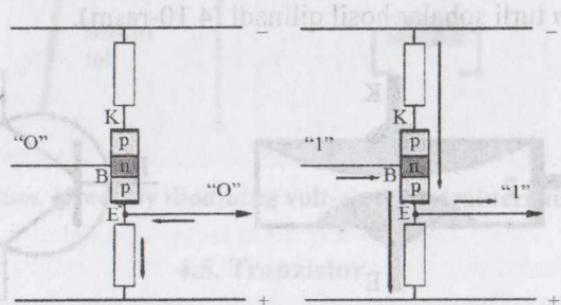
O'ylab ko'ring, radioqabullagich antennasida sodir bo'lgan juda zaif elektrik signallar kuchaytirilgach, tovush karnaylarini kuchli tebrata oladi.

Mikrosxemadagi kuchsiz signallar tranzistorlar orqali kuchaytirilib motorlarni, robotlarni, sun'iy mushaklarni boshqara oladi. Skanerlovchi miroskopdagi nanoamperli tunnel tok ham tranzistorlar yordamida kuchaytiriladi. Tranzistorda kichik tok katta tokni boshqaradi, bu elektronikaning asosidir.

Boshqarish deganda har doim signallarni kuchaytirish nazarda tutilmaydi. Mantiqiy axborot tashuvchi signallar yordamida ham boshqarish mumkin. Demak, olingan informatsiyani maqsadga muvofiq ravishda o'zgartirish, ya'ni *qayta ishlash* mumkin. Bu ishlarni nol va birдан iborat ikkilik kodida ishlovchi miroprocessorlar amalga oshiradi.

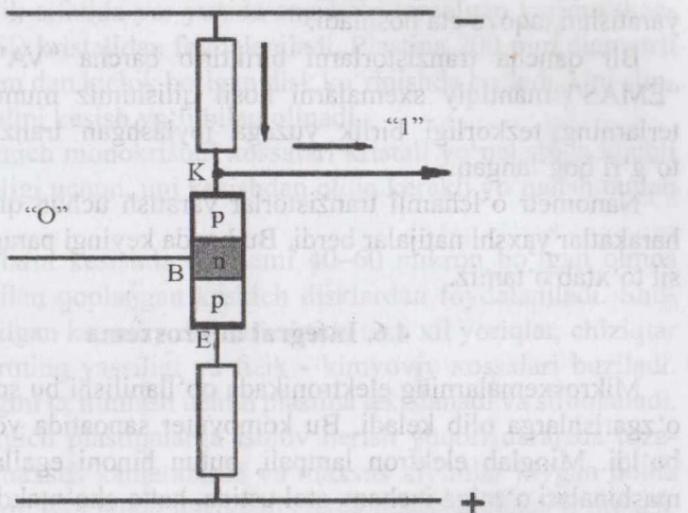
CMOS (komplementar metall-oksid yarimo'tkazgich) mantiqiy qurimalarida musbat yoki nol kuchlanish "0" ni anglatadi, manfiy kuchlanish esa "1" ni bildiradi. Baza zanjiri qo'shilmaganda emitter zanjiridan tok o'tmaydi. Bu holat mantiqiy "0" ga mos keladi. Bazaga manfiy kuchlanish berilganda zanjirda tok hosil bo'ladi, bu mantiqiy "1" ga mos keladi.

Shunday qilib, sxema kirishida "0" tranzistorni yopadi, chiqishida ham "0" ni olamiz. Agar kirishga tranzistor bazasiga "1" bersak, u ochiladi va emmitterda "1" ni hosil qilamiz (4.11-rasm).



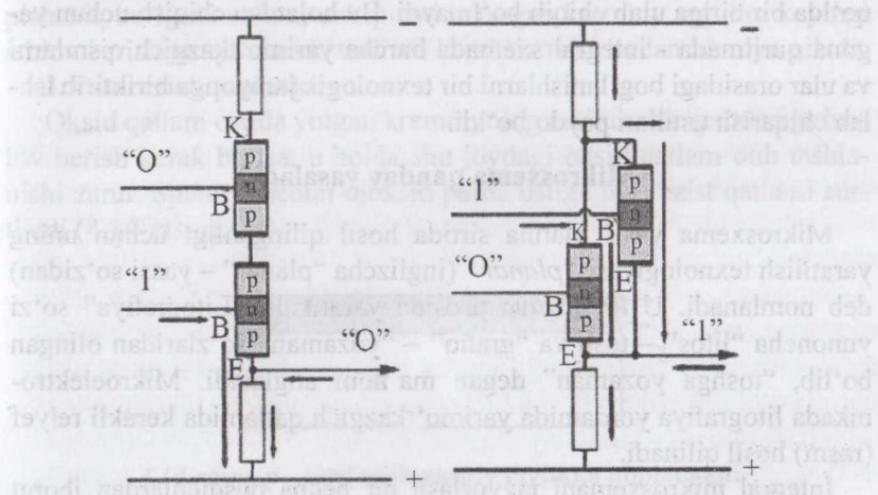
4.11-rasm. *p - n - p* tranzistorning mantiqiy ulagich sifatida ishlatilishi.

Chiqishni tranzistor kollektoriga ulasak, jarayon aksincha kechadi. Bu holda "0" ni "1" ga, 1 esa 0 ga aylantiruvchi. Bu "emas" (NE) nomli mantiqiy sxemaga ega bo'lamiz (4.12-rasm).



4.12 - rasm. Bir tranzistorli "emas" mantiqiy qurilmasi.

Bir necha tranzistorlar yordamida mantiqiy "VA", "YOKI" va boshqa murakkab mantiqiy sxemalarni hosil qilishimiz mumkin. Zamonaviy texnologiyalar yordamida o'lchamlari bir necha mikron bo'lgan tranzistorlar, fotosensorlar ishlab chiqilishi mumkin (4.13-rasm).



4.13 – rasm. "VA" va "YOKI" tranzistorli sxemalar.

Biroq, texnikaning keyingi rivoji nanometr o'lchamli tranzistorlar yaratishni taqozo eta boshladi.

Bir qancha tranzistorlarni biriktirib barcha "VA", "YOKI" va "EMAS" mantiqiy sxemalarni hosil qilishimiz mumkin. Kompyuterlarning tezkorligi birlik yuzaga joylashgan tranzistorlar soniga to'g'ri bog'langan.

Nanometr o'lchamli tranzistorlar yaratish uchun qilingan birinchi harakatlar yaxshi natijalar berdi. Bu haqda keyingi paragraflarda batafsil to'xtab o'tamiz.

#### 4.6. Integral mikrosxema

Mikrosxemalarning elektronikada qo'llanilishi bu sohada inqilobiy o'zgarishlarga olib keladi. Bu kompyuter sanoatida yorqin namoyon bo'ldi. Minglab elektron lampali, butun binoni egallagan hisoblash mashinalari o'rniغا ixcham, stol ustida, hatto cho'ntakda joylasha ola-digan kompyuterlar kirib keldi.

**Integral sxema (IS)** – bu mikroskopik qurilmalarning (diod, tranzistor va boshqalar) bitta taglikda yig'ilgan tizimidir. Ular qovurilgan kartoshka bo'lakchalariga (inglizcha **chip**) o'xshagini uchun, ba'zan ularni **chiplar** ham deb ataladi.

Yuzasi  $1\text{sm}^2$  bo'lган chipda millionlab mikroskopik qurilmalar joylashadi. Albatta bunday kichik yuzada joylashgan million tranzistorni qo'lda bir biriga ulab chiqib bo'lmaydi. Bu holatdan chiqish uchun yagona qurilmada - integral sxemada barcha yarimo'tkazgich qismlarni va ular orasidagi bog'lanishlarni bir texnologik jarayonga biriktirib ishlab chiqarish usullari paydo bo'ldi.

#### Mikrosxema qanday yasaladi?

Mikrosxema yassi platina sirtida hosil qilinganligi uchun uning yaratilish texnologiyasi "*planar*" (inglizcha "planar" – yassi so'zidan) deb nomlanadi. U **litografiya** asosida yaratiladi. "Litografiya" so'zi yunoncha "litos" – tosh va "grafio" – "yozaman" so'zlaridan olingan bo'lib, "toshga yozaman" degan ma'noni anglatadi. Mikroelektronikada litografiya yordamida yarimo'tkazgich qatlamida kerakli relyef (rasm) hosil qilinadi.

Integral mikrosxemani tayyorlash bir necha bosqichlardan iborat bo'ladi.

## 1. Taglikni tayyorlash

Odatda, taglik sifatida yer yuzida eng ko'p tarqalgan yarimo'tkazgich kremniy (Si) kristalidan foydalilaniladi. Plastina 200 mm diametrali va qalinligi 1 mm dan kichik bo'lgan disk ko'rinishda bo'ladi. Uni slindrik monokristallni kesish yo'li bilan olinadi.

Yarimo'tkazgich monokristalli xossalari kristall yo'naliishiga kuchli bog'liq bo'lganligi uchun, uni kesishdan oldin kerakli yo'naliish tanlab olinadi.

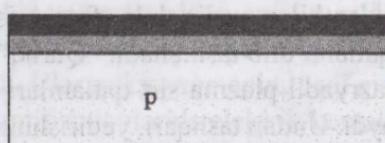
Monokristallarni kesishda o'lchami 40–60 mikron bo'lgan olmos bo'lakchalari bilan qoplangan keskich disklardan foydalilaniladi. Shuning uchun kesilgan kremniy disklari sirtida turli xil yoriqlar, chiziqlar hosil bo'lib, sirtning yassiligi va fizik - kimyoviy xossalari buziladi. Sirtning yassiligini ta'minlash uchun plastina tekislanadi va silliqlanadi.

Yarimo'tkazgich plastinalarga ishlov berish yuqori darajada tozalangan havoli maxsus kameralarda va maxsus kiyimlar kiygan holda amalga oshiriladi. Aks holda havodagi chang mikrosxemaga o'tirgach, mikrosxemadagi qismlar va bog'lanishlarni buzishi mumkin.

Tozalangan va silliqlangan kremniy plastinkasi 1000°C temperaturada, kislород atmosferasida oksidlanadi, ya'ni kislород ta'siriga duch keltiriladi. Natijada taglikning sirtida juda yupqa  $\text{SiO}_2$  qatlam hosil bo'ladi. Kremniy taglik temperaturasini va kislород atmosferasida turish vaqtini o'zgartirib kerakli qalinlikdagi oksid qatlam olishimiz mumkin. Dioksid qatlam yaxshi dielektrik bo'lib, kimyoviy chidamli, pishhiq bo'lGANI uchun, uning ostida turgan kremniy taglikni keyingi ishlov berish jarayonlarida turli xil keraksiz ta'sirlardan himoya qiladi.

### 1. Fotorezist qoplash

Oksid qatlam ostida yotgan kremniyning ma'lum bir qisimlariga ishlov berish kerak bo'lsa, u holda shu joydagi oksid qatlam olib tashlanishi zarur. Shuning uchun dioksid parda ustiga fotorezist qatlami surtiladi (4.14-rasm).



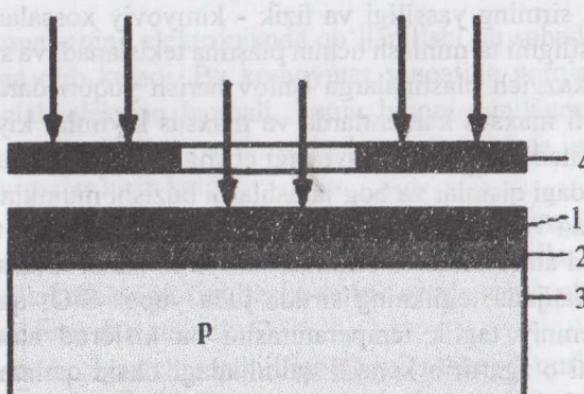
4.14-rasm. p - turdag'i kremniy taglikka qoplangan:

1 – fotorezist; 2 –  $\text{SiO}_2$  qatlam; 3 – taglik.

**Fotorezist** – bu yorug‘lik ta’sirida ma’lum bir kimyoviy moddalarda eruvchan bo‘lib qoluvchi moddadir. Fotoandoza bu shaffof va noshaffof yuzachalardan iborat plastina bo‘lib, trafaret vazifasini bajaradi.

### 3. Eksponirlash

Keyingi bosqichda – eksponirlashda fotoandoza qo‘yilgan plastinaga yorug‘lik nuri tushirilib turiladi. Fotoandozaning shaffof qismi ostidagi fotorezistlarga yorug‘lik nuri tushadi va u kimyoviy eritmalarda eruvchan bo‘lib qoladi. Shundan so‘ng kimyoviy moddalar yordamida fotorezist va uning ostidagi  $\text{SiO}_2$  qatlami olib tashlanadi. Har bir qatlarni olib tashlash uchun alohida kimyoviy modda ishlatalidi (4.15-rasm).



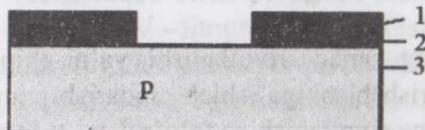
4.15-rasm. Fotorezistni andoza orqali yoritish.

### 4. Qatlamni kimyoviy yedirish

Yorug‘lik tushgan fotorezistni va uning ostidagi kremniy oksidi qatlamini olib tashlash kimyoviy yedirish deb ataladi. Bu jarayon natijasida taglikning kerakli sohasi ochiladi. Yedirish kimyoviy “ho‘l” yoki plazmali “quruq” bo‘lishi mumkin.

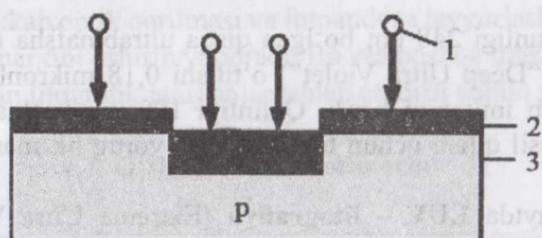
Kimyoviy suyuqliklar bilan yedirishda, fotorezist niqob bilan himoyalangan  $\text{SiO}_2$  qatlami olib tashlanadi. “Quruq” usullar samaraliroq bo‘lib, unda gazrazryadli plazma sirt qatlamlari bilan ta’sirlashib, ularni ko‘chirib tashlaydi. Undan tashqari, yedirishning ionli, kimyoviy – ionli va plazma - kimyoviy usullari mavjud.

Yedirish natijasida fotorezist himoya qilmagan yuza qismlaridan material to‘la uzoqlashtiriladi (4.16-rasm).



4.16-rasm. Yorug'lik bilan yoritish va yedirish natijasida  $\text{SiO}_2$  qatlamda ochilgan "darcha": 1 – fotorezist; 2 -  $\text{SiO}_2$  qatlami; 3 – yarimo'tkazgichli plastinka.

**5. Mikrosxema tayyorlashning oxirgi bosqichi, epitaksiya, difuziya va metallanish jarayonlaridir.** Taglik materialining kristal tuzilishiga ega bo'lgan modda qatlamlarni yo'nalgan o'stirish jarayoni epitaksiya deb ataladi (4.17-rasm).



4.17 - rasm. Plastinada ochilgan "darchada" diffuziya usulida

**n - qatlam o'stirish.** 1 – ionlar, 2 –  $\text{SiO}_2$  qatlam,  
3 – yarimo'tkazgich plastina

**Epitaksiyani** maxsus reaktorda amalga oshiriladi. U plastina sirtida tekis atom qatlamlari hosil qilish imkonini beradi.

p va n sohalarni hosil qilish uchun diffuziyadan foydalaniladi. Buning uchun kremniyga akseptor kirishma hosil qilish uchun bor (B), donor kirishma hosil qilish uchun fosfor (P) yoki arseniy (As) kiritiladi.

**Metallanish** chip tayyorlash jarayonini tugallaydi. Bu jarayon davomida taglikning ishchi qismlariga alyuminiy, oltin yoki nikeldan yupqa pardalar qoplanadi. Ular mikrosxemaning faol qismlari orasida va tashqi qurilmalarga uzatilish joylarida elektrik kontaktlar hosil qiladi.

Mikrosxemani tayyorlash bir necha texnologik bosqichlardan iborat bo'ladi: tozalash, oksidlash, litografiya va yedirish, diffuziya, cho'ktirish, metallash.

## **Litografiyani rivojlantirish**

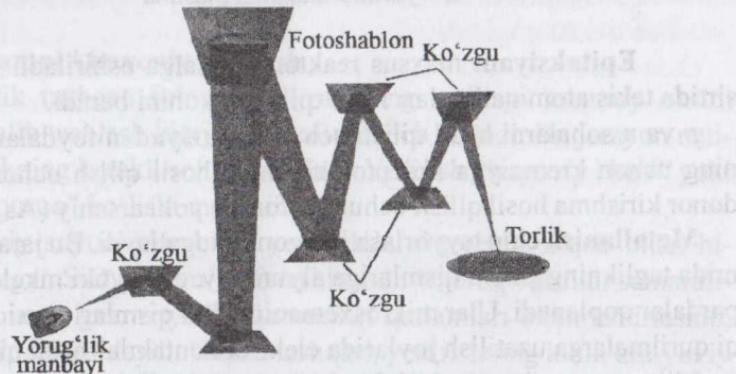
Elektronikaning yanada rivojlanishi, ya'ni chiplarning o'lchamini yanada kichraytirish hisobiga ishlab chiqarish unumini oshirish, litografiya usullarining rivojlanishiga to'g'ridan - to'g'ri bog'liqdir.

Taglikda yanada ko'p elementlar joylashtirish uchun fotoandozadagi chiziqlar qalinligi yanada kichrayishi zarur. Buning uchun yorug'lik nuri to'lqin uzunligini yanada kichraytirish kerak bo'ladi. To'lqin uzunligi qancha kichik bo'lsa, u shuncha kichik qismlarni fotorezistga "chizish" imkonini beradi.

Dastlab litografiyada to'lqin uzunligi 1 mikron bo'lgan nurlar ishlatalig'an, bunda yo'lakchalar qalinlig'i ham taxminan 1 mikronga teng bo'lar edi. Keyin 435 va 365 nm to'lqin uzunligidagi binafsha nurlar ishlatali boshlandi, yo'lakchalar qalinlig'i ham 0,35 mikron (365nm)ga cha kichraydi.

To‘lqin uzunligi 248 nm bo‘lgan qisqa ultrabinafsha nurga (**DUV** – **litografiya** “Deep Ultra Violet”) o‘tilishi 0,18 mikronli yo‘lakchalar hosil qilish imkonini berdi. Qalinligi 100 nm bo‘lgan topologik o‘lchamlar hosil qilish uchun tubdan yangi yorug’lik manbalari talab qilinadi.

Hozirgi paytda **EUV – litografiya** (Extreme Ultra Violet) jadal rivojlanmoqda. U qaliligi 70 nm li chiziqlar hosil qilish imkonini beradi, bu odam sochi qalnligidan deyarli ming marta kichikdir. EUV – litografiyada to‘lqin uzunligi 11 – 14 nm bo‘lgan nurlar, qaytaruvchil optika va fotoandoza qo‘llaniladi (4.18-rasm).



#### 4.18-rasm. Optik litografiya sxemasi.

Optik qurilma fotorezist niqob bilan yorug'lik manbayi orasidagi oynalar majmuasidan iborat. EUV – litografiyaning afzalliklarini tasavvur qilish uchun biz o'quvchiga bir necha yorqin misollar keltiramiz.

EUV – texnologiya hozirgi mikroprotsessordan 30 barobar tez ishlaydigan yaratish imkonini beradi. 10 Hz chastota bilan ishlovchi protsessor odam ko'zini yumib ochguncha (taxminan 0,2 sekund) 2 mlrd. hisoblashlar bajaradi.

EUV – litografiya kremliy taglikda o'lchami 70 nm li va bundan kichik qismlar elementlar hosil qilish imkonini beradi. EUV va DUV – litografiya yordamida chizilgan elementlar qaliligi, sharikli ruchka EUV va marker DUV yordamida chizilgan chiziqlardek bir - biridan farq qiladi.

EUV – litografiyaga o'tish 100 nm dan kichik o'lchamli elementlarni ananaviy litografiya usulida tayyorlash imkonini beradi. Lekin, bu usulning murakkab optik qurilmasi va fotoandoza tayyorlash texnologiyasi uning tan narxini oshirib yuboradi. Bu esa boshqa fizik qonuniyat-larga asoslangan litografik jarayonlar ishlab chiqish uchun yo'l ochadi.

#### 4.7. O'tkazuvchan polimerlar

Uzoq vaqt davomida mikroelektronikaning asosiy materiallari deb kremliy chiplar asosi, kontakt va yo'lakchalar uchun mis hisoblanar edi. Kompyuterda plastmassa uning monitori korpusini tayyorlash uchun ishlatalardi. Taraqqiyotning jadal borishi, o'tkazuvchan polimerlarga qiziqish ortishiga olib kelmoqda. Materialshunoslarning taxminlari bo'yicha, ular yaqin yillarda yarimo'tkazgichli texnika ishlab chiqarishda asosiy materiallardan biri bo'lib qoladi. Polimerlarning elektrik o'tkazuvchanligi to'g'risida gapirishdan oldin, avval polimer o'zi nima – degan savolga javob beraylik.

Polimerlar – bu bir xil monomer molekulalarning ko'p marta takror birikishlaridan hosil bo'lgan ulkan molekular zanjirlar, makromolekulalardir.

Polimerlarga biz oldin tanishib o'tgan, yuzlab aminokislotalardan tuzilgan oqsil molekulasi misol bo'la oladi. Tabiatda polimerlar har qadamda uchraydi. Ular har qanday mikroorganizmlar, o'simlik va hayvonlarning muhim qismidir. Masalan, sellyuloza, kraxmal, kauchuk, tabiiy saqich tabiiy polimerlarga misol bo'la oladi. Inson organizmida

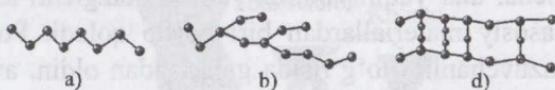
ham muskullar, teri, soch polimerlardir. Yaqin vaqtargacha polimerlarni faqat tabiat hosil qilar edi. O'tgan asning 20-yillarida inson ularning sirini aniqlab o'zi ishlab chiqara boshladи. Sun'iy polimerlar polietilen, kapron, neylon va boshqa plasmassalar ko'rinishida bizning hayotimizga kirib keldi. Bugungi kunda o'zlarining ajoyib xossalariга ko'ra ular hamma joyda yog'och, metall va shisha o'mini bosmoqda. Plastmassalar namlikdan, kuchli kislotalardan qo'rqlaydi, zanglamaydi, chirimaydi. Ular arzon uglevodorod xomashyosidan tayyorlanadi.

Polimer zanjirlari uzunligini va to'qilishini o'zgartirib plastmassalarning pishshiqligi va elastikligini o'zgartirish mumkin.

Polimer zanjiriga yana bitta halqa qo'shish yoki ozgina kirishma kiritish bilan ularda yangi xossalari paydo qilish mumkin. Ba'zi polimerlarning pishshiqligi po'latniki bilan taqqoslanarli bo'lsa, ba'zilarining elastikligi rezinanikidan ham yaxshi, boshqasi xuddi xrustaldek shaffof, lekin sinmaydi. Ba'zi polimerlar issiqlik ta'sirida tezda parchalansa, ba'zilari juda yuqori temperaturalarga ham chiday oladi. Buni bilgan holda olimlar bugungi kunda yuz minglab xil polimerlar hosil qilishadi.

### Polimerlarning tuzilishi va tarkibi

Makromolekulada bir turdagи atomlar yoki atomlar guruhi chiziqiy, tarmoqlangan yoki fazaviy tuzilish hosil qilib birikishlari mumkin. Tabiiy kauchuk chiziqiy polimerlarga misol bo'la oladi. *Tarmoqlangan* polimerga – amilopektin, *murakkab fazaviy tuzilishlarga* nanonaychalar misol bo'la oladi (4.19-rasm).



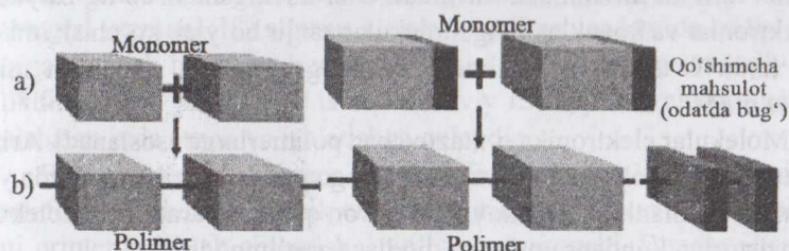
4.19-rasm. Polimerlarning turli tuzilishlari.

a) chiziqiy; b) tarmoqlangan; d) fazoviy.

### Polimerlarning hosil bo'lishi

Tabiiy polimerlar tirik organizmlar xujayralarida biosintez jaryonida hosil bo'ladi. Ular o'simlik va hayvonlardan olinishi mumkin. Sun'iy polimerlarni olish kimyoiy *polimerlanish* va *polikondensatsiya* jarayonlari asosida amalga oshiriladi. Polimerlash reaksiyasida oddiy

– monomer molekulalarni birikishidan yangi katta molekular massaga ega bo‘lgan makromolekula hosil bo‘ladi. Makromolekula va monomerning tarkiblari bir xildir. 4.20 - rasmida polimerlanish (a) va polikondensatsiya (b) reaksiyalarining shartli sxemasi ko‘rsatilgan(4.20-rasm).



4.20-rasm. Polimerlar hosil bo‘lish reaksiyaları:

a) polimerlanish; b) polikondensatsiya.

### Polimerlar elektr o‘tkazuvchanligi

Sintetik polimerlarning eng ajoyib xossalardan biri deb yaqin vaqtgacha ularning elektr tokini umuman o‘tkazmasligi hisoblanar edi. Tarkibidagi makromolekulalar mustahkam kovalent bog‘ hosil qilgan atomlardan tuzilganligi uchun plastmassalar yaxshi dielektriklardir.

Lekin, 2000-yil Nobel mukofoti sovrindorilar bo‘lgan Alan Mak Dayarmid (AQSH), Alan Xigeru (AQSH) va Xudeki Shirakava (Yaponiya) larning olamshumul ishlari hamma ko‘nikib qolgan nuqtayi nazarni tubdan o‘zgartirib yubordi. Bu olimlar birinchi marta plastmassani elektrik o‘tkazuvchan materialga aylantirishdi.

Tarixda ko‘p marta uchragandek, bu kashfiyotga ham tasodif sababchi bo‘ldi. Shirakavaning talabasi plastmassa bo‘lagi turgan idishga adashib, ko‘proq katolizator qo‘sib yuboradi, natijada rangsiz bo‘lgan plastmassa birdan, xuddi kumushdek, yorug‘lik nurlarini qaytara boshlaydi. Bu hodisa plastmassa elektr toki o‘tkazishi ham mumkin degan fikrga olib keladi.

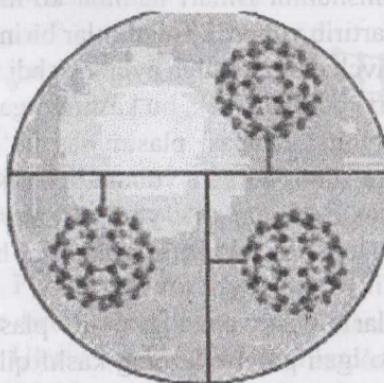
Keyingi izlanishlar o‘tkazuvchanligi oddiy plastiknikidan o‘n million marta yuqori bo‘lgan polimerlarning kashf qilinishiga olib keldi. Bu kashfiyot XXI asrning organik materiallarga asoslangan yangi elektronikasiga yo‘l ochib berdi. Organik materiallar kremniyga nisbatan yengil va egiluvchan bo‘lib, ularga kerakli shaklni berish juda osondir.

O'tkazuvchan polimerlar qanday tuzilgan? Qisqacha aytganda, ular asosini ikkilangan uglerod bog'lari ketma-ket keluvchi moddalar tashkil qiladi. Toza ko'rinishda ular tok o'tkazmaydi, chunki barcha elektronlar kovalent bog'larda o'rnlashgan. Elektronlarni ozod etish uchun turli xil kirishmalar kiritiladi. Ular kiritilgandan so'ng zaryadlar (elektronlar va kovaklar)ning molekular zanjir bo'ylab ko'chish imkonini tug'iladi. O'tkazuvchi polimerlarga keng tarqalgan polianilin misol bo'la oladi.

Molekular elektronika o'tkazuvchan polimerlarga asoslanadi. Arizona universiteti olimlari yettita anilin fragmentidan tuzilgan modda yordamida kuchlanishni chekllovchi elektron qurilma yaratdilar. Molekular tranzistorlar, kondensatorlar va diodlar yaratilmoqda.

Amerikaning Superconnect kompaniyasi ishlab chiqqan material kelajakda internet ma'lumotlarini uzatish tezligini 100 marta oshiradi! Bu fullerenlar bilan yelimlangan maxsus polimer bo'lib, u bir yorug'lik dastasi yordamida boshqa yorug'lik dastasini boshqaradi (ya'ni, fotonli tranzistor).

Bu internetda ishlovchi birinchi to'la optik izlagichdir. Hozir ma'lumotlar oqimini boshqarish uchun optik tolalar orqali uzatilayotgan signalarni elektrik impulsiga aylantirilmoqda. Chiplar yordamida axborot ma'lum bir kanallarga yo'naltirilib, keyin yana yorug'lik impulsiliga aylantiriladi va optik tolalar yordamida kerakli manzilga uzatiladi (4.21-rasm).

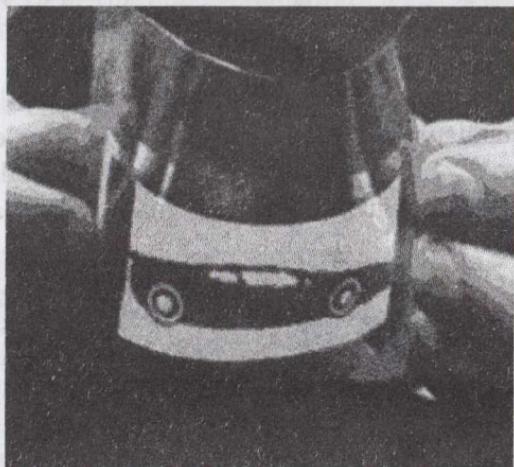


4.21-rasm. Fullerenlar va polimer zanjirlar birikmasi – o'ta tezkor optik ulagichlar kalitidir.

Bunday elektron – optik almashtirgichlar internet tezligini pasaytiradi. Ularni to‘la optik izlagichlarga o‘tkazish, ma’lumotlar uzatishni 100 marta tezlashtiradi.

Polimerlarning arzonligi organik elektronika qo‘llanilishi uchun yangi sohalarni ochmoqda. Masalan, bunday polimerlar bilan ixtiyoriy integral sxemani (IS) maxsus kimyoviy eritma yordamida oddiy printer orqali yozish imkonini beradi. Bu ulkan texnologik va iqtisodiy afzallikdir, chunki printer sodda va ananaviy IS tayyorlovchi qurilmalarga nisbatan juda arzon va ishlatalishga qulaydir.

Britaniyaning Cambrige Display Technologies kompaniyasi uyali telefonlar va boshqa kichik elektron qurilmalar uchun videodisplaylar ni printerda ishlab chiqarishni yo‘lga qo‘ymoqchi. Bunday displaylar uchun yangi elektron va kovaklar rekombinatsiyasi natijasida nurlanuvchi polimerlar asosiy material bo‘lib xizmat qiladi. Tez orada yangi plastikli monitorlarni polimer matritsa asosida ommaviy ishlab chiqarish kutilmoqda.



4.22-rasm. O‘tkazuvchan polimer asosida tayyorlangan egiluvchan monitor namoyishi.

4.22-rasmda Universal Display kompaniyasi ishlab chiqqan displayning laboratoriya namunasi tasvirlangan.

Agar printerda ham o‘tkazgichlar, ham polimerlar, displaylari muhirlash mumkin bo‘lsa, nima uchun printering o‘zini pechat qilib

bo'lmas ekan? RepRap – loyihasi ko'ngillilari aynan shu maqsadni ko'zlagan. Ular o'zini qayta pechatlovchi printer ustida ish olib bor-moqdalar. Bunday printerlar o'zining barcha (detallari) ehtiyyot qismalarining o'tkazgich, yarimo'tkazgich va o'tkazmaydigan polimerlar yordamida nusxasini ko'paytirishi mumkin. Albatta bunday printerlar yordamida faqat printerlarni ko'paytiribgina qolmasdan, raqamli videokamera, yoki uyali telefonni ham "muhirlash" mumkin bo'ladi.

## 4.8. MEMS va NEMS texnologiyalar paydo bo'lishi va rivojlanishi

Yuqorida biz yarimo'tkazgichli elektronikaning qisqacha rivojlanish tarixini ko'rib chiqdik. MEMS texnologiyalar paydo bo'lishi va rivojlanishi yarimo'tkazgichli texnika evolutsiyasida yangi qadam bo'ldi. "MEMS" inglizcha qisqartirma "mikroelektromexanik sistema" deb tarjima qilinadi (MEMS). Mos holda "NEMS" qisqartmasi "nanoelektromexanik sistema"dir (NEMS). "Mikro" va "nano" qo'shimchalari bizga ma'lum bo'lgan qurilma qismlari o'lchamlarini ifodalaydi. Avval *elektromexanik sistema* nima ekanligini tushunib olaylik.

Zamonaviy elektrotexnikaga buyuk ingliz fizigi Maykl Faradey asos solgan desak mubolag'a bo'lmaydi. 1873-yili Faradey elektromagnitik induksiya hodisasini kashf etgan edi. Uning ma'nosi juda soddaligiga agar metall o'tkazgich simli ramkasini magnitik maydonda aylantirsak, ram-kada elektr toki paydo bo'ladi.

Aksincha, magnitik maydonga kiritilgan simli ramkadan tok o'tkazilsa u aylana boshlaydi. Bu oddiy elektroharakatlantirgich ishlashini namoyish qiladi, bunday aylanayotgan ramka rotor vazifasini bajaradi. Magnitik maydonda aylanayotgan metall ramka elektr toki generatorining modelidir.

Ko'rinish turibdiki, yuqoridagi jarayonlarni bir-biri bilan o'zaro almashtirish mumkin. Ya'ni bitta elektromexanik sistemani ham generator, ham harakatlantirgich sifatida ishlatish mumkin. Fan va texnika rivojinинг hozirgi darajasida millimetrlardan yoki bir necha yuz mikron o'lchamda elektromexanik tizimlar yaratish qiyinchilik tug'dirmaydi. Bunday qurilmalar mikro- va nanoelektromexanik tizimlar deb nomlanadi.

MEMS lar – kremniy taglikda yasalgan mikroobyeqt va mikromashinalar bo'lib, ularga motorlar, nasoslar, turbinalar, mikrorobotlar,

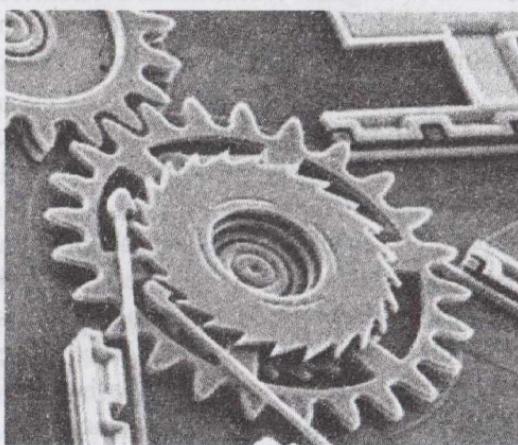
mikrodatchiklar va butun boshli analitik mikrolaboratoriylar kiradi.

Ularnig o‘lchami gugurt cho‘pi uchidan kichik bo‘lishi mumkin. Shuning uchun MEMS lar ishlatalishi ananaviy elektron texnika qurilmalari massasi, o‘lchami va narxini keskin kamaytiradi.

Birinchi marta bunday qurilmalar imkoniyatlari haqida 1959-yili gapira boshlangan edi. MEMS larning laboratoriya “o‘yinchoqlaridan” haqiqiy bozor talabiga javob beradigan mahsulotga aylangunicha 40 yil vaqt o‘tdi. Faqat XX asrning 90-yilari oxirida MEMS larni sanoatda ishlab chiqarish boshlandi. Hozirda MEMS lar inson faoliyatining turli sohalarida: telekomunikatsiyada, tibbiyot va transportda keng ishlatalmoqda. MEMS lar bugun nanotexnologiyalar rivojida muhim o‘rin tutmoqda. Aynan shunday tizimlar negizida nanomanipulator va nano-robotlar yaratish rivojlantirilmoqda.

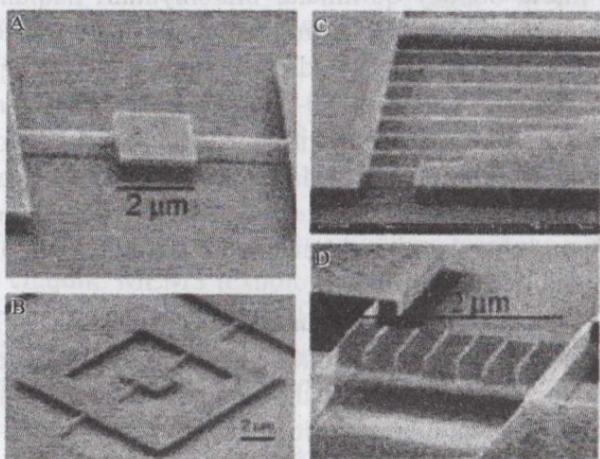
Ananaviy mikroprotsessor ma’lum bir algoritm bo‘yicha hisob - kiptoblarni bajarib, natijani raqam sifatida chiqarib berishga qodir xolos. MEMS lar esa hisoblabgina qolmasdan, yana ba’zi bir harakatlarni ham bajarishi mumkin, ya’ni ular mikrorobotlardir.

Agar IS lar faqat “o‘yash”ga qodir bo‘lsa, MEMS lar tashqi dunyoni “sezish”, u bilan aloqa qilish imkoniyatiga ega. Shuning uchun MEMS lar yarimo‘tkazgichlar inqilobining yangi to‘lqini desak mubolog‘a bo‘lmaydi. Mikroelektronika o‘z paytida fan va texnikaning yetakchi sohalariga qanday ta’sir qilgan bo‘lsa, MEMS lar ham shunday ta’sir o‘tkazishi kutilmoqda (4.23-rasm).



4.23-rasm. Zamonaviy MEMS qurilmasi.

MEMS larni tayyorlash, mikrosxema tayyorlashga o'xshab ketadi. Bu yerda ham mikroelektronikada shuhrat qozongan kremniy materiali ishlataladi. MEMS ni yasash texnologiyasi esa IS tayyorlashni eslatadi (4.24-rasm)



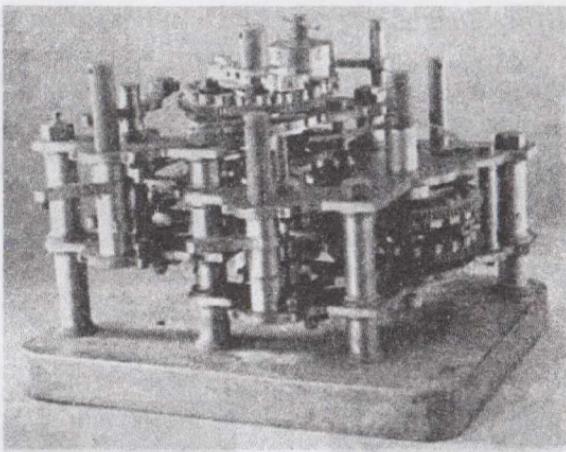
4.24-rasm. Tayyorlangan MEMS lar.

Ikkalasini tayyorlashda ham yagona texnologik jarayon ishlataladi. Planar texnologiyada ham, MEMS da ham materiallarni olib tashlash jarayonlari mavjud.

Odatda, mikromexanik qurilmalarni tayyorlash mikrosxemaga nisbatan ancha qalin parda, chuqurroq yedirishni talab qiladi. Uning bosqichlari esa ko'proq bo'ladi.

Shunisi qiziqarlikli, MEMS lar faqtgina mikro- va nanorobotlarning sezgi organlari va mushaklari bo'libgina qolmasdan, nanokompyuterlar asosi ham bo'lislari mumkin.

Kompyuterlar paydo bo'lishi XIX asrda Charlz Bebbijning universal mexanik mashinasidan boshlanadi. 1833-yili Kembridj universiteti professori, ingliz olimi Charlz Bebbij xotira va programmalashtirish qurilmalariga ega bo'lgan ulkan mexanik arifmetik ixtiro qilgan. Bebbijning analitik mashinasi hozirgi zamон programmali boshqariluvchi kompyuterlarning dastlabkisi bo'ldi. Bu g'ayri oddiy mashina to'la mexanik qurilma edi. Shunga qaramasdan u oddiy arifmetik va mantiqiy amallarni bajarishi va olingen natijalarni saqlashi mumkin edi(4.25-rasm).



4.25-rasm. Charlz Bebbij mashinasasi.

Olimlar hozirda nanoo'lchamli Bebbij mashinasini yaratmoqchilar.

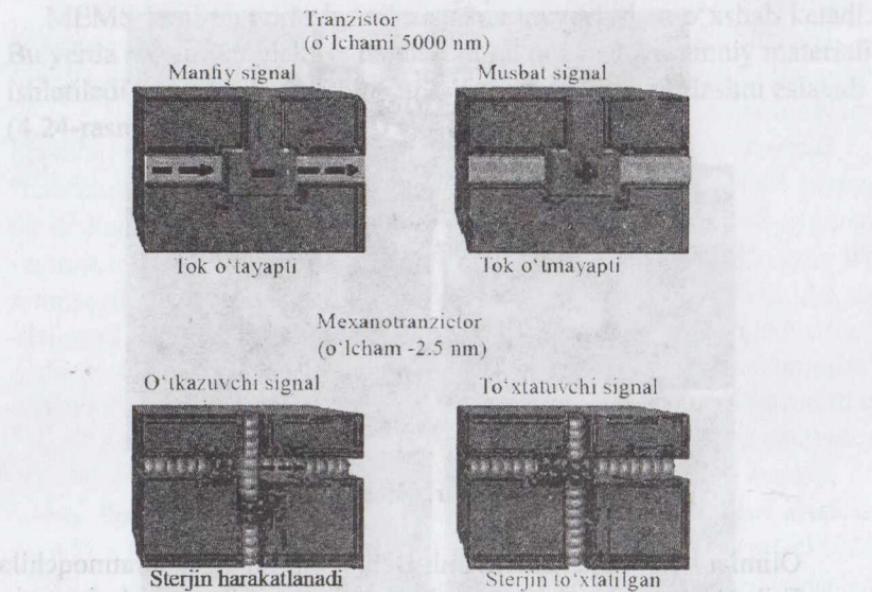
Erik Dreksler barcha mantiqiy amallar va ularni saqlash sterjenerlar tizimi harakati tufayli amalga oshiriladigan juda kichik o'lchamli mexanokompyuter loyihasini taklif qildi. Dreksler mexanotranzistorlar yordamida ishlaydigan, o'lchamlari  $400 \times 400 \times 400$  nm bo'lgan bunday kompyutering bat afsil qilingan tavsifini keltiradi. Nanotexnologiyalar yordamida o'zgartirilgan materiallar (masalan, olmos va sapfir) yordamida informatsiya almashinuvni tezligini yetarlicha oshirish mumkin.

Bunda uning hisoblash quvvati bir sekundda  $10^{16}$  ta operatsiyaga tengdir. Bu takt chastotasi 1Hz bo'lgan hozirgi Pentium IV kompyuterlari bilan bir xildir. Bunday mexanokompyuter o'lchami qondagi eritrotsitlar o'lchamidan 10–15 marta kichik bo'ladi.

Agar bunday nanoqurilmalarni axborot saqlash uchun ishlatsa, hosil bo'lgan mexanik xotira zichligi hozirgi elektromagnitik xotirani-kidan yuqori bo'ladi.

Mexanik xotira o'zining zichligi bo'yicha eng zamonaviy texnologiyalar bo'yicha qilingan chegaraviy magnitik xotiralardan ham o'zib ketishi ehtimoldan xoli emas.

Mexanik xotira sekundiga million va milliard sikllar bajarishi mumkin. Moxantining fikricha, bu yangi xotiralarning mexanik kalitlari ularning elektron ko'rinishidan million marta kam energiya iste'mol qiladi (4.26-rasm).



4.26-rasm. mexanotranzistorning ishlash qonuniyati.

Mexanik xotira mantiqiy katagi yasalishini ko'rib chiqamiz. Elektron – nur litografiyasi MEMS va nanotexnologiyalar tomonidan anchadan buyon ishlab chiqarish jarayonida qo'llaniladi. Undan mikroelektronika sxemalari va mikropotsessorlarni ommaviy ishlab chiqarishda ko'p foydalaniлади. Mexanik xotirani ommaviy ishlab chiqarish uchun shuning o'zi yetarli bo'lib, qo'shimcha boshqa litografiya qurilmalarining keragi yo'qdir.

Mexanik xotiraning yolg'iz katagi nanometr o'lchamli tordan iborat. Bu torning ikki chetiga bir necha megagers chastotali kuchlanish berilganda, kuchlanishning ma'lum bir amplitudasida tor "1" yoki "0" holatni egallaydi. Bu informatsiyani saqlash uchun kifoya qiladi.

Xotira katagidagi torning o'lchami kichikligi uchun qurilma yuqori chastotali signallarda (tajribalarda – 23,57 Hz gacha) ishlash imkonini beradi. Bu chastota yozilgan informatsiyani o'qish tezligini anglatadi. Taqqoslash uchun aytib o'tamiz, zamonaviy noutbuklarning vinches-teridagi (magnit xotirasidagi) axborotni o'qish tezligi bir necha yuz

kilogersga teng. Tadqiqotchilar fikricha, nanomexanik kalitlarning ishlash tezligi sekundiga milliard siklgacha yetishi mumkin (4.27-rasm).

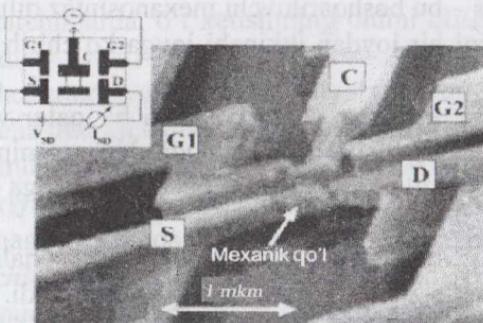


4.27-rasm. MEMS xotira yacheykasi.

Ularning o'lchami esa ekperimental namunalaridan ham kichik bo'lishi mumkin.

Nanomexanik xotiralarning nanoelektronikaga nisbatan yana bir afzalligi shuki, nanotorning tebranish diopazoni bir necha angstromni tashkil qiladi. Nanotorlarning shu diapazonda atigi bir necha femtovatt elektroenergiya ishlatsa, hozirgi xotira kalitlari millivattlarda iste'mol qiladi. Mexanik xotiralar o'lchamini hech narsa chegaralamaydi. Magnetik xotiralarning esa superparamagnitik effekt bilan o'lchami chegaralanadi.

Mexanik va elektron hisoblashlarni umumlashtirgan gibriz NEMS tranzistorlar zaryad tashuvchilarni mexanik usulda tashish qonuniyatiga asosan ishlaydi. Bunga bir misol keltiramiz. 2001-yili AQSHning Viskonsina shtatida Robert Blayk elektromexanik mayatnikni namoyish etdi. U radiochastotalar diapazonida tebranib, bir elektronni u elektronidan bunisiga mexanik ko'chira oldi (4.28-rasm).



4.28-rasm. Blaykning nanomexanik ossillyatori.

Qurilma o'rtasida "mexanik qo'l" deb nomlangan tebranuvchi mayatnik. Agar G1 va G2 nuqtalarga o'zgaruvchan kuchlanish qo'yilsa, mayatnik o'zgaruvchan kuchlanish chastotasiga proporsional chastota bilan tebranadi. Ishchi qurilmada mayatnik 100 Hz chastota bilan tebrangan. Mayatnik – C, G1, G2, C va D elektrodlardan izolatsiyalangan hamda yerga ulangan. C va D elektrodlar tranzistorlarda paynov va manbalarga mos keladi. Mayatnik C elektrodga tekkan zahoti tunnel effekti tufayli bitta elektron C dan mayatnikka o'tadi, keyin mayatnik yordamida D nuqtaga uzatiladi. Sxemada tranzistorga ulangan kuchlanish manbai  $V_{SD}$  va elektron tashish natijasida hosil bo'luvchi tok  $I_{SD}$  ni o'chovchi asbob tasvirlangan.

Tadqiqotchilar ossillyatorni SOI (silicon – on insulator: kremniy qatlamli izolator qatlami ustida) texnologiyasi bo'yicha bir necha bosqichda tayyorlaganlar. Oldin elektron – nur litografiyasi yordamida kremniy sirtiga oltindan niqob qilingan. Yedirib tashlanadigan qismlari uchun alyuminiy niqob qoplangan. Keyin yedirish yordamida mexanik mayatnik va uning tunnel kontaktlari 10 nm aniqlikda hosil qilingan.

Oddiy mikroelektron tranzistorlarda "1" va "0" holatlarni hosil qilish uchun 100000 tacha elektronlar o'tishi zarur. Yangi elektromexanik tranzistorda buning uchun *bitta elektron* kifoya qiladi. Yangi qurilmaning afzalliklaridan biri unda issiqlik ta'sirida shovqinlar yo'qligidir, chunki, paynov va manbalar bir-biridan mexanik ajratilgan. Bu tranzistorlarda qilingan qurilmalarda energiya iste'moli ancha kamdir.

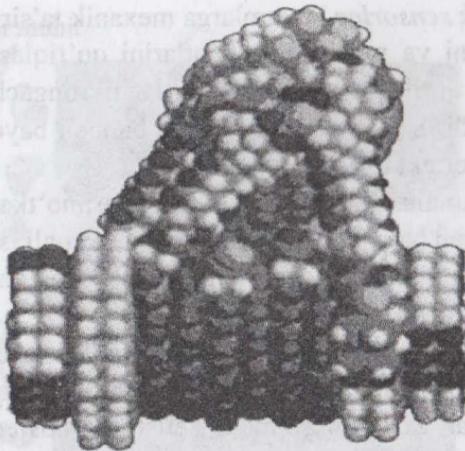
Blayk fikricha, u yaratgan mayatnik radioaktivligi yuqori bo'lgan joylarda ham ishlay oladi. Shuning uchun bunday mexanik tranzistorlarni sun'iy yo'ldoshlarda qo'llanilishi kutilmoqda.

NEMS lar yordamida nanomanipulyatorlar ham yaratish mumkin. Nanomanipulator – bu boshqariluvechi mexanosintez qiluvchi yoki alohida molekulalarni bir joydan ikkinchi joyga ko'chirib oluvchi qurilmadir.

Hozir bunday qurilmalar yaratish ustida bir qator yirik kompaniyalar va laboratoriylar ish olib bormoqda. Nanomanipulyatorlarning loyihalari ishlab chiqilgan, lekin hali hech bir amalga oshirilganicha yo'q.

MEMS va NEMS qurilmalarining qo'llanish sohalari shunchalar ko'pkisi, ularni faqat bizning tasavvurimizgina cheklaydi.

Bugungi kunda MEMS texnologiyalarining samarali qo'llanilishlari – datchiklar va sensorlardir (4.29-rasm).



4.29-rasm. Dreksler nanomanipulatori modeli.

## 4.9. Sensorlar

Insoniyat rivojlangan sari ming yillardan buyon biologik organizmlarda, jumladan, inson organizmida ishlayotgan tabiiy mexanizmlar ishlashini tushinishga va o'zlashtirishga harakat qilib keladi.

Bunday intilishlar ba'zan odam va hayvonlar sezgi a'zolarini takrorlovchi elektron qurilmalar yaratishga olib keladi.

Ushbu qurilmalar, asosan, tashqi ta'sirga sezgir **sensorlar** (inglizcha "sense" – "sezish") yoki datchiklar tashkil qiladi. Bunday qurilmalar hozir avtomabillarda, musiqa markazlarida, muzlatkichlarda va boshqa turmush asboblarida qo'llanilmoqda. Datchiklar qo'riqlash uskunalarida, seysmo – datchiklarda, o't ketishining oldini olishda, tibbiyotda keng foydalaniladi.

Bugungi kunda ultratovush sensorlari juda shuhrat qozongan. Ishlash qonuniyati bo'yicha ular kichkina motorni eslatadi. Ular tarqatayotgan ultratovush to'lqinlari xonaning har qanday burchaklariga kirib boradi.

Xona geometriyasidagi ozgina o'zgarish, masalan, biror kutilmagan mehmonning xonaga kirishi, darxol signal qurilmasini ishga soladi.

*Infraqizil datchiklarning ishlash qonuniyatları ham shunga o'xshash. O'zidan issiqlik nurlanishi chiqaruvchi obyektlar (masalan, odam yoki hayvon) datchikning ishlash zonasiga kirib qolsa, u signal beradi.*

*Poyezoelektrik sensorlar* buyumlarga mexanik ta'sirni sezish uchun ishlatalib, seyflarni va muzey eksponatlarini qo'riqlashda ishlataladi. Bunday MEMS qurilmalar buyumdag'i 1 mikrongacha bo'lgan siljislarni sezaladi. Sensor birinchi bobda batafsil bayon qilinib o'tilgan pezoelektrik effekt asosida ishlaydi.

Hozir juda ommalashgan *gazli sensorlar* yarimo'tkazgich membrana orqali o'tayotgan havo tarkibini analiz qilish orqali ishlaydi. Sensorga kirayotgan havo molekulalari o'lchagich elektrod yaqinida joylashgan elektrolit bilan reaksiyaga kirishadi.

Reaksiya natijasida hosil bo'lgan elektr toki o'lchanib, atmosfera tarkibida u yoki bu modda borligi haqida xulosa chiqarish mumkin. Bunday qurilmalar gazlarning chiqib ketishi, atmosferada zaharli va portlovchi gazlar (masalan, vodorod) bor - yo'qligini aniqlash imkonini beradi.

*Nanosensorlar* – bu nanomasshtablardagi effektlarda ishlaydigan sezgir elementlardir. Bugungi kunda nanosensorlar murakkab qurilmalar holatini aniqlash, uy ro'zg'or texnikasi va biomatbiyyotda keng qo'llanilmoqda.

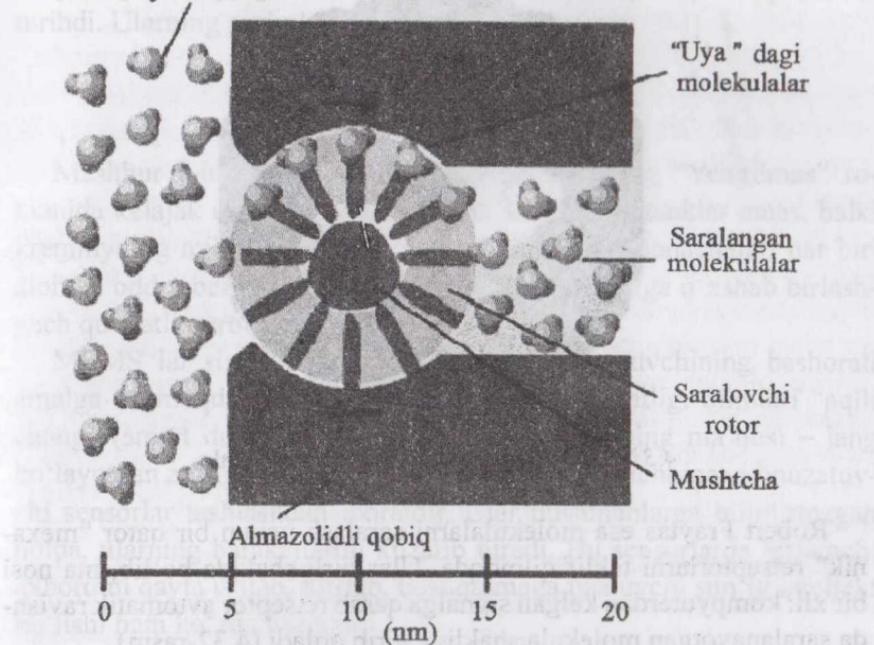
NEMS lar yordamida faqat bir turdag'i molekulalarni ajratuvchi nanoretseptor ishlashini ko'rib chiqamiz.

Qanday qilib faqat markaziy kompyuter tanlagan molekulalarni ajratib oluvchi programmalashtirilgan nanoretseptor yaratish mumkin?

Saralash qanchalik toza bo'ladi? Bu savollarning barchasiga nanoretseptorlar va nanostrukturalarni matematik modellash yordamida javob topsa bo'ladi. Molekular saralovchi rotor (MSR) deb nomlangan mumtoz nanoretseptor Erik Dreksler tomonidan taklif qilingan.

Unda har bir rotor ma'lum bir molekulalarga mo'ljalangan "uyacha-larga" egadir. Turli xil molekulalar ichida turgan "uyacha" faqat tanlangan molekulani tutib qoladi va uni qurilma ichiga kirib ketguncha ushlab turadi. Bunday rotorlar  $10^5$  ta atomlardan tuzilgan bo'lib,  $7 \times 14 \times 14$  nm o'lchamga va  $2 \cdot 10^{-21}$  kg massaga ega bo'ladi. Ular atomlar soni 20 tadan oshmagan molekulalarni  $10^6$  molekula/sek tezlik bilan va bir molekulaga  $10^{-22}$  J energiya sarifida ishlashi mumkin. MSR  $10^{19}$  Vt energiya iste'mol qilgan holda 30000 atmosferagacha bosim hosil qilishi mumkin (4.30-rasm).

## Molekulyar muhit



4.30-rasm. Molekular saralovchi rotor.

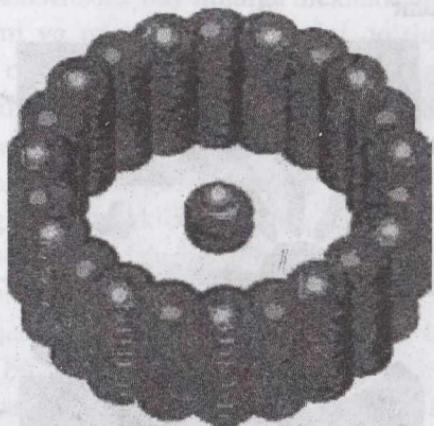
Rotor to‘liq qayta tiklanuvchi bo‘lib, gaz, suv va glyukoza molekulalarini damlash yoki chiqarish uchun ishlatalishi mumkin. Har bir rotor uning uzunasi bo‘ylab joylashgan molekulalarni tutib olish uchun 12 ta “uyachadan” iboratdir. MSR katta idishlarga birorta ham begona molekulasi yo‘q, kimyoviy toza moddalarni damlash imkonini beradi.

Rotorlarning “uyachalari” maxsus tuzilishga ega bo‘lib, ular ba’zi fermentlarning faol markazlari singari, atomma - atom yig‘iladi. Masalan, geksokinaz fermenti glyukoza uchun “uyacha” bo‘ladi.

Erik Drekslerning hamkasbi va Xerox kompaniyasi tadqiqotchisi Ralf Merkle uzunchoq, chiziqli molekulalarni “tutuvchi uyachalar” uchun nanonaychalardan foydalanish mumkin deb taxmin qiladi. Ralf turli uzun molekulalar uchun zarur bo‘lgan nanonaychalar o‘lchamlarini hisoblab chiqdi. Bunday nanonaychali retseptor 4.31-rasmda ko‘rsatilgandek bo‘lishi mumkin.

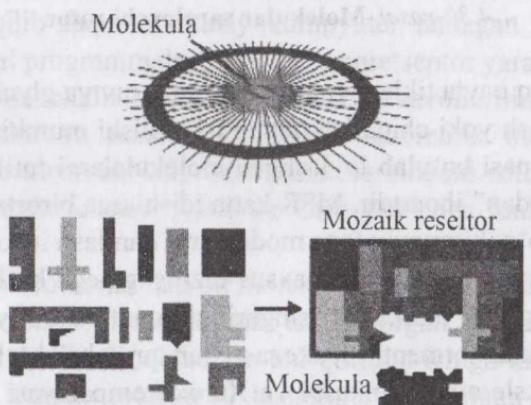
Poyezdelektrik elementlarning mexaliq qurilishiga oʻsish  
ishlatilish, xalqaro va  
Bor-ligab Maydon  
just molikelarni  
gen pozitiv elektrik  
sezgir juda oʻs  
na oʻsasini tayot  
ga kimesadi.  
molikelarni  
gen elektronlari

Koʻrsatva nat  
turkibida u yoki  
Insonning  
partovchilik  
yoki



4.31-rasm. Nanonaycha “uya” vazifasida.

Robert Fraytas esa molekulalarni saralash uchun bir qator “mexanik” retseptorlarni taklif qilmoqda. Ular turli shaklda bo’lib, ma’nosini bir xil: kompyuterdan kelgan signalga qarab retseptor avtomatik ravishda saralanayotgan molekula shakliga kirib qoladi (4.32-rasm).



4.32-rasm. Fraytasning saralovchi retseptori.

Bir qurilmada MEMS lar, elektronika va sezgir nanoelementlarning  
birikishi, juda ko’p qiziqarli ilmiy loyihalarni keltirib chiqardi. Ular-

ning ko‘plari hayotga tatbiq etildi, ba’zilari esa qo‘llanilish arafasida turibdi. Ularning ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

#### 4.10 “Aqlli chang” loyihasi.

Mashhur fantastik yozuvchi Stanislav Lemning “Yengilmas” romanida kelajak qurollari ulkan kosmik kema yoki tanklar emas, balki kremniyning mikroskopik zarralari edi. Bu kvars donachalari har biri alohida oddiy bezarar qum bo‘lib, ular chang bulutga o‘xshab birlashgach quvvatli qurolga aylanar edi.

MEMS lar rivojlanishi natijasida fantast yozuvchining bashorati amalga oshmoqda. 1998-yili DARPA harbiy agentligi olimlari “aqlli chang” (smart dust) loyihasini ilgari surdilar. Uning ma’nosи – jang bo‘layotgan zonaga samolyot yordamida minglab kichkina radiouzatuvchi sensorlar tashlashdan iboratdir. Ular dushmanlarga bilintirmagan holda, ularning harakatlarini kuzatib turadi. Bu sensorlarda birlamchi axborotni qayta ishlab, filtrlab, boshqarmaga uzatuvchi sun’iy intellekt bo‘lishi ham ko‘zda tutilgan.

Bu sohada eng sermahsul ishlanmalardan biri Kaliforniyadagi Berkli universiteti bilan Intel korporatsiyasining birgalikdagi **Motes** (inglizcha “chang”) nomli aqlli sensorlarni yaratilishi bo‘ldi. Xo’sh, bu aqlli “changchalar” nimadan iborat?

Bu o‘lchami aspirin tabletkasicha bo‘lgan, har qanday sharoitda avtonom ishlay oladigan, radioto‘lqinlar orqali mahalliy lokal tarmoqqa birlashib, markaziy kompyuterga axborot yetkazib beruvchi qurilmalardir.

Tadqiqotchilar bir necha yuzta shunday “aqlli chang” larning tajriba namunalarini yaratdilar. Barcha “changchalar” sensorlar va radiouzatkichlar bilan jihozlangan. Ular ma’lumotlarni zanjir bo‘yicha bir “changchadan” ikkinchisiga uzatadi. “Chang” ning xotira hajmi bir necha kilobayt bo‘lgani uchun, ularni birgalikda ishlashlari uchun 200 baytli fayllar bilan ishlovchi “kichkina” TinyOS nomli operatsion sistema ishlab chiqilgan.

Bu operatsion sistema TinyDB ma’lumotlar bazasiga mos kelib, tarmoq ichidagi ma’lumotlarni qayta ishlashga mo‘ljallangan. Bu “chang” larning tok manbalari bir necha yilga yetadi. Ularning bunday uzoq ishlashiga sabab, “chang” lar doim ishchi holatda turmaydi, ular qisqa

vaqtga ulanib, kerakli ma'lumotlarni yig'adi va bazaga uzatiladi, keyin yana "uyquga" ketadi.

Chang zarralarining lokal tarmog'i oddiy mantiqiy "lokal qoidalar" asosida ishlaydi. Joylarda minglab insonlar, shlyuz yo'naltiruvchilar ishlayotganda, har bir sensor qoidaga asosan "eng yaqin shlyuz" bilan aloqa o'rnatadi. Natijada barcha sensorlar avtomatik ravishda eng yaqin shlyuzlar atrofida to'planadi.

"Aqli chang" birinchi marta 2001-yili mart oyida Kaliforniyadagi harbiy bazada sinovdan o'tkazildi. Samolyotdan poligonga 6 ta "aqli chang" tashlandi. Yerga tushiboq ular simsiz tarmoqqa birikib o'zlarini atrofidagi magnitik maydon kuchlanganligini o'lchashga kirishdilar.

Ular oldidan avtomashina o'tgach, birgalashib uning tezligi va harakat yo'nalishini aniqladi va barcha ma'lumotlarni eng yaqin lagarda joylashgan kompyuterga yetkazishdi.

### **"Aqli chang" ning qo'llanilish sohalari**

O'zining simsiz ulanishi, avtonomligi, kichikligi, ko'pligi, ishonech-liligi va nisbatan arzonligi tufayli "aqli chang" odamlarning kundalik hayotiga shiddat bilan kirib kelmoqda.

Harbiy va politsiya sohasidan tashqari, o'zaro uyushgan sensor tar-moqlari tinch maqsadlarda ishlatalishi ham mumkin. Bu atrof- muhitni kuzatishdan tortib, qari odamlarga qarashgacha bo'lgan turli vazifalaridir.

Biz faqat yuqori ijobiy natijalar bergen bir qancha misollarni keltirib o'tamiz.

Men shtatidan 12 kilometrda joylashgan Yovvoyi O'rdak oroli har yili yozda bolalash uchun uchib keladigan minglab dengiz qushlari bilan qoplanadi. Ornitolog Jon Anderson bu qushlar nechtadan bolalashi va buning uchun qanday sharoit bo'lish kerakligini aniqlash uchun, charchab - tolib va qushlar tinchligini buzgan holda, minglab uyalarni ko'zdan kechirib chiqar edi. Ikki yil oldin ular orolga "aqli chang" lar tarmog'ini sepib yuborgach va bazaviy kompyuterni internetga ulagach, ularning faoliyati tubdan o'zgardi. Endi biz – deydi Anderson, dunyonи ixtiyoriy nuqtasida turib, sensorlar joylashtirilgan qush uyalarida hozirgi vaqt momentida nima bo'layotganini bilib turishimiz mumkin.

Bir necha yil oldin Kaliforniya shtatidagi Berkli universiteti biolog Todd Douson mahalliy botanika bog'ida Intel korporatsiyasida ishlab

chiqilgan 80 ta kichik qurilmachalar yordamida birinchi marta doimiy yashil o'rmon iqlimi o'zgarishining uch o'lchamli tasvirini yaratdi. Kaliforniya shtatidagi Palm Spring shahri yaqinidagi qo'riqxona ekosistemasi o'rganish bo'yicha, shunga o'xshash, lekin undan kengroq tadqiqotni Los - Andjeles universiteti olib bormoqda.

Boshqa tadqiqotchilar "motes" larni yer qimirlash oqibatlarini modellashtirishda, harbiy zonadagi transportlar harakati monitoringida, qishloq xo'jaligida suv resurslarini ishlatishda, binolar, yo'llar holatini aniqlashda, suv havzalari ifloslanish darajasini aniqlashda va yana boshqa ko'p sohalarda ishlatmoqdalar. "Motes"lar bioterroristlar huju-mi belgilarini aniqlashda juda muhim vazifani bajaradi.

Bu texnologiyaning qonuniyligiga ba'zi asoslangan shubhalar mavjud. Ularning foydali qo'llanilishidan tashqari, "aqli chang" ko'rinxmas eshituv qurilmasi sifatida ham ishlatilishi mumkin. Bu uning egasiga boshqa fuqorolarning shaxsiy hayotiga tajovuz solishga imkon beradi. Uning omma orasida keng tarqalishi esa yomon maqsadlarda foydalinishni faqat ko'paytiradi. Ilmiy - texnik taraqqiyotni to'xtatib bo'lmaydi, shuning uchun texnika rivojlanishiga mos holda davlat qonunchilagini ham mukammillashtirib borish zarur bo'ladi.

#### 4.11.“Elektron burun” loyihasi

Faraz qilamiz, siz kechgi sayirdan keyin uyga kirdingiz, uyda esa mazali taom tayyorlanmoqda, sizning burningiz birinchi ondayoq taom hidini sezib, u haqida miyangizga ma'lumot beradi.

Bu qanday sodir bo'ladi? Ma'lumki, deyarli barcha kimyoiy moddalar o'ziga xos hidga ega. Havodagi bu moddalar burunga kirkach, ma'lum bir retseptorlarga ta'sir etadi. Retseptorlar neyronlar tarmog'i orqali miyaga havoda ma'lum moddalar borligini habar qiladi.

Insonlarning hid sezish qobilyatlari bir biridan kuchli farq qiladi. Parfyumeriya moddalari degustatorlari (sinovchilari) burunlari oddiy odamlarnikiga nisbatan juda sezgir bo'ladi. Maxsus o'rgatilgan itlar narkotik va portlovchi moddalarni tez hidlab topadi. Lekin, birorta it ham benzin, atseton, bo'yoqlar va ta'maki hidi kelib turgan xonada odam hidini aniqlay olmaydi. Eng sezgir degustatorning hid bilishiga, toliqish, turli infeksiyalar, zaharli moddalar kuchli ta'sir qiladi.

Hid bilishdagи bu noqulayliklardan qutilish uchun "elektron burun" ning turli ko'rinishlari yaratilmoqda.

**Elektron burun** – bu multisensor qurilma bo‘lib, insonning hid bilish a’zosini taqlidlovchi, havoni tez tekshirib beruvchi tizimdir.

Bunday qurilma datchiklarning dasturlashtiradigan majmuasi bo‘lib, har bir datchik hidlarning alohida tarkiblovchilarini “hidlaydi”. Datchiklar soni qancha ko‘p bo‘lsa, natija ham shuncha aniq bo‘ladi.

Elektron burun har bir modda uchun alohida tayyorlanadigan gaz sensorlariga nisbatan universaldir. Ular nanosensorlar yordamida modalarning havodagi juda kichik miqdorini ham aniqlay oladi. Bu sohada ularga hech qanday jonzot tenglasha olmaydi.

### **Elektron burunning tuzilishi**

Elektron burun, odatda, uchta funksional qismlardan tashkil topadi.

- Namuna olish tizimi.
- Ma’lum xossali sensorlar matritsalarini.
- Sensorlardan kelgan ma’lumotni qayta ishlovchi protsessor bloki.

Havodan olingan tekshirilayotgan namuna sensorlar matritsasi joylashgan kyuvetaga haydaladi. Olingan aralashma alohida tarkiblovchilarga ajratilib har bir bo‘lak tarkiblovchi maxsus retseptorlar tizimi orqali o’tkaziladi. Ularning tarkibi va miqdoriga qarab xarakteristikalari aniqlanadi.

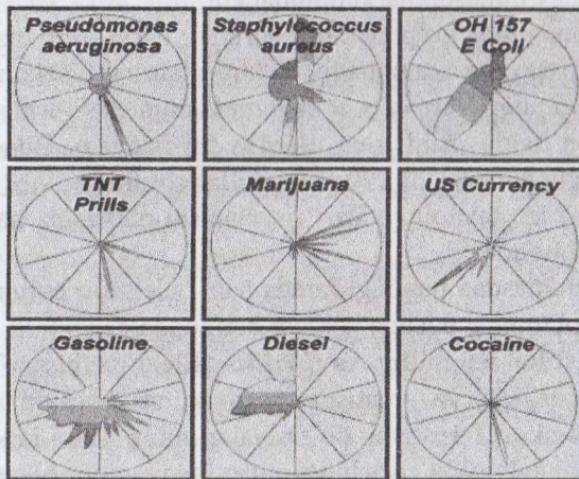
Elektron burunning yana bir variantida sensor sirtiga qalinligi 100nm va uzunligi 50nm bo‘lgan igna – kantilever biriktirilib qo‘yildi. Ignaga ma’lum bir molekulalarni yoritish natijasida uning massasi va undan kelib chiqqan holda rezonans chastotasi o‘zgaradi. Kantileverning yangi tebranish chastotasini o‘lchab u yerda mavjud bo‘lgan molekulalar guruhini aniqlash mumkin.

Har bir detektor signallari protsessor moduliga uzatiladi. Maxsus programma barcha ma’lumotlarni analiz qilib, natijani xromogramma ko‘rinishida chiqarib beradi. (Xromogramma – bu markaziy koordinatadagi hidlar intensivligi grafigidir).

O‘lchashlar tugagandan so‘ng datchiklar sirtidan hidlanuvchi modalarni olib tashlash uchun ma’lum bir gazlar bilan (masalan, spirt bug‘lari bilan) yuvib tashlanadi va datchiklar yangi o‘lchash sikliga tayyorlanadi.

Elektron burun sensorlarining gaz namunasi tarkibini aniqlash vaqtி sezish vaqtி deb ataladi. Elektron burunning hozirgi zamon namunalari ancha tezkor bo‘lib, ularning sezish vaqtி 10 sekundni tashkil qiladi.

Yuvuvchi gazni yacheykaga berish vaqtini *tiklanish vaqtini* deb nomlanadi. Odatda, tiklanish vaqtini bir minut atrofida bo‘ladi (4.33-rasm).



4.33-rasm. Vopor Print programmasining mikroblar, portlovchi moddalar, narkotiklar va suyuq yoqilg‘ilar uchun xromatogrammalari.

Takidlab o‘tish joiz, hidrlarni aniqlash algoritmi ancha murakkab jarayondir. Shuning uchun “elektron burun” hidrlarni aniqlashda sun’iy intelektdan foydalanadi.

Xususan, sun’iy neyron tarmoqlari (SNT) ning kelajakda eng ko‘p qo‘llanilishi kutilmoqda. Neyron tarmoqlari inson miyasidagi neyronlarning kompyuterlashgan ko‘rinishi bo‘lib, har bir SNT bir biri bilan bog‘langan, ma’lumotni qayta ishlovchi neyronlardan iborat. Tashqi ma’lumotni qabul qilib oluvchi neyronlar qatlami kirish neyronlari, tayyor natijalarni beruvchi neyronlar *chiquvchi neyronlar* deb ataladi. Oraliq neyronlari *ichki yoki yashirin neyronlar* deyiladi. Har bir neyronda bir nechta kirishi bo‘lib, faqat bitta chiqish bo‘ladi. SNTlarning eng afzal tomoni ularni *o‘rgatish mumkinligidir*, ya’ni chiquvchi signallar xatosini maqsadli ravishda eng kichik qiymatgacha kamaytirish mumkin.

### **Elektron burunning qo‘llanish sohalari**

Yaqin vaqtlargacha elektron burunlar qo‘llanilishiga ularning samaradorligi kamligi va narxi yuqoriligi eng katta to‘siq edi. Avvalgi sensor

datchiklar yetarli sezgirlikka ega emasdi, sekin ishlar edi, uzoq vaqt muntazam ishlay olmasdi, narxi qimmat edi.

Hozirgi kunda juda ko‘p elektron burunlar narxi sotib olsa bo‘ladigan darajada pasaygan. Zamona viy elektron burun 10 sekundda natija oladi, sezgirligi yuqori, uzoq vaqt davomida muntazam ishlay oladi va nisbatan arzon qattiq jismli sensorlardan foydalanadi. Bunday qurilmalarning bugungi narxi 20,100 ming dollar atrofida bo‘lib, sensorlarni ishlab chiqarish texnologiyalari rivojlanishi natijasida narxi ancha pasayishi kutilmoqda.

Shunga qaramasdan bugungi kunda ham “elektron burun” lar juda ko‘p muammolarni hal etishga yordam bermoqda.

**Kriminalistika va milliy xavfsizlik.** “Elektron burun” narkotik moddalarini olib kirish va tarqatishga qarshi kurashda yangi imkoniyatlar ochishi mumkin. Terroristik diversiyalar oldini olishi imkoniyatiga ega. Metanni hidlab tezda gaz chiqayotgan joyni aniqlashi mumkin.

**Sanoat.** Ko‘mir va neft konlari bor joylarda atmosfera tarkibida metan miqdori oshiqroq bo‘lishi kuzatilgan. “Elektron burun” yordamida bu konlarni qidirib topiladi.

**Oziq - ovqat sanoati.** “Elektron burun” sotilayotgan oziq - ovqat mahsulotlari sifati, aynigan yoki aynimagani, ularning ifloslanish darajasini aniqlash imkonini beradi. Masalan, bu qurilma yordamida do‘konlarda sotilayotgan “Neskafe” kofelarining yarimi talabga javob bermasligi aniqlangan. Elektron burun hayvonlar uchun ozuqa tayyorlashda ham ishlatiladi. Kichkina qo‘lbola elektron burun sayyoohlarga tabiat mahsulotlarini iste’mol qilsa bo‘ladiganlarini saralashga yordam berishi mumkin.

**Tibbiyot.** Har bir inson chiqaradigan o‘ziga xos hid tibbiyotda qadimdan tashxis qo‘yishda foydalanib kelinadi. XXI asrda esa shifokor burnini elektron burunlar egallaydi. Pensilvaniya universiteti olimlari kasal odam nafasidan undagi infektion kasallik turini aniqlovchi elektron burun yaratdilar. Har bir bakteriyalar yashashi davomida o‘ziga xos gazlar chiqaradi. Nafas yo‘llariga bakteriyalar tushganda, bu gazlar inson nafasida ham bo‘ladi. “Elektron burun” inson chiqarayotgan nafasni tekshirib, uni o‘zidagi ma’lumotlar ba’zasi bilan taqqoslaysidi va shu asosida kasalga tashxis qo‘yadi.

Illinoys texnologiya institutida ishlab chiqilgan asbob namunasi havoda sil kasali va boshqa yuqumli kasalliklar qo‘zg‘atuvchilar bor

yoki yo'qligini aniqlab beradi. Hidga qarab onkologik kasalliklar, pnevmoniya va hatto atipik pnevmoniya (SARS) ni aniqlash imkoniga tuz'iladi.

Kalla suyagi va miya shikaslanishida orqa miya suyuqligi oqishi holatlari oldini olib, juda ko'p insonlar hayoti saqlab qolinishi mumkin.

Tibbiyotda nafas olish a'zolari kasalliklariga to'g'ri tashxis qo'yish juda murakkab jarayon hisoblanadi. Pnevmoniyani o'tkir respirator kasalligidan farqlash ancha vaqt talab qiladi. Elektron burunni qo'llash tashxis qo'yish vaqtini qisqartiradi, uning narxini pasaytiradi va tashxisaniqligi oshadi.

Olimlar fikricha, kelajakda "elektron burun" shifokor uchun xuddi bosim o'chagich kabi doimiy hamroh bo'lib qoladi.

**Hordiq chiqarish.** Hozirgi kunda ixtiyoriy hidrlarni sintez qila oладиган uncha katta bo'lмаган asboblar yaratilgan. Ularni "elektron burun" bilan birlashtirib har bir hidning elektron variantini yaratish, uni internet orqali uzatish va qayta tiklash mumkin.

Bundan kelib chiqadiki, endi hidrlarni internet orqali uzatish ham mumkin bo'ladi. Internet o'yinlari turli xil aromatik hidlar bilan to'yinadi.

Pitssa va perfumeriya sotuvchilar o'z saytlarida mahsulotlari tara-tayotgan hidini ham namoyish etishlari mumkin. Perfumeriya sotuvchilariga bu ancha tashvish keltiradi. Agar har bir ayol o'ziga kerakli hid tarqatuvchi atirni internetdan tortib olsa, unda hech kim atir sotib olmaydi. Undan tashqari, har kim o'zi xohlagan hidni skanerlab yozib olgach, uni uyda o'zi hosil qilishi mumkin! Bozorda esa ming xil hid taratuvchi atirlar hidi yozilgan SD disklar sotib olishi mumkin. Perfumeriya sanoati ham xuddi musiqa yoki videofilm sotuvchilaridek "aromatik qaroqchilar" bilan kurash boshlasa kerak. Aibo nomli robot-kuchuk ko'pchilikka tanish. Agar u "elektron burun" bilan jihozlansa o'z egasi va boshqa buyumlarni hidlari orqali taniy oladi.

#### 4.12. "Elektron til" loyihasi

Sankt-Peterburg universiteti olimlari Yuriy Vlasov va Andrey Legin "Tor vergata" nomli Rim universitetidagi hamkasiblari bilan hamkorlikda ko'p tarkiblovchili suyuqliklarni analiz qiluvchi "elektron til" turi-dagi kimyoviy sensorlarni tayyorladilar.

Bu asboblar murakkab tarkibli suyuqliklarni ta'mi orqali aniqlab, elektron degustator vazifasini bajaradi.

Bu tizim asosida sensorlar maydoni, ta'm aniqlash usullari va ko'p o'lchamli ma'lumotlarni o'rganuvchi qurilma yotadi. Qadimdan to'rtta asosiy ta'm ma'lum: nordon, shirin, sho'r va achchiq.

Ta'm bilish sezgilari tilning ta'm biluvchi retseptorlar hosil qilgan signallari mahsuli bo'lib, har bir modda uchun o'ziga xos xarakterga ega bo'ladi. "Elektron til" ning ishlashi ham shu qonuniyatga asoslanadi. U to'rt xil kimyoviy sensorlardan tuzilgan bo'lib, har biri ma'lum bir ta'mga turli xil javob qaytaradi (bunda sensorlar qarshiliklari o'zgaradi). Sensorlarning signallar kombinatsiyasi hidning "izini" hosil qiladi. Guruhlash oson bo'lishi uchun barcha sensorlar "izlari" ni bitta grafikda ifodalanadi.

Masalan, moddada shirin tarkiblovchi bo'lsa, grafik yuqori va o'ng tomonga siljiydi, achchiq va sho'r tarkiblovchilar holida grafik pastga suriladi. Bunday guruhlashda kofening ta'mi grafikning pastki qismiga to'g'ri keladi. Fargini odamlar sezmaydigan distillangan va mineral suvlar grafikda oson ajratiladi.

"Elektron burun" singari, bu tizimda ham xromatografiyadan foydalilanadi, ya'ni aralashma tarkibini tarkiblovchilarga ajratiladi. "Elektron tilda" bu bir necha million kanallarga ega bo'lgan maxsus mikrochiplar yordamida amalga oshiriladi. Har bir kanal aniq bir o'lchamli molekulalarni saralaydi. Mikrochip signallari kompyuter yordamida qayta ishlanib foydaluanuvchiga qulay ko'rinishda beriladi.

Olimlar "elektron tilning" ta'mlarni ajrata olishini mineral suvlarda, sharbatlarda, kofe va o'simliklar yog'larida namoyish etdilar: "Elektron til" 30 xil mineral suvlarni, 30 xil sharbatni va 15 xil kofe turlarini bir biridan ajratib bera oladi. "Elektron til" haqiqiy tabiiy mineral suvni uning qalbakisidan osongina ajrata oladi. Vaholanki, ularning kimyoviy tarkiblari amalda bir xildir.

"Elektron til" yordamida nisbatan ancha qiyin masalani, ya'ni uch xil o'simlik yog'larini bir biridan ajratish masalasini yechishga muvafqaq bo'lindi. Navbatda qattiq oziq-ovqat mahsulotlari – mevalar, go'sht, baliq turibdi.

Elektron tilning ta'm bilishidan tashqari, suyuqliklardagi turli kirishmalar miqdorini aniqlashda ishlatish ham mumkin. Undan tashqari, atrof-muhitni ifloslanish monitoringini tez va aniq o'tkazish mum-

kin bo'ladi. Masalan, suvning ifloslanish darajasini aniqlash uchun bir xo'flam suv kifoya qiladi.

### 4.13. Videoko'zoynak loyihasi

Yangi MEMS texnologiyasi Microvision kompaniyasiga tasvirni to'g'ridan - to'g'ri ko'z to'r pardasiga tushiruvchi qurilma yaratish imkonini berdi. Bunda odam uchun to'la o'lchamli tasvir ko'rinishi hosil bo'ladi. Endi uch o'lchamli tasvir hosil qiluvchi qalpoqlardan faqat tovush tezligidan tez uchuvchi samolyot uchuvchilarigina emas, avtomexaniklar va injenerlar ham foydalanmoqda. Bunday qalpoq taqib olgan avtomexanikka avtomobil detalining aniq chizmalari, uning tarkiblari va kerakli hisob - kitoblar ko'rsatiladi. Foydalanuvchi simsiz aloqa yordamida internetga ham ulangan, agar tasvirda unga zarur biror narsa yetishmasa, internetdan axtarib topishi mumkin. Unga o'rnatilgan hisoblash qurilmasi orqali avtomexanik avtomobilning ixtiyoriy tugu-nini hisoblashi mumkin (4.34-rasm).



4.34 - rasm. NOMAD nomli videoko'zoynak.

Yaqinda bunday ko'zoynakni avtoishqibozlardan tashqari juda ko'pchilik taqib yuradi. Ko'z to'r pardasiga uzatilayotgan tasvir amalda har qanday bo'lishi mumkin.

Ushbu yangilik injenerlar, kimyogarlar, biologlar va albatta kompyuter o'yini ishqibozlari uchun foydali bo'ladi.

### 4.14. Nanoelektronika

Asrimiz boshidayoq elektronika taraqqiyotiga jiddiy to'siqlar paydo bo'ldi. Bular, birinchi navbatda, IS lar zichligini va tezligini oshirish muammolaridir. Planar texnologiya o'zining tabiat qonunlari bilan aniqlanuvchi chegarasiga yaqinlashmoqda. IS larni yetakchi ishlab

chiqaruvchilar 90 nm li texnologiyani o'zlashtirmoqdalar. Yana ozgina harakat qilinsa, 50 nm li texnologiyaga kelish mumkindek tuyuladi, lekin bu o'lchamlarda kvant qonunlari va effektlari kuchga kiradi. Massalan, orasidagi masofa 50 nm bo'lgan o'tkazuvchan yo'lakchalardan tunnel effekti natijasida elektronlar o'tib ketaveradi.

Boshqa muammolar ajralib chiqayotgan issiqlikni olib ketish, ya'ni sovutish va xususiy shovqinni kamaytirishdir. Hozirgi kunda bu muammolarni yechishning turli xil usullari ko'rib chiqilmoqda. Ulardan biri – elektronlar vazifasini qisman yoki tamomila fotonlar bajaradigan IS lar yaratishdir. Bu esa hozirgilardan tezkorligi va informatsion xotirasi katta bo'lgan hisoblash mashinalari yaratilishiga olib kelishi zarur. Takrorlanuvchi o'ta yupqa (bir atom kengligi) yarimo'tkazgich pardalardan tuzilgan kvant tekisliklaridan foydalanish mumkin. Elektronlarni fotonlar bilan almashinishi elektronikada – *nanofotonika* deb ataluvchi yangi yo'nalish paydo bo'lishiga olib keladi. Magnitik yarimo'tkazgichlarning fotonika bilan birikishi atom yadrolari yordamida xotira qurilmalarini yaratish imkonini beradi. Ananaviy kompyuter qismlari bilan optik chiplarning birlashishi o'ta tez va samarali nano-kompyuterlar yaratish imkonini beradi. Informatsiyani avvalgidek ikkilik kodida belgilanishi tezlikni oshirishga o'z hissasini qo'shadi.

Chiplarda magnitooptoelektron tuzilmalarining ishlatalishi bir necha teragers chastotalarda ishlaydigan signallar kommutatorlarini yaratish imkonini beradi. Shuni takidlash kerakki, yarimo'tkazgichlar elektron ko'rinishidagi informatsiyani detektorlarsiz to'g'ridan - to'g'ri optik informatsiyaga aylantira oladi va aksincha.

Muammo yechimining yana bir yo'li – uglerodli nanoelektronikadir. Bunda asosiy rolni bizga tanish bo'lgan uglerod nanonaychalar o'ynaydi. Nanonaychalarining noyob xossalardan biri ularning fizik va kimyoviy xossalaring xirallik darajasiga (ya'ni, nanonaychalarining eshilganlik darajasiga) bog'liqligidir. Nanonaychani kerakli joydan bukib, osongina, nanometr o'lchamli metall yoki yarimo'tkazgich sim hosil qilish mumkin. Ikkita bunday nanotrubkani birlashtirib diod hosil qilishimiz mumkin. Kremniy oksidi plastinasi te'pasiga joylashgan nanonaycha esa - nanotranzistor kanalidir.

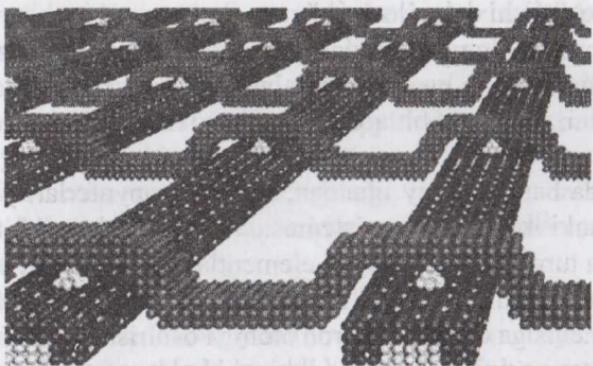
Chartered Semiconductor Manufacturing kompaniyasi 65 nmli texnologiya bo'yicha ishlab chiqilgan mikrosxemani namoyish qildi. Singapurdag'i zavod 2006-yildan boshlab ushbu mikrosxemani ommaviy

ishlab chiqarishga kirishdi. Texas Instruments kompaniyasi 65 nmli chiplar namunalarini yaratdi.

Bunday nanoelektron qurilmalar yaratildi va o'zining ishlay olishini isbot qildi. Samsung firmasi nano- va biotexnologiyalarni inson his-hayajonlarini o'qishda mobil telefonlarda, signallarni neyronlarga uza-tishda foydalanishni rejalashtirgan. Philips kompaniyasi energetik mustaqil ishlaydigan nanoxotira yaratmoqda. Yaponiya materialshunoslik milliy instituti tadqiqotchilari eski mexanoelektrik ulagichlarni kvant darajasida kichiklashtrishga erishdilar. Ular hozir uy jihozlarida ishla-tiladigan ulagichlarga o'xshash juda kichik o'lchamli mexanik ulagich yaratdilar. Ulagichning ishlash qonuniyati juda oddiy – ikki nanoo'tkaz-gichga kuchlanish berilganda ular o'rtasida kumushdan qilingan ko'priк paydo bo'ladi yoki yo'qoladi. Bu kumush nanoko'priкning uzunligi atigi 1nm. 1nm oralikka 10 ta vodorod atomi sig'adi. Bunday ulagich asosida tayyorlangan tranzistor Pentum IV protsessoridagidan 10 marta kichik bo'ladi.

Shuning uchun kvant ulagichlar asosidagi elektronika yaqin o'n yilda hozirgilarini siqib chiqarishi mumkin. Ularning oddiy ulagichlardan farqi nanoulagichlarda harakatlanuvchi mexanik qismlari yo'q. Ikki shina orasidagi kumush ko'priк ularga kuchlanish berilganda paydo bo'ladi – deydi Yaponiya materialshunoslik milliy instituti direktori Xasegava.

Shinalar orasidagi kumush ko'priк shu oraliqqa katta bo'limgan musbat potensiallar farqi berilganda vujudga keladi. Bu kuchlanish ishorasi o'zgarganda ko'priк buziladi. Qurilma xona temperaturasida ishlaydi(4.35-rasm).



Source: National Institute for Materials Science

4.35-rasm. Kvant nanokalitlar matritsasi

Olimlar tomonidan tayyorlangan nusxada ulagich shinalar orasida gi kuchlanish 0,6V bo'lganda 1MHz chastota bilan uzib ulanadi. Ulanish chastotasi shinalar qalinligiga bog'liq. Agar ularning qalinligi kamaytirilsa, 1GHz chastotaga erishish ham mumkin. Bu hozirgi zamон kompyuterlarining chegaraviy ishlash tezligidir.

Kumush ko'rikcha qanday hosil bo'lishiga to'xtalib o'taylik. Hammasining siri nanoo'lchamli shinalar tarkibidadir. Bir o'tkazgich yupqa toza kumush bilan qoplangan kumush sulfiddan iborat bo'lsa, ikkinchi si toza kumush qoplangan platinadan iboratdir. Shinalar orasida musbat potensiallar farqi bo'lganda ko'rik yig'iladi, kuchlanish teskari ulanganda ko'rik sochilib ketadi. Ushbu yangi kalitning afzalligi shundaki, uning asosida yaratilgan xotira qurilmalari sig'imi hozirgilaridan ancha katta bo'ladi. Agar har bir ulagichni xotira qurilmasi elementi sifatida ishlatsa, unda  $1\text{sm}^2$  yuzaga 2,5 Gigabit informatsiya sig'adi. Hozirda eng zich xotira qurilmalarida  $1\text{sm}^2$  ga 1Gigabit sig'adi.

Yangi qurilma kvant fizikasi qonunlari bo'yicha ishlagani uchun ular asosida ko'p bitli xotiralar yaratish imkonи bor.

Bitta kalit 16 holatni yoki 4 bitni ifodalaydi. Tadqiqotchilar yangi kalit asosida "va", "yoki", "yoki-emas" mantiqiy qurilmalarini yarta oladilar. Barcha mantiqiy qurilmalar yaxshi ishchi xarakteristikalarini matritsasini sanoatda ishlab chiqarish usullari yaratilmoqda.

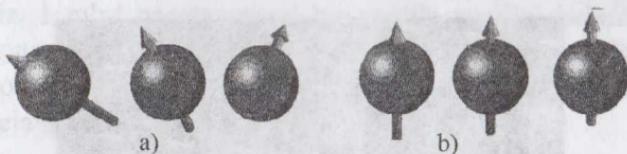
HP kompaniyasi shunga o'xshash molekular nanokalitlarga asoslangan nanoelektronika yo'nalishini e'lon qildi. Bu yo'nalish ko'p qatlamli nanoelektronikanı ommaviy ishlab chiqarishga olib keladi. Kompaniya rahbariyati nanokompyuterlar ishlab chiqarishni kompaniya biznesining asosiy yo'nalishi deb e'lon qildi.

Nanoelektronikaning eng inqilobiy yutuqlari o'zining tabiat qonunlari bilan chegaralangan kvant chegaralariga yaqinlashmoqda. Bunday qurilma asosini, masalan, bitta elektronning ikkita spin holati tashkil qiladi.

Shu asosida ham, nazariy jihatdan, kvant kompyuterlari yaratilishi mumkin. Chunki ikkilik sanoq sistemasida ishlash uchun ikkita "0" va "1" holatlarda turg'un tura oladigan elementlar bo'lishi kifoya qiladi.

Bunday funksiyani ikki sathli sistemada (masalan, ikki elektron bir atomdan ikkinchisiga o'tadi) elektron atomga oshirishi mumkin. Ikkinchi holda elektron spini bir holatdan ikkinchi holatga (masalan, elektromagnitik maydon ta'sirida) burilishidan foydalanish mumkin (bu bilan *spintronika* deb nomlanuvchi ilmiy yo'nalish shug'ullanadi).

Elektronlardan tashqari, boshqa elementlar zarralar va atom yadrolari ham magnitik spinga egadir. Hozirgi vaqtida spintronika yarimo'tkazgichli tuzilmalarda magnitik va magnitooptik ta'sirlashuvini, kondensatsiyalangan moddalarda spinlar dinamikasi va kogerent xossalarni hamda nanometr o'lchamli tuzilmalardagi kvant - magnitik hodisalarini o'rGANADI.



4.36-rasm. Yadro spinlarining mumkin bo'lgan yo'nalishlari.

Odatdagi qattiq jism mikroelektronikasida informatsiya elektrzaryadi bilan ifodalanadi. Magnitik momentlari berilmagan. Zarralarning xususiy momentlari betartib yo'nalgan (4.36 - a rasm). Spintronika esa informatsiyani kvant zarralarning magnitik momentlari orqali ifodalaydi (4.36 - b rasm). Spintronikaning gigant magnitik qarshiligi (GMQ) hodisasi o'tgan asr oxirlarida qattiq disklarning yozish qismlarida ishlataldi. Natijada disklar xotirasi 5 yilda 100 marta oshdi.

Spintronikaning kelajakdagi rivoji, tezligi 1THz (sekundiga  $10^{12}$  ta operatsiya) bo'lgan, informatsiya yozish zichligi esa  $10^3$  Tbit/sm<sup>2</sup> li kompyuterlar ishlab chiqarishga olib keladi.

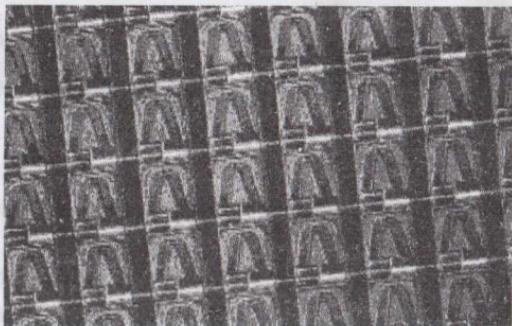
Bunday informatsiya yozish zichligida qo'l soaticha keladigan diskka Yer yuzidagi butun aholi rasmlari, barmoq izlari, tibbiy kartalari va biografiyalari bilan birgalikda joylashtirish mumkin.

Nanotexnika rivojlanishining uchinchi yo'nalishi Erik Dreksler tomonidan ilgari surilgan mexanik kompyuterlar yaratishdir.

Oddiy mexanik kompyuter albatta juda qo'pol va sekin ishlaydi. Ammo bir necha atom o'lchamiga ega bo'lgan qismlardan tuzilgan mexanik kompyuterlar hozirgilaridan milliardlab marta ixcham bo'lishi mumkin.

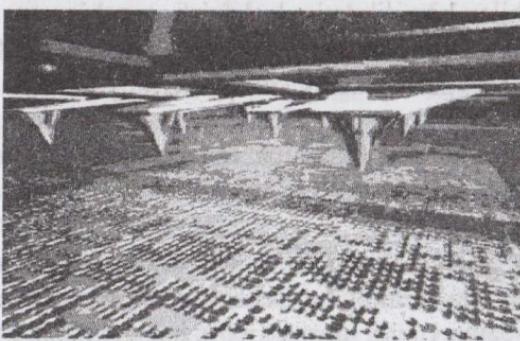
Mexanik signallar elektron signallardan 100 ming marta sekin uzaitsada, mexanik nanokompyuterlarda ular informatsiya uzatish uchun oddiylariga nisbatan 1 mln. martta kichik masofa bosib o'tadi. Shuning uchun ularning tezkorligi hozirgi kompyuterlarnikidan yuqori bo'ladi. Bunday nanokompyuterlarning dastlabkilari allaqachon yaratilgan.

IBM kompaniyasi birinchi “ko‘p oyoqchali” mexanik nanoxotira qurilmasini yaratdi. Qurilma yozuvchi manipulyatorlar matritsasi va informatsiya saqlovchi muhitdan iborat. Qurilma konstruktori Mark Lansning aytishicha, qurilma 4096 “oyoqchali” matritsadan tashkil topgan bo‘lib, u informatsiyani yozish va o‘qish uchun ishlataladi. “Ko‘p oyoqcha” bu oddiy qattiq disk emas, balki “sof” raqamli texnologiya qurilmasidir (4.37-rasm).



4.37- rasm. «Ko‘poyoqchaning» optik mikroskop ostida ko‘rinishi.

Uning ishlash qonuniyatini grammoplastinkalarni o‘qiydigan eski gramofonlarga o‘xshatish mumkin. Unda gramofon ignalari plastinkadagi ariqchalardan yurib undagi baland – pastliklarga mos elektrik signal hosil qilar edi. “Ko‘p oyoqchada” esa nanoo‘lchamli ignalalar – kantileverlar qatori ma’lumotlar saqlanayotgan sirdan yurib ular-dagi “1” va “0” ga mos keluvchi chuqurlik va do‘ngliklarni o‘qiysi. (4.38-rasm).



4.38-rasm. “Ko‘p oyoqcha” informatsiya o‘qimoqda.

Shunday qilib, kantileverlarning muvozanat holatlaridan og'ishi "0" va "1" ni hosil qiladi.

Bioelektronika sohasida ham izlanishlar olib borilmoqda. Biologik kompyuterlar oddiylardan farqli ravishda bir vaqtida bir nechta programmani bajarishi mumkin.

Isroil olimlari faqat DNK va enzimalardan tuzilgan, operator ishtirokisiz, 1 mlrd programmani bir vaqtida parallel bajara oladigan biokompyuter yaratdilar. Bunday kompyuterlarni ko'p moddalarni bir vaqtida biokimyoviy analiz qilish va katta tasvirlarni shifrlash uchun qo'llash rejalashtirilmoqda.

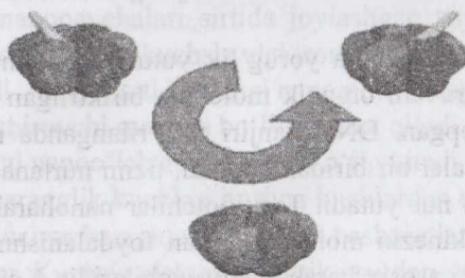
#### 4.15. Nanomotorlar loyihasi

Nanotexnologiya va NEMS larning keyingi rivojlanishini samarali nanoo'lchamli harakatlantirgichlarsiz tasavvur qilish qiyin. Hozirgi kunda – nanoaktyuator deb nomlanuvchi nanoharakatlantirgichlarning juda ko'p, xilma-xil loyihalari ishlab chiqarilmoqda va ishlab chiqarish ustida ish olib borilmoqda. Ularning ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

#### AT Faza asosida ishlovchi aylanuvchi nanoaktyuator

*AT Faza* bu amalda har qanday organizmlarda mavjud bo'lgan tabiiy fermentdir. Fermentlar oqsillar, yog'lar va uglevodlarni parchalash uchun xizmat qiladi.

AT Faza gidrofob (suvni yuqtirmaydigan) va gidrofil (suv yuqtiradigan) qismlardan iborat bo'lib, bu qismlar ATFa zaning sintezi va gidrolizi uchun javob beradi. ATFa ning sintezi yoki gidrolizi paytida markaziy subbirlik aylana boshlaydi(4.39-rasm).

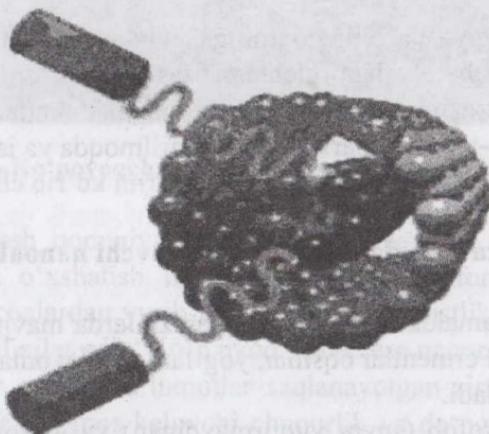


4.39-rasm. ATF gidrolizida  $\gamma$ -subbirligi aylanishi.

Hozir bu aylanish sababi oxirigacha ma'lum bo'lmasada, bu tayyor biologik nanomotordir.

### **Elektrostatik nanomotorlar**

AQSH tadqiqotchilari energiya manbayi sifatida lazer nurlaridan foydaluvchi nanoaktyuator modelini yaratdilar. Nanomotor ikkita bir biriga kiydirilgan grafit silindrchalardan iboratdir. Ulardan biri rotor, ikkinchisi stator bo'lib, rotor diametrining ikki chetiga ikkita elektr zaryadlari biriktirilgan. Ularga o'zgaruvchan lazer nurlari tushganda rotor aylana boshlaydi (4.40-rasm).



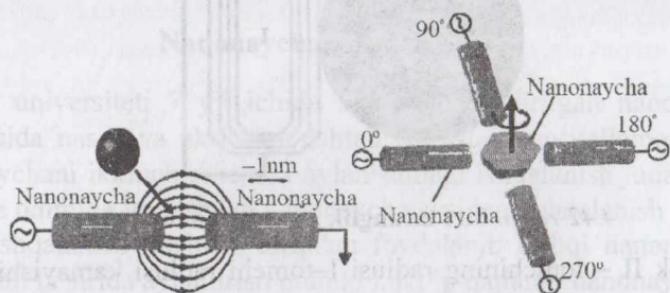
4.40-rasm. Yorug'lik ta'sirida aylanuvchi nanomotor.

### **DNK molekulalari asosida ishlaydigan nanoaktyuator**

Bu aktyuator bir uchiga yorug'lik yutuvchi, ikkinchi uchiga esa yorug'likni qaytaruvchi organik molekula biriktrilgan DNK molekulalasidan tashkil topgan. D NK zanjiri to'g'rilinganda nurlanuvchi va yutuvchi molekulalar bir biridan ajraladi, tizim nurlanadi va aksincha, D NK yig'ilganda nur yutadi. Tadqiqotchilar nanoharakatlantirgichlar sifatida aktin va kinezin molekulalaridan foydalanishmoqchilar. Ular tirik organizmlarni asosiy harakatlantiruvchilaridir. Keyingi bosqich – mushak tuzilishi birligi bo'lgan sarkomer modelidir.

## Dielektroforez nanomotor loyihasi

Bunda kuchli bir jinsli bo‘limgan elektrik maydonida zarralarning elektrodlarga tortilishi va itarilishidan foydalilanadi. Kaliforniya universitetida suvli eritmalarda dielektroforez yordamida nanonaycha va DNK molekulalarini ko‘chirish bo‘yicha tajribalar o‘tkazildi. Elektrodlar orasidagi masofa 10 nm va ular orasidagi kuchlanish 1V ni tashkil etdi. Elektrodlar uchida kuchli bir jinsli bo‘limgan, zarralarni tortuvchi elektrik maydon hosil bo‘lgan. Elektrod nanonaychalar stator, o‘rtadagi nanozarralar rotor vazifasini bajardi. Agar elektrodlarga o‘zgaruvchan kuchlanish berilsa, nanozarra aylana boshlaydi. Uning joylaniishi elektrodlarga berilgan kuchlanishga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘langan (4.41-rasm).



4.41-rasm. Dielektroforez nanomotori.

### Sirt taranglik effektida ishlovchi nanomotor

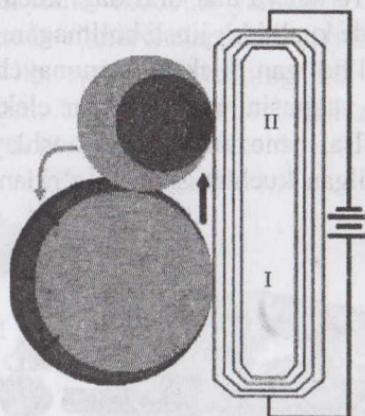
AQSH fiziklari sirt taranglik hodisasi yordamida ishlovchi birinchi nanoelektromexanik aktyuator yaratdilar.

U uglerod nanonaychalari sirtida joylashgan suyuq metall ikkita tomchisidan iborat bo‘lib, kuchsiz elektromagnitik maydon yordamida ishga tushiriladi. Aleks Zattl bu yangi nanomotor kelajakda turli NEMS uchun ishga tushiruvchi qurilma bo‘lib xizmat qiladi deydi.

Sirt tarangligi nanoo‘lchamlarda katta o‘rin tutadi. Mikron o‘lchamlarda ham sirt taranglik kuchlari boshqa kuchlardan ustivor o‘rin egalaydi. Shuning uchun ham, masalan, ba’zi hasharotlar suv ustida bema-lol yuraveradilar. Kuchsiz elektromagnitik maydon suyuqlik tomchilari sirt tarangligini o‘zgartiradi, bundan oqimli printerlar tayyorlashda foy-

dalaniladi. Lekin, shu paytgacha bu kuchni harakatga keltiruvchi kuch deb hisoblanmagan.

Aktyuator 90 nm li “katta” va 30 nm li “kichik” suyuq indiy tomchilaridan iborat. Nanonaycha orqali o’tayotgan elektr toki tomchi atomlarini 1-tomchidan 2-tomchiga nanonaycha bo’ylab ko’chishiga olib keladi (4.42-rasm).



4.42-rasm. Sirt taranglik asosidagi nanomotor.

Kichik II – tomchining radiusi I-tomchi radiusi kamayishiga nisbatan tezkor orta boshlaydi. Bu jarayon ikkala tomchi bir-biriga tegib qolguncha davom etadi. Tomchilar bir-biriga tekkanda hosil bo’lgan gidrodinamik qanalcha orqali, sittaranglik kuchlari ta’sirida, tomchilar o’z o’rinlarini almashtiradilar. Keyin bu sikel qaytariladi. Tomchilarning almashinish chastotasi nanonaychaga qo’yilgan doimiy kuchlanish qiy-matiga bog’liqidir.

Nanomotorning ishchi namunasida tomchilar almashinish vaqt 1,3V kuchlanishda 200 pikosekundni tashkil etadi.

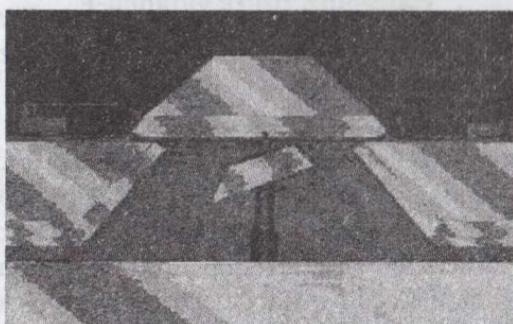
### Nanonaychalar va oltin elektrodlar asosidagi nanomotor

Kaliforniyaning Berkli universitetida 500 nm o’lchamli ishlaydigan elektrostatik nanometr yaratildi.

Nanomotor rotori oltindan qilingan bo’lib, unga ko’pqatlamli nanonaycha biriktirilgan.

Kichigi kattasi ichiga kiydirilgan ikkita nanonaycha podshipnik vazifasini bajaradi. Rotor qalinligi 5–10 nm ni tashkil qiladi. Ikkita

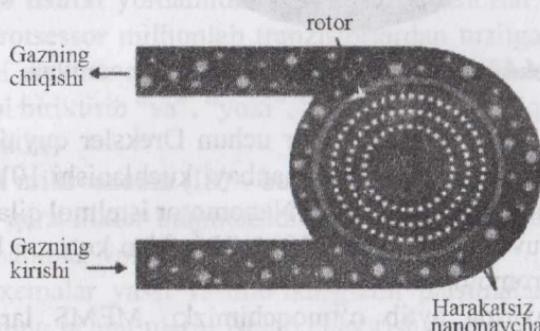
oltindan qilingan, zaryadlangan statorlar kremniy sirtiga joylashtirilgan. Bunday nanometrning aylanish tezligi sekundiga 30 aylanishni tashkil etadi (4.43-rasm).



4.43-rasm. Oltin elektrodlar va nanonaycha asosidagi nanomotor.

### Nanonaycha asosidagi rotor

Koreya universiteti 7 yil ichida bir-biriga kiydirilgan nanonaychalar asosida nasos va aktyuator ishlab chiqishni mo'ljallamoqda. Bir nanonaychani ikkinchisi ichida aylanishidagi ishqalanish juda kichikdir. Gaz oqimida joylashgan nanonaycha sirtidagi ishqalanish esa juda katta. Ishqalanish kuchlari farqidan foydalanim tashqi nanonaychani gaz oqimi ta'sirida aylantirish mumkin. Ko'p qatlamlili nanonaycha ichki qatlamini bursak, u elektrostatik kuchlar ta'sirida avvalgi holatiga qaytadi. Bunda u 1MHz chastota bilan mayatnikka o'xshab tebranadi. Ushbu hodisa boshqa nanonaychaga gaz haydar beruvchi nasos yaratish imkonini beradi.

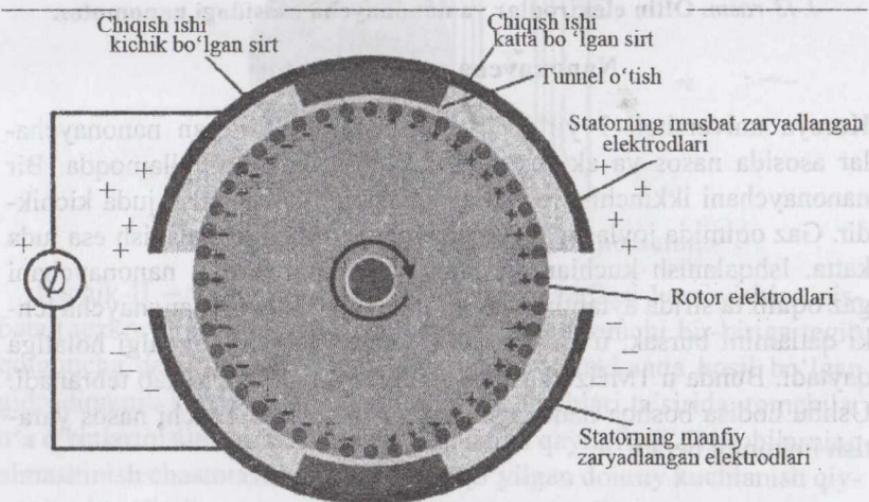


4.44-rasm. Nanonaychali rotor.

## Drekslerning elektrostatik tunnel nanomotori

Bu loyiha Drekslerning “Nanosistemalar” nomli kitobida keltirilgan. Motor statorning ikki musbat va manfiy elektrodidan tashkil topgan. Dielektrikdan qilingan rotorga esa qator nanoo’tkazgichlar, elektrodlar ulangan.

Stator elektrodlari chiqish ishi katta va kichik bo’lgan ikki xil sirtlar dan iborat. Shu elektrodlarga kuchlanish berilganda, rotor nanoo’tkazgichlari tunnel oraliqlari orqali zaryadlanadi. Stator qoplamalarining chiqish ishlari turlicha bo’lgani uchun rotor nanoo’tkazgichlari oлган zaryadlar ham turlicha bo’ladi. Turli miqdorda zaryadlangan rotor nanoo’tkazgichlari stator hosil qilgan elektrik maydon ta’sirida aylana boshlaydi.



4.45-rasm. Tunnel elektrostatik nanomotori.

Diametri 25 nm bo’lgan motor uchun Dreksler quyidagi xarakteristikalarini hisoblab topadi. Tok manbayi kuchlanishi 10V, stator toki 110nA, rotoring tezligi 1000m/s. Nanomotor iste’mol qilayotgan quvvat 1,1mW. Quvvat zichligi esa 1015 Wt/m<sup>3</sup>dan ko’proq bo’lib, makroskopik elektromotorlarniki bilan bir xildir.

Bobning oxirida aytib o’tmoqchimizki, MEMS lar yordamida tayyorlangan mahsulotlarning sotilish hajmi har yili ikki marta ortib bormoqda.

Bu esa ularning iqtisodiy rivojlanish darajasini belgilovchi “kritik” texnologiyalar safiga kiritilishini bildiradi.

#### 4-bobning asosiy xulosalari

• XX – asrning ikkinchi yarmida fan va texnikaning shiddatli rivojlanishi yarimo‘tkazgichli *tranzistorlar* yaratilishi va mukammallashtirilishi bilan bog‘liqdir.

• Elektr toki o‘tkazish qobiliyatiga qarab barcha moddalar o‘tkazgichlar, yarimo‘tkazgichlar va dielektriklarga bo‘linadi.

• Yarimo‘tkazgichlar xossalari tashqi ta’sirlarga bog‘liq bo‘ladi. Yarimo‘tkazgichlar temperaturasini o‘zgartirib yoki kirishmalar kiritib, ularning fizik xossalari, jumladan, elektrik o‘tkazuvchanligini boshqarish mumkin.

• Yarimo‘tkazgichlarning elektrik o‘tkazuvchanligi ikki xil bo‘ladi: *Xususiy yarimo‘tkazuvchanlik* – moddani qizdirilganda paydo bo‘ladi. Issiqlik harakati yarimo‘tkazgichlarda o‘tkazuvchi elektronlarni va kovaklarni teng miqdorda paydo qiladi. Xususiy o‘tkazuvchanlikda o‘tkazuvchan elektronlar va kovaklar zichligi teng bo‘ladi ( $n=p$ ). *Kirishmali o‘tkazuvchanlik* – yarimo‘tkazgichlarda ortiqcha elektronlar (donor) va kovaklar (akseptor) hosil qiluvchi begona kirishma atomlari kiritish natijasida paydo bo‘ladi. Donor kirishmali yarimo‘tkazgichlar  $n$ -tur ( $n>p$ ) va akseptor kirishmali yarimo‘tkazgichlar  $p$ -tur ( $p>n$ ) yarimo‘tkazgichlar deb ataladi.

• Yarimo‘tkazgichli asboblar ishlashi  $p-n$  o‘tishga asoslangan.  $p-n$  o‘tish bu  $p$ - va  $n$ -turdagi yarimo‘tkazgichlar bir-biriga elektrik ulangan joydir.  $p-n$  o‘tishlar yordamida diodlar va tranzistorlar tayyorlanadi.

• Mikroprotsessor millionlab tranzistorlardan tuzilgan “0” va “1” deb ataluvchi elektrik signallar bilan ishlovchi qurilmadir. Bir necha tranzistorlarni biriktirib “va”, “yoki”, “emas” kabi mantiqiy sxemalarni yaratish mumkin.

• **Integral mikrosxema** (IS) – bu bitta taglikda yig‘ilgan diodlar va tranzistorlar, qarshiliklar majmuasidir. Ularning boshqacha ommabop nomi – mikrochiplar yoki oddiy chiplardir.

• Mikrosxemalar yassi yarimo‘tkazgichli plastinalar ustida hosil qilinadi, shuning uchun ularni ishlab chiqarish texnologiyasi – planar texnologiya deb ataladi. Uning asosini litografiya tashkil qiladi. **Lito-**

**grafiya** – bu yarimo'tkazgich sirtida kerakli rasm (relyef) ni hosid qilish usulidir.

- Mikrosxemani ishlab chiqarish texnologiyasi bir necha bosqichlar dan iborat: tozalash, oksidlash, litografiya, yedirish, diffuziya, qoplash va metallash bosqichlaridir.

- Uzoq vaqt davomida mikroelektronikaning asosiy materiallari kremniy va mis hisoblanar edi. Kremniyda IS tayyorlansa, misdan tok o'tkazuvchi kontaktlar qilinad edi. Ammo, oxirgi paytda XX asr oxirida kashf qilingan ***o'tkazuvchan polimerlar*** borgan sari shuhrat qozonmoqda. Arzonligi tufayli ular elektronikada tobora ko'p qo'llanilmoqda.

- Birlik yuzada qancha ko'p tranzistor va diod joylashtirilsa kompyuterning tezkorligi shuncha ortadi. Shuning uchun mikroprocessor texnikasini yanada rivojlantirish uchun nanoelektronika, MEMS va NEMS larga o'tishdan o'zga iloj yo'q.

- MEMS (mikroelektromexanik sistema) uch o'lchamli mikroobjektlar va mikromashinalardir. Ularga bitta taglikda qilingan nasoslar, motorlar, turbinalar, mikrorobotlar, mikrodatchiklar va butun boshli analitik mikrolaboratoriylar kiradi. Ularnig o'lchami gugurt cho'pi uchidan kichik bo'lish mumkin.

- MEMS lar juda ko'p sohalarda qo'llaniladi. Xususan, ular asosida "elektron burun", "elektron til", "aqli chang", "videoko'zaynak" va boshqalar yaratiladi.

- Nanotexnologiya, MEMS va NEMS qurilmalarining keyingi rivoji samarali nanoo'lchamli harakatlantirgichlarsiz mumkin bo'lmay qoladi. Hozirgi vaqtida juda ko'p miqdorda va ko'rinishda molekular va mexanik nanomotorlar (nanoaktyuatorlar) yaratilmoqda va ularni ishlab chiqarish rivojlantirilmoqda.

#### **4-bobni takrorlash uchun savolar**

1. Moddalar elektrik o'tkazuvchanligiga ko'ra qanday turlarga bo'linadi?
2. Metallarda elektrik tok o'tishi qanday sodir bo'ladi?
3. Yarimo'tkazgichlarda elektrik tok o'tishini tushuntiring.
4. Xususiy va kirishmali yarimo'tkazgichlar farqi nima?
5. Donor va akseptor kirishmalar deganda nimani tushunasiz?
6. "Kovak"lar qanday paydo bo'ladi?

7. *p – n o'tishni tushuntiring.*
8. *Yarimo 'tkazgichli diod va tranzistor qanday ishlaydi?*
9. *Mantiqiy qurilmalarni izohlang.*
10. *Integral sxema deganda nimani tushunasiz?*
11. *Mikrosxemalar qilinishida qanday asosiy bosqichlar mavjud?*
12. *Litografiya usullarini gapirib bering.*
13. *DUV va EUV litografiyalar nima?*
14. *O'tkazuvchan polimerlar qanday olinadi?*
15. *MEMS va NEMS texnologiyalarini tushuntirib bering.*
16. *MEMS va NEMS texnologiyalari bo'yicha yaratilgan qanday qurilmalarni bilasiz?*
17. *Sensorlarning qanday turlari mavjud?*
18. *"Aqli chang" lar qayerlarda qo'llaniladi?*
19. *"Elektron burun" ishlashini tushuntiring.*
20. *"Elektron burun" qayerda qo'llaniladi?*
21. *"Elektron til" nima va u qanday ishlaydi?*
22. *"Videoko'zynak" ishlashini izohlang.*
23. *Nanoelektronika rivojlanishining uch asosiy yo'nalishlarini gapirib bering.*
24. *Spintronika nima?*
25. *Nanomotorlarning qanday turlarini bilasiz va ular qanday qonuniyat asosida ishlaydi?*

## **5-BOB. NANOTEXNOLOGIYA ASBOBLARI**

Insonning hayvondan farqi – uning tabiatni bilish va o'zgartirishga intilishidir. Evolutsiyaning ma'lum bir bosqichida paydo bo'lgan insoniyat hayvonlar singari qanotsiz, o'tkir tishlarsiz, tirnoqlarsiz, zaharli o'tkir tishlarsiz, zaif bo'sada, ayovsiz tabiiy tanlovdan yutib chiqdi va atrof-muhitni faol o'zgartirib unga o'z shartlarini qo'ya boshladi.

O'z - o'zini saqlash instinkti barcha davrlarda insonni faol fikrleshga, bolta, g'ildirak yoki kompyuter kabi asboblarni yaratishga majbur qilib kelgan. Bilimning yangi-yangi cho'qqilarini zabt etgach, u o'z oldida yangi marralarni ko'ra oldi, yangi orzular uni o'ziga jalg etdi va olam to'g'risidagi bilimlari to'lishib bordi. Ming yillab inson tabiat sirlariga chuqur kirib bordi, bilimlarini oshirdi va bu jarayon davom etaverdi.

Biror yangi ma'lumot olgach, biz uni oldin tahlil qilamiz tartibga solamiz, fikrlaymiz, shundan so'ngina savollar qo'yamiz, isbot izlaymiz, qonunlar shakllantiramiz, farazlar va nazariyalarni ilgari suramiz. Shuning uchun tabiatni o'rganishda tabiat to'g'risida informatsiyaolish imkonini beruvchi asboblar muhim rol o'ynaydi. Insonning birinchi shunday asboblari har qanday injenerni lol qoldiruvchi sezgi a'zolarimiz: ko'z, quloq va burunlardir.

Tabiat to'g'risidagi bilimlarga asosiy maqsad emas, chunki ular ham uy qurishdan tartib oyga uchishga ham imkon beruvchi o'ziga xos asboblardir. Faqat ilmiy bilimlarning o'zigina yetarli emas. Bilimlardan foydalanish uchun unga mos texnikani yaratish kerak, buning uchun esa yana o'sha asboblar zarur bo'ladi. Eng birinchi asbob bu insonning ikki qo'li bo'lgan.

Tabiatni o'rganish va asboblarning rivojlanishi bir-biri bilan chambarchas bog'langandir.

Asboblar qanchalik mukammal bo'lsa, biz shunchalik aniq informatsiya olamiz va bizning tabiat to'g'risidagi bilimlarimiz ishonchli bo'ladi. Masalan, teleskop kashf etilguncha insonga bizning Somon Yo'li Gallaktikamizning shakli va tuzilishi to'g'risida ma'lumotlar olish imkonи yo'q edi. Skanerlovchi mikroskoplar yaratilguncha hech kim uglerodning noyob birikmalari – fullerenlar va nanonaychalar borligini tasavvur ham qilmagan.

Boshqa tomonidan, mukammal fikrlash mavjud texnologiyalar imkoniyatidan bir necha o'n martalab ustun bo'lgan aniqroq asboblar va qurilmalar ixtiro qilish imkonini beradi. Masalan, buyuk geniy Leonardo da Vinchining ko'pgina kashfiyotlari (zanjirli uzatmalar yoki sharikli podshipniklar) nazariy jihatdan ishlashi mumkin bo'lsada, 16-asrda ulardan foydalanilmadi. Ularni amalga oshirish uchun asboblar qismi yuqori aniqlikda yaratilishi kerak edi. Hozirgi paytda bu muammo bo'lmasada, ammo o'sha asrda buni amalga oshirib bo'lmas edi.

Atom va molekulalarning ko'rinas olamiga kirib borgan savri biz faqat informatsiya olibgina qolmasdan, ko'p sohalarda olamshumul o'zgarishlar qiluvchi asboblarga yanada kuchliroq zoriqamiz. Ushbu bob nanotexnologiyaning eng shuhrat qozongan asboblarining qisqa-chaga tasnifidir. Kitobxonlarga aytib o'tish joizki, ularning turlari aslida juda ko'pdir.

### **5.1. Mikroskoplarning rivojlanish tarixi**

Inson dunyoga kelib o'unga oldindan ma'lum bo'lgan usullar bilan, ya'ni ko'rish, qo'l bilan ushslash, ta'm bilish orqali atrof-muhitni faol o'rgana boshlaydi.

Birinchi odam paydo bo'lishidan to XVII asrgacha bu usullar olam to'g'risida informatsiya olishning yagona usullari bo'lib xizmat qilgan. Optika rivojlanishi natijasida birinchi teleskop va mikroskoplar yaratilishi, olimlarga inson ko'zi ko'ra oladigan chegaradan ancha ichkariga kirib borish imkonini berdi.

Inson o'zining ixtirochiligi bilan qanchalar g'ururlanmasin, uning juda ko'p yutuqlari asosida tabiatdan "ko'rib olgan" qonuniyat yotadi.

Inson ko'zi kuzatilayotgan obyekt qismlarini farqlovchi ma'lum bir ajratuvchanlikka ega bo'lgan tabiiy optik qurilmadir. Normal ko'z uchun ajratuvchanlik (25 sm – eng yaxshi ko'rish masofasida) 0,1,0,2 mm ni tashkil qiladi.

Mikroorganizmlar, o'simlik va hayvon hujayralari, kristallarning mikrostrukturalari o'lchamlari esa bu o'lchamdan ancha kichikdir. Bunday obyektlarni topish va o'rganishni mikroskoplarsiz amalga oshirib bo'lmasdi.

**Mikroskop** (grekcha "micros" – kichik va "scopeo" – ko'rish so'zlaridan olingan) ko'rinas obyektlarni kattalashgan tasvir-

larini hosil qiluvchi optik qurilma. U juda ko‘p fanlarning, jumladan, biologiyaning rivojiga inqilobiy ta‘sir o‘tkazdi. Tasvir sochuvchi yoki yig‘uvchi linzalardan o‘tish tufayli kattalashadi. Bu hodisani namoyish qiluvchi eng sodda asbob bu – lupadir.

### Optik mikroskop

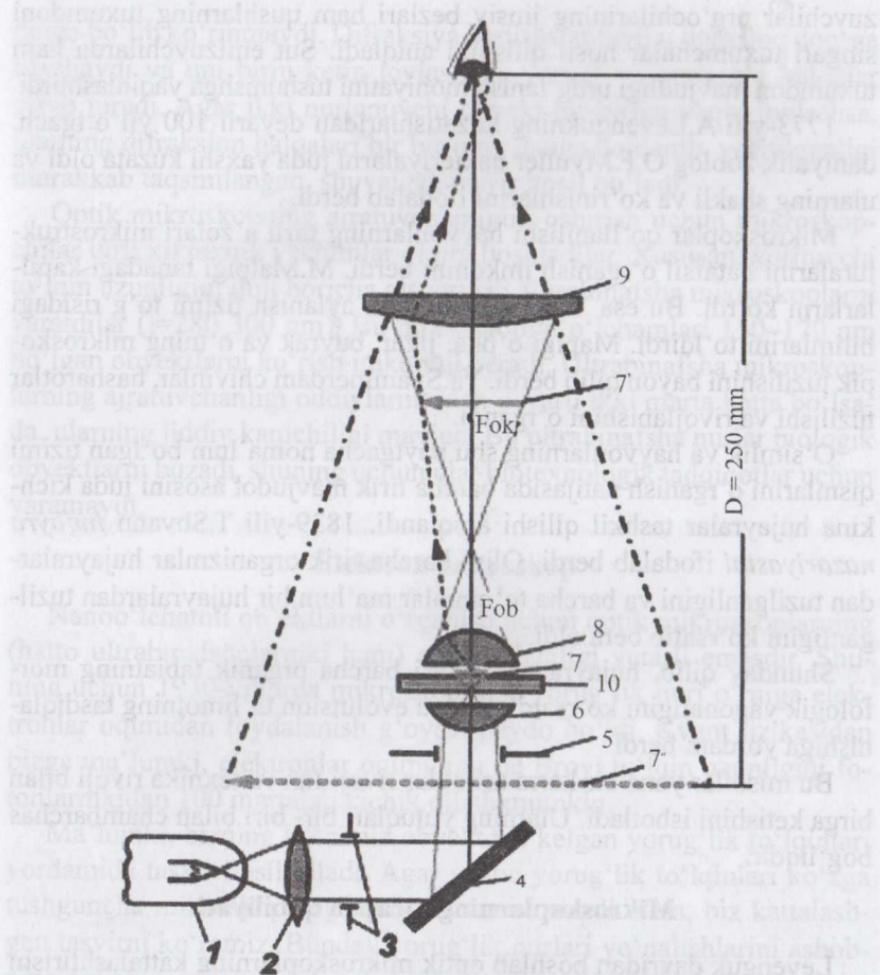
Birinchi optik mikroskop 1609–1610-yilari Galiley tomonidan qurilgan. U ikkita linzadan iborat bo‘lib, biri *okular*, ikkinchisi esa *obyektiv* deb ataladi. Buyumga yaqin tomonda joylashgan obyektiv tasvirni birinchi marta kattalashtiradi, ko‘zga yaqin joylashgan okular esa tasvirni yana bir marta kattalashtiradi.

Odatda, namuna yupqa qatlam ko‘rinishida olinib, undan o‘tayotgan nurda ko‘riladi. Shuning uchun buyum stolchasi ostida *kondensor* deb ataluvchi linzalar va yorug‘lik manbayi majmuasi joylashgan bo‘ladi. Ular manba yorug‘ligini to‘plab, uni quyiroqda turgan buriluvchi oyna orqali namunaga tushirib beradi. 5.1-rasmda optik mikroskopning ishlash sxemasi ko‘rsatilgan. 18-asrdan boshlab mikroskop rivojlanishi asosan, uning mexanik qismlari sifatini yaxshilash hisobga olib borildi. Linzalar sirtini silliqlash va to‘g‘rilash usullari shu darajada takomilashdiki, 19-asr boshlarida ular tasvirni 1000 marta kattalashtira olardi.

Mikroskoplarning fabrikalarda ko‘plab ishlab chiqarilishi va fabrikalar orasidagi raqobat mikroskop narxini pasaytirib yubordi. Natijada ular kundalik laboratoriya asbobiga aylanib qoldi, hatto har bir shifokor yoki talaba ham mikroskop olishga qurbi yetadigan bo‘ldi. Shu vaqt dan boshlab haqiqiy “mikroskop g‘alayoni” boshlandi.

Tadqiqotchilar oldida yangi oldin ochilmagan dunyoga yo‘l ochildi. Kashfiyotchilar ishtiyoqida, ular mikroskop ostida nima to‘g‘ri kelsa o‘shani – igna uchini, tishga o‘rnashgan kirni, qon va yomg‘ir tomchisini va h.k. qo‘yib tekshira boshladilar. Birin ketin yangi kashfiyotlar qilina boshlandi.

Iqtidorli havaskor mikroskopchi A. Levenguk chuqurchadan olgan suv tomchisida birinchi marta eng sodda mikroorganizmlarni ko‘rdi. Tadqiqotchi ular shaklini ko‘ribgina qolmasdan, ular harakatlanishi usullari va hatto ko‘payishini ham kuzatdi. Ular birinchi marta qonning qizil tanachalari – eritrotsitlar to‘g‘risida ma’lumotlar berdi (5.1-rasm).



5.1-rasm. Optik mikroskopning ishlash sxemasi.

1—yoritgich lampa; 2—yorug'likni tekis taqsimlovchi linza; 3—di-afragma; 4—oyna; 5—apertura diafragmasi; 6—kondensor; 7<sup>11</sup>—obyektning mavxum, kattalashgan tasviri, 7—tekshirilayotgan obyekt, 7—ob-tektning kattalashgan haqiqiy tasviri; 8—obyekтив; 9—okular; 10—buyum stolchasi.

1677-yili Levenguk shifokor – talaba I.Gam bilan birligida spermatozoidlarni kashf etdi. R.de Graaf esa mikroskop yordamida sut emi-

zuvchilar urg'ochilarining jinsiy bezlari ham qushlarning tuxumdoni singari tuxumchalar hosil qilishini aniqladi. Sut emizuvchilarda ham tuxumdon mavjudligi urug'lanish mohiyatini tushunishga yaqinlashtirdi.

1773-yili A. Levengukning kuzatishlaridan deyarli 100 yil o'tgach, daniyalik zoolog O.F. Myuller bakteriyalarni juda yaxshi kuzata oldi va ularning shakli va ko'rinishlarini ifodalab berdi.

Mikroskoplar qo'llanishi hayvonlarning turli a'zolari mikrostrukturalarini batafsil o'rganish imkonini berdi. M. Malpigi tanadagi kapillarlarni ko'rди. Bu esa V. Garveyning qon aylanish tizimi to'g'risidagi bilimlarini to'ldirdi. Mapigi o'pka, jigar, buyrak va o'tning mikroskopik tuzilishini bayon qilib berdi. Ya. Svammerdam chivinlar, hasharotlar tuzilishi va rivojlanishini o'rgandi.

O'simlik va hayvonlarning shu paytgacha noma'lum bo'lgan tizimi qismlarini o'rganish natijasida barcha tirik mavjudot asosini juda kichkina hujayralar tashkil qilishi aniqlandi. 1839-yili T. Shvann *hujayra nazariyasini* ifodalab berdi. Olim barcha tirik organizmlar hujayralardan tuzilganligini va barcha to'qimalar ma'lum bir hujayralardan tuzilganligini ko'rsatib bera oldi.

Shunday qilib, hujayra nazariyasi barcha organik tabiatning morfologik yagonaligini ko'rsatdi, bu esa evolutsion ta'limotning tasdiqlanishiga yordam berdi.

Bu misollar yana bir karra asboblar rivoji fan va texnika rivoji bilan birga ketishini isbotladi. Ularning yutuqlari bir-biri bilan chambarchas bog'liqidir.

### **Mikroskoplarning ajratish qobiliyati**

Levenguk davridan boshlab optik mikroskoplarning kattalashtirishi 300 dan 1500 gacha ortgan bo'lsada, uning ajratuvchanligini yanada ortirish "Reley chegarasi" deb nomlanuvchi nazariy chegara to'sqinlik qiladi.

19-asrning 70 - yillarida ingliz fizigi Jon Reley tomonidan aniqlangan qonunga asosan *mikroskopning chegaraviy eng katta ajratuvchanligi obyektga tushayorgan yorug'lik nuri to'lqin uzunligining yarmiga tengdir*. Masalan, obyekt to'lqin uzunligi  $l=650$  nm bo'lgan lazer nuri bilan yoritilsa, chegaraviy ajratuvchanlik 325 nm ni tashkil qiladi.

Bu noma'qul to'siq yorug'lik difraksiyasi hodisasi bilan tushintiriladi. Nuqtaning hatto mukammal obyektivdagи tasviri ham odam ko'ziga

nuqta bo'lib ko'rilmaydi. Difraksiya hodisasi tufayli u dumaloq dog'ga o'xshaydi va uni birin ketin joylashgan yorug' va qorong'u halqalar o'rabi turadi. Agar ikki nurlanuvchi obyekt bir-biriga yaqin joylashsa, ularning difraksion halqalari bir birining ustiga qoplanib, yoritilganligi murakkab taqsimlangan, shuvalgan tasvir hosil bo'ladi.

Optik mikroskopning ajratuvchanligini oshirish uchun mikroskop-chilar turli xil texnik yechimlar qidira boshladilar. Xususan, yorituvchi to'lqin uzunligini iloji boricha qisqartirib, ultrabinafsha mikroskoplarni yaratdilar ( $\lambda=280,300$  nm). Bu mikroskoplar o'lchamlari 150–170 nm bo'lgan obyektlarni ko'rish imkonini beradi. Ultrabinafsha mikroskop-larning ajratuvchanligi oddiyarnikidan deyarli ikki marta katta bo'lsada, ularning jiddiy kamchiligi mayjud. Bu ultrabinafsha nurlar biologik obyektlarni buzadi, shuning uchun ular biotexnologik tadqiqotlar uchun yaramaydi.

### **Elektron mikroskop**

Nano'lchamli ob'ektlarni o'rGANISH uchun optik mikroskoplarning (hatto ultrabinafshalarniki ham) ajratuvchanligi yetarli emasdir. Shuning uchun 1930-yillarda mikroskoplarda yorug'lik nuri o'rniga elektronlar oqimidan foydalanish g'oyasi paydo bo'ldi. Kvant fizikasidan bizga ma'lumki, elektronlar oqimining de Broyl to'lqin uzunligini fotonlarnikidan 100 martalab kichik qilish mumkin.

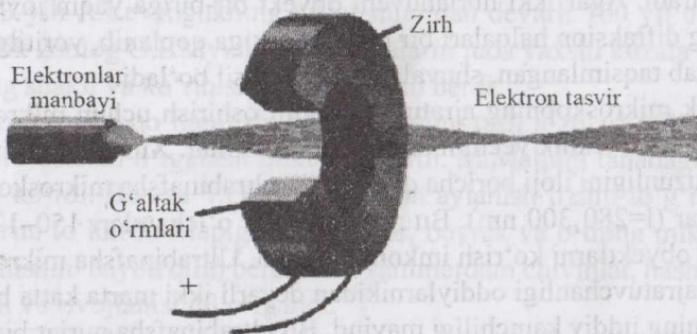
Ma'lumki, bizning ko'zimiz obyektdan kelgan yorug'lik to'lqinlari yordamida tasvir hosil qiladi. Agar ushbu yorug'lik to'lqinlari ko'zga tushguncha mikroskopning optik sistemasi orqali o'tsa, biz kattalashgan tasvirni ko'ramiz. Bunday yorug'lik nurlari yo'nalishlarini asbobning obyektiv va okularidan iborat linzalar boshqaradi.

Qanday qilib elektronlar oqimi yordamida obyekt tasvirini katta ajratuvchanlik bilan hosil qilish mumkin? Boshqacha aytganda, qanday qilib yorug'lik nuri o'rniga zarrachalar oqimi ishlataliganda buyumni ko'rish mumkin? Javob juda sodda. Elektronlar oqimini tashqi elektrik va magnitik maydonlar yordamida samarali boshqarish mumkin.

Elektronlarning elektromagnitik maydonlardagi harakatini o'rGANUV-chi va kerakli maydonlar hosil qiluvchi qurilmalar hisob kitoblarini amalga oshiruvchi fan – *elektron optika* deb ataladi.

Obyektning elektron tasviri tashqi elektrik va magnitik maydonlar yordamida, taxminan, optik tasvir linzalar yordamida hosil qilingan-

dek, yaratiladi. Elektron mikroskopda elektronlar oqimini fokuslovchi va sochuvchi qurilmalar “elektron linzalar” deb ataladi (5.2-rasm).



**5.2-rasm. Elektron linza.** Tok o'tayotgan simli g'altak elektron oqimini xuddi linzalardek fokuslaydi.

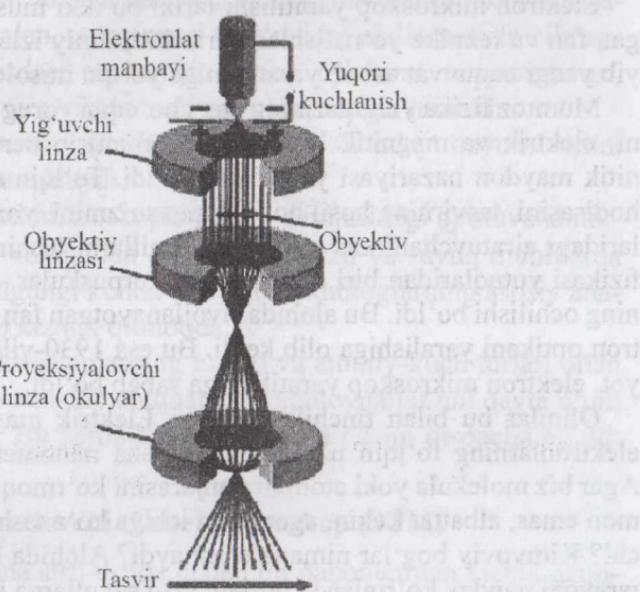
Simli g'altakning magnitik maydoni yig'uvchi yoki sochuvchi linzalardek ishlaydi. Magnitik maydonni jamlash uchun g'altakni nikel va kobalt qotishmasidan tayyorlangan maxsus “zirh” bilan qoplanadi. Uning ichida elektronlar oqimi uchun faqat ingichka oraliq qoladi xolos. Bu usulda olingan magnitik maydon Yer shari magnitik maydoni dan 10, 100 ming marta kuchli bo'ladi.

Afsuski, bizning ko'zimiz elektronlar oqimini to'g'ridan to'g'ri ko'ra olmaydi. Shuning uchun tasvirni “chizish” uchun lyumenitsient ekranlardan foydalaniladi (ular elektronlar ta'sirida nurlanadi). Shu qonuniyat asosida elektron nur naychasi, monitorlar, televizorlar va os-sillograflar ishlaydi.

Elektron mikroskopning turlari ko'p bo'lib, ular ichida eng ko'p qo'llaniladigan rastrli elektron mikroskop (REM). Agar oddiy televizorning elektron-nur naychasi ichiga ekrani va elektronlar manbayi orasiga biror obyektni joylashtirsak, REM ning soddha sxemasini hosil qilamiz.

Bunday mikroskopda qalinligi 10 nm atrofida bo'lgan ingichka elektron-nur dastasi obyekt ustidan gorizontal yo'nalishda yurib uni skanerlaydi va har bir nuqtadan olingan signallarni sinxron ravishda kineskopga beradi.

Butun jarayon televizor ishlashiga o'xshab ketadi. Elektronlar oqimi manbayi bo'lib qizdirilgan volfram tolasi ishlataladi. U qizdirilganda termoelektron emissiya natijasida undan elektronlar uchib chiqadi (5.3-rasm).



**5.3-rasm. Rastrl elektron mikroskopning ishslash sxemasi.**

Elektronlar oqimi namuna orqali o'tganda ba'zi elektronlar namuna atomlari yadrolari yoki elektronlar bilan to'qnashish natijasida sochilib ketadi, boshqalari esa namunadan to'g'ri o'tib ketadi. Ba'zi hollarda rentgen nuri chiqaruvchi ikkilamchi elektronlar paydo bo'ladi. Bu jarayonlarning barchasini maxsus detektorlar qayd qiladi va o'zgartirilgan holda ekranga chiqariladi, natijada o'r ganilayotgan obyektning kattalashgan tasviri hosil bo'ladi.

Bu holda kattalashtirish deb tasvir o'lchamining elektronlar oqimi skanerlagan namuna qismi o'lchamiga nisbati tushiniladi. Elektronlarning to'lqin uzunligi fotonlarnikidan o'n martalab kichik bo'lgani uchun zamonaviy REM larda kattalashtirish 10 million martani, ajratuvchanlik esa bir necha nanometrni tashkil qiladi. Bu esa hatto alohida atomlarni ko'rish imkonini beradi.

Elektron mikroskopning asosiy kamchiligi uning to'la vakuumda ishlashi zarurligidir. Chunki kamera ichida biror gaz bo'lsa, ular elektronlar oqimi ta'sirida ionlashib, tasvirni ancha buzgan bo'lar edi. Undan tashqari, elektronlar oqimi biologik obyektlarni buzib tashlaydi, shuning uchun ularning biotexnologiyaning ko'p sohalarida qo'llanilishi imkonli yo'qdır.

Elektron mikroskop yaratilishi tarixi bu ikki mustaqil rivojlanayotgan fan va texnika yo'nalishlari birlashib, ilmiy izlanishlar uchun ajoyib yangi baquvvat asbob yaratilishiga yorqin misoldir.

Mumtoz fizika yutuqlarining eng cho'qqisi yorug'likning tarqalishini, elektrik va magnitik hodisalarni tushintirib beruvchi elektromagnitik maydon nazariyasi yaratilishi bo'ldi. To'lqin optikasi difraksiya hodisasini, tasvirning hosil bo'lish mexanizmini, yorug'lik mikroskoplaridagi ajratuvchanlikni aniqlovchi omillarni tushintirib berdi. Kvant fizikasi yutuqlaridan biri elektronning korpuskular – to'lqin xossalaring ochilishi bo'ldi. Bu alohida rivojlanayotgan fan yo'nalishlari elektron optikani yaralishiga olib keldi. Bu esa 1930-yillari muhim kashfiyat, elektron mikroskop yaratilishiga sabab bo'ldi.

Olimlar bu bilan tinchilanmadilar. Elektrik maydonda tezlatilgan elektronlarning to'lqin uzunligi bir necha nanometrni tashkil qiladi. Agar biz molekula yoki atomlar panjarasini ko'rmoqchi bo'lsak, bu yomon emas, albatta. Lekin, agar atom ichiga ko'z tashlamoqchi bo'lsakchi? Kimyoviy bog'lar nimaga o'xshaydi? Alohida kimyoviy reaksiya jarayoni qanday ko'rinishda bo'ladi? Bu savollarga javob topish uchun turli mamlakat olimlari neytron mikroskoplar yaratmoqdalar.

Neytronlar protonlar singari atom yadrosi tarkibiga kira oladi, ular elektronlarga nisbatan deyarli 2000 marta og'ir. De-Broyl ifodasiga, asosan, ularga mos keluvchi to'lqin uzunligi ham elektronnikidan 2000 marta kichik bo'ladi, ya'ni neytronlarning de-Broyl to'lqin uzunligi nanometrning mingli ulushi pikometrlarga to'g'ri keladi. Ular yordamida atomlarning barcha jihatlarini tasvirlash imkonli tug'iladi.

Neytron mikroskoplarning bir qancha ijobjiy tomonlari mavjud. Ular zaryadsiz bo'lganligi uchun namunalarning qalin qatlamlariga ham oson kirib boradi, vodorod atomlarini ham yaxshi akslantira oladi. Lekin, bunday mikroskopni qurish ham juda qiyin. Neytronlarning zarjadi yo'qligi uchun ularni magnitik va elektrik maydonlar yordamida boshqarib bo'lmaydi, ularni turli xil datchiklar yordamida sezish ham mushkul. Undan tashqari, og'ir va beso'naqay neytronlarni atomlardan chiqarish ham ancha mushkul. Shuning uchun hozir mavjud bo'lgan neytron mikroskoplar hali mukammallikdan ancha uzoq.

## Skanerlovchi zondli mikroskoplar(SZM)

Faraz qilaylik, sizning ko'zingizni bog'lab, qandaydir buyum to'g'risida ma'lumot berishingizni so'rashdi. Siz nima qilasiz? Albatta, siz buyumni qo'lga olib, uni ushlab ko'rib, qandaydir ma'lumot olishga harakat qilasiz. Lekin, siz har chand urinmang buyumning ba'zi xossalari to'g'risida (masalan, uning rangi to'g'risida) ma'lumot ola bilmaysiz. Shunga qaramasdan, siz buyum *shakli*, *o'chami*, *temperaturasi*, *qattiqligi*, *materiali* to'g'risida ma'lumot berishingiz mumkin.

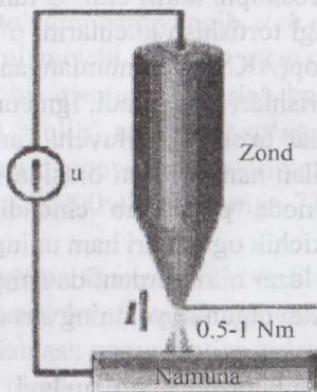
Skanerlovchi zondli mikroskoplar mana shunday buyum sirtini "paypaslash" usulida ishlaydi.

Skanerlovchi zond mikroskoplari atom darajasidagi ajratuvchanlikka ega bo'lib, faqat vakuumda emas, balki gazli va suyuq muhitlarda ham ishlay oladi. Bugungi kunda ular nanotexnologlarning asosiy analitik qurilmasi bo'lib xizmat qilmoqda.

Skanerlovchi mikroskoplarning tunnel va atomiy-kuch turlari bilan yuqoridagi boblarda tanishib chiqqanmiz, xohlovchilar uni qayta o'qib chiqishlari mumkin. Bu yerda biz ularning ma'nosini qisqacha eslatib o'tamiz.

### Skanerlovchi tunnel mikroskop (STM)

STM asosi namuna sirti ustida undan bir nanometrdan kichik uzoqlikda sirpanib yuruvchi juda o'tkir ignadan iboratdir. Tunnel effekti tu-fayli igna uchi bilan sirt orasida *tunnel tok* o'tadi (5.4-rasm).



5.4-rasm. STM ning ishlash sxemasi.

Tunnel tokning namuna bilan igna orasidagi masofaga juda kuchli bog'liqligi (bu masofaning 0,1 nm ga o'zgarishi tunnel tokni 10 marta o'zgartiradi) STM ning yuqori sezuvchanligini ta'minlaydi. Shunday kichik masofada ignani tutib turish uchun tunnel tok qiymatiga bog'liq o'zgaruvchi pezomanipulyatorlar bilan boshqariladigan kuzatuvchi sistema qurilmasi yaratilgan.

Boshqaruvchi signallar qiymatini o'lchab tekshirilayotgan soha balandligini aniqlaydi. Ignani namuna sirti bo'ylab harakatlantirib, bir atom o'lchami qadar aniqlikda sirt tuzilishini aniqlash mumkin.

Tunnel tokini o'lchashga asoslangan ushbu mikroskop yordamida olinadigan tasvirlar sirt yaqinidagi elektronlarning fazaviy taqsimlanishi to'g'risida ma'lumotlar beradi. Yaqqol qilib aytganda, tunnel mikroskop namuna sirti yaqinidagi elektronlar taqsimotini "ko'radi".

### **Atomiy – kuch mikroskop**

Tunnel mikroskop kashf qilingach, butun dunyo olimlari bu asbob o'ziga xos noyob ekanligini tan oldilar. U kashf qilinguncha hech kim sirtni bunday katta aniqlikda, atomma-atom ko'ra olmagan edi. STM larni ham o'ziga xos kamchiliklari mavjud. Uning yordamida faqat elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi materiallarni o'rganish mumkin. Shuning uchun STM yordamida dielektriklar o'rganilganda, ularning sirtini juda yupqa metall qatlam bilan qoplashga to'g'ri keldi, bu esa ba'zan noqulaydir.

1986-yilning oxirida STM ixtirochilaridan biri bo'lgan Binning yangi skanerlovchi mikroskopni taklif etdi. U tunnel tokni emas, balki modda atomlari orasidagi tortishish kuchlarini o'lchaydi. Yangi asbob atomiy – kuch mikroskop(AKM) deb nomlangan. Unda ignaning sirtga tortuvchi kuch o'zgarishlari aniqlanadi. Igna uncha katta bo'limgan atomlar orasidagi kuchlar ta'sirida egiluvchi kantileverga o'rnatiladi. Bu kuchlar igna uchi bilan namuna sirti orasida vujudga keladi. Zond namuna sirtini, tom ma'noda "paypaslab" chiqadi.

Kantileverning eng kichik og'ishlari ham uning ichki sirtidan qaytib fotodiodga tushayotgan lazer nuri yordamida aniqlanadi. Fotodiod toki qiymatiga qarab tekshirilayotgan obyektning sirt relyefi haqida fikr yuritish mumkin.

### **Kantileverlar turlari**

Atomiy - kuch mikroskopiya shunchalik samarali bo'ldiki, uning asosida faqat namuna sirti relyefini emas, balki boshqa ko'rsatkichlarini

ham aniqlovchi turli mikroskoplar yaratildi. Xususan bugungi kunda eng ko'p tarqalgan quyidagi atomiy - kuch mikroskoplarning (AKM) turli ko'rinishlarini ko'rib o'tamiz:

- *Magnitik - kuch mikroskop* (MKM) da zond sifatida uchi magnitlangan igna ishlataladi. Sirtning igna bilan ta'sirlashuvi natijasida sirtdagi mikromagnitik maydonlarni aniqlash va sirtning magnitik xaritasini tuzish mumkin.

- *Elektrik - kuch mikroskop* (EKM) – unda igna uchi bilan namuna sirti kondensator sifatida qaraladi va sirt bo'ylab sig'imning o'zgarishi aniqlanadi.

- *Skanerlovchi issiqlik mikroskopi* namuna sirti bo'ylab temperatura taqsimotini aniqlaydi. Uning ajratuvchanligi 50 nm gacha yetadi. Bundan kichik o'lchamlarda temperaturadek makroskopik kattalikning ma'nosi yo'qoladi.

- *Skanerlovchi friksion mikroskop* sirtni tirnog'ida "tirnab" ishqalanish kuchlari xaritasini chizadi.

- *Magnitorezonans mikroskop* sirtning zonddagi tez o'zgaruvchi magnitik maydonga ko'rsatgan reaksiyasiga qarab alohida elektronlar spinlari tasvirlarini hosil qiladi.

- *Atomiy-kuch akustik mikroskop* qattiq va yumshoq namunalarning har bir nuqtasidagi Yung modulini juda katta aniqlikda o'lhash imkonini beradi.

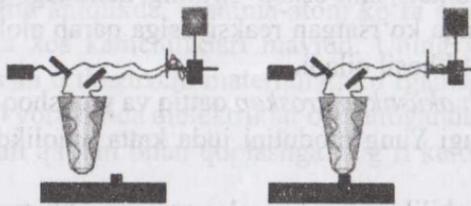
AKM lar kamchiliklaridan biri, ular namuna ichki tuzilishini o'rgana olmaydi. Zond faqat sirt bo'ylab yurgani uchun ichkarini ko'ra olmaydi. Lekin, olimlar bu to'siqni ham yengib, *uch o'lchamli atomiy - zond tomografiya* deb nomlanuvchi haqiqiy *dizassembler* yaratdilar. Ular namunaning ma'lum bir qismini skanerlab bo'lgach, undan bir atom qalinlikdagi qatlamni "yilib" tashlaydi, so'ng shu joyni yana skanerlaydi, bunda har bir yangi atom parametrlari yozib boriladi. Zamonaviy tomograflar sekundiga 20000 atom (soatiga 72 mln. atom) ni "yilib" olishlari mumkin.

### **Yaqin maydon skanerlovchi optik mikroskoplar**

*Yaqin maydon skanerlovchi optik mikroskoplar* (SNOM) alohida e'tiborga sazovordir. Ishlash qonuniyatiga ko'ra ular tunnel mikroskoplarini eslatadi. Faqat ularda zond o'rniga juda ingichka optik toladan qilingan "shaffof igna" ishlataladi. Tunnel tok o'rniga shaffof ignadan o'tayotgan lazer nuri xarakteristikalari o'zgarishlari aniqlanadi.

Qanday qilib obyekt skanerlanadi? Diametri ishlatalayotgan lazer nuri to‘lqin uzunligidan ham kichikroq bo‘lgan optik-tolali zond skanerlovchi namuna sirtiga yaqin olib kelinadi (bu masofa yorug‘lik to‘lqin uzunligidan kichik) va xuddi sirtni “sezgandek” bo‘ladi. “Sezishning” ma’nosи: optika qonunlariga asosan ikki xil optik zichlikka ega bo‘lgan sirtlar chegarasida yorug‘lik nuri sinadi va qaytadi. Bu yerda ham yorug‘lik nuri optik tola uchidan qaytadi. Bunda yorug‘lik nuri toladan uzoq masofalarga chiqib ketmaydi, chunki tola bilan sirt orasidagi masofa to‘lqin uzunligidan kichik. Shuning uchun yorug‘lik nuri toladan biroz “to‘kilib chiqadi” xolos.

Tolaning boshqa uchida qaytgan nurni qabullagich joylashtirilgan. Optik zond namunani tunnel mikroskop ignasi singari skanerlaydi. Agar tekshirilayotgan sirt bilan optik zond uchi orasidagi masofa o‘zgarsa, qaytgan nur xarakteristikasi (amplituda va fazasi) ham o‘zgaradi. Bu o‘zgarishlar qabullagich yordamida qabul qilinib, sirtning relyefini tuzishda foydalaniladi.



5.5 - rasm. Optik skanerlovchi mikroskopning ishlash sxemasi.

Bu usulda ajratuvchanlik 50 nm gacha yetadi, bu oddiy optik mikroskopnikidan o‘n martalab yuqoridir. Undan tashqari, yaqin maydon optik mikroskopiysi biologik obyektlarni o‘rganish uchun juda mos keladi. Chunki, bunda bioobyekt AKM va elektron mikroskoplar holidagi signallar ta’sirlaridan, mexanik yoki ionlashtiruvchi ta’sirlardan mustasno bo‘ladi. Lazerning kam quvvatli, oddiy, yorug‘lik nurlari esa bioobyektga salbiy ta’sir ko‘rsatmaydi.

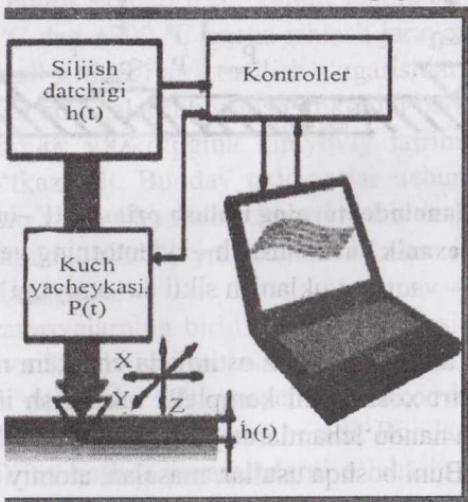
Yaqinda tadqiqotchilar IBM kompaniyasining ko‘p oyoqchasi (“Nanoelektronika va NEMS bobiga qarang”) bilan SNOM ni birlashtirib, yanada kattaroq ajratuvchanlikka erishdilar. Bunday qurilmaning ajratuvchanligi 13 nm atrofida bo‘lishi kutilmoqda, bu esa yorug‘lik to‘lqin uzunligidan bir necha o‘n martalab kichikdir!

### 5.1.9. Nanoindentor

“Nanokimyo va nanomateriallar” bobidan bizga ma’lumki, modalarning aksariyat ko‘philigi nano‘lchamligi holida kimyoviy jihatdan mikroskopik holatidan ancha katta farq qiladi. Xususan, ularning katalitik faolligi o‘zgaradi. Bunga sabab nanoobyeektlarning solishtirma yuzasi (bir atomga to‘g‘ri keluvchi zarracha sirtining yuzasi) oddiy holatdagi moddalarnikidan ancha yuqoriligidadir.

Bu holat ularning *mechanik xossalari* (qattiqlik, plastiklik, bikirlik va h.k.) uchun ham o‘rinli. Amaliy tajribalar ko‘rsatishicha, aksariyat ko‘p materiallarning, submikronli zarralari olmosdek qattiq holatda bo‘lar ekan. Holbuki, ular katta o‘lchamlarda juda yumshoq (masalan, plastilin singari) bo‘lishi ham mumkin. Boshqacha aytganda, nanokontakt sharoitida material qattiqligi uning makroskopik qattiqligidan juda ko‘p marta katta bo‘lishi mumkin. Bu hol o‘lchamlar 100 nm dan kichik bo‘lganda juda yaqqol namoyon bo‘ladi. Birinchi qarashda hayron qolalri bo‘lgan bu jarayonning ko‘rgazmali modeli sifatida metall prujinani o‘xshatish mumkin. Prujinani siqish u yasalgan materialni siqishdan ko‘ra osonroq.

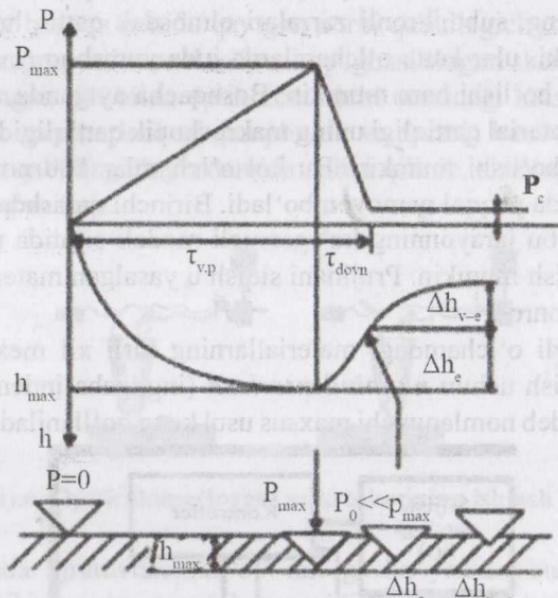
Nanometrli o‘lchamdagи materiallarning turli xil mechanik xossalariни о‘рганиш учун **nanoindentorlash** (inglizcha indent-chuqurcha hosil qilish) deb nomlanuvchi maxsus usul keng qo‘llaniladi (5.6-rasm).



5.6-rasm. Nanoindentoring ishlash sxemasi.

Nanoindentorlash tekshirilayotgan yuzaga faqat mexanik ta'sir qilishga asoslangan bo'lib, sirt relyefini ko'rishni talab qilmaydi. Usul juda sodda bo'lib, zondni namuna sirtiga juda katta aniqlikda, bir necha nm chuqurlikkacha tushirishdan iborat. Bunda zondni tushirishda qo'yilayotgan mexanik kuchlanish uzluksiz yozib boriladi.

Keyin bu ma'lumotlar asosida "bosim kuchi - zondning tushish chugurligi" diagrammasi chiziladi. Bu diagrammadan nanometr o'lchamli materialni tavsiflovchi o'nlab parametrлarni chiqarib olish mumkin (5.7-rasm).



**5.7-rasm. Nanoindentoring ishlash prinsipi ( $P$ -indentorga berilayotgan mexanik kuchlanish:  $h$  – indentoring vertikal siljishi;  $t$  – vaqt,  $\tau$  – yuklanish sikli davomiyligi).**

Bu sodda va arzon usul ko'z ostimizda eng kam material bo'lgan holda, ularning sirt xossalari kompleks tekshirish imkonini beradi. Nanoindentorlash nanoo'lchamlarda jarayonlar dinamikasini o'rganish imkonini beradi. Buni boshqa usullar, masalan, atomiy - kuch, elektron va optik mikroskoplar yordamida amalga oshirib bo'lmaydi.

## Skanerlovchi zondli laboratoriylar

Skanerlovchi zondli mikroskoplar to‘g‘risida gap ketganda “Nanotexnologiya - MDT” kompaniyasini eslab o‘tmasdan iloji yo‘q. Ushbu kompaniya 10 yildan buyon sifati jihatdan boshqa davlatlarnikidan qolishmaydigan STM, ASM, SBOM nomli qurilmalar ishlab chiqaradi. Undan tashqari, kompaniya yangi nanoqurilma – skanerlovchi zondli laboratoriylar yaratmoqda(SZL). Bu turli zondli qurilmalar to‘plamidan iborat kompleksdir. Ushbu laboratoriya obyekt sirti to‘g‘risida batatsil ma‘lumotlardan tashqari, uni spektral analiz qilish, uch o‘lchamli tuzilishini tiklashi va tekshirishlarni avtomatlashtirishi ham mumkin.

SZL larni biologiyada qo‘llash juda cheklangan, chunki tirik organizmlar nisbatan yirik va harakatchandir. Optik mikroskoplar esa kichik ajratuvchanlikka ega bo‘lib, 1 mikrondan kichik o‘lchamli obyektlarni o‘rganish imkonini bermaydi.

Bu to‘siqlarni yengish uchun obyektni optik usulda o‘rganish qurilmalari yaratilmoqda. Kerak joyda esa alohida qismlarni SZL lar orqali o‘rganish mumkin. Bunda optik mikroskop va SZL orqali olingan tasvirlar aniq ustma-ust tushadi. Shu usulda obyekt haqida olingan ma‘lumotlarni uning kimyoviy tarkibi haqidagi ma‘lumotlar bilan to‘ldirilishi mumkin. Bu maqsadlar uchun kompleks tarkibiga skanerlovchi spektrometr va tezkor lazer kiritilgan.

“NTEGRA” nomli skanerlovchi zondli laboratoriya namuna temperaturasini  $-30^{\circ}\text{C}$  dan  $+300^{\circ}\text{C}$  gacha ishlash jarayonida o‘zgartirishi mumkin. Bu kristall sirtidagi turli tuzilish o‘zgarishlarini : kristallanish, suyulish, o‘sish va boshqalarni kuzatish imkonini beradi.

Tirik organizmlar va ko‘pgina kimyoviy tajribalarni skanerlash suyuqliklarda o‘tkaziladi. Bunday tadqiqotlar uchun yopiq suyuqlik yacheykasi ishlangan bo‘lib, unda suyuqlikni haydash va isitish mumkin. Uning yordamida tirik hujayralar va ta’sirlashuvchi makromolekulalarni o‘rganish mumkin.

Zondli laboratoriyalarning birida o‘ta yupqa kesimlar oluvchi kriotom qurilmasi va SZL bazasi mujassamlashgan. Yangi kesilgan muzlatilgan biologik namunani SZL yordamida tezkor o‘rganish ularning ichki tuzilishi tasvirini olish imkonini beradi. Bunda qattiqlik, yopish-qoqlik, elastiklik va boshqa parametrlarni o‘lchash va xaritalarini tuzish mumkin. Mikrotom yordamida ultrayupqa qatlamlarni kesish nati-

jasida hosil bo'luvchi sirlarni birin-ketin tahlil qilish, obyektning uch o'lchamli tuzilishini tiklash imkonini bor.

### **"UMKA" ("OQIL") nomli o'quv nanotexnologik qurilma**

E'tibor bering, skanerlovchi zondli mikroskoplar tafsifnomalarida yozilgandek, ularni ishlatish oson emas. Zond ignasini ozgina o'tmaslashishi yoki shikastlanishi, namuna sirtining keraklicha toza emasligi atom darajasidagi aniqlikka erishishga katta xalaqit beradi. Undan tashqari, asbob aniq ishlashi uchun tebranish va shovqindan himoyalangan bo'lishi kerak. Laboratoriya yaqinidan o'tayotgan tramvay ham sezgir asbobni ishdan chiqarishi mumkin.

Shuning uchun skanerlovchi mikroskop bilan birga vibro-, termo- va shovqindan himoyalovchi qurilma qo'shib beriladi. Undan tashqari, atom darajasida ishlash uchun bu mikroskoplar chuqur vakuum va o'ta past temperaturalarda turishi lozim. Bularning hammasi ularning o'lchamlari va narxiga ta'sir qiladi. O'ta darajadagi mikroskop katta joyni egallaydi va yuz minglab dollar turadi. Hozirgi sharoitda bunday mikroskoplarni oliv o'quv yurtlari va xususiy laboratoriylar tugul, hamma tadqiqot markazlari ham sotib olishga qodir emas.

Shu nuqtayi nazardan "Nanoindustriya" konserni tomonidan yaratilgan, noyob "UMKA" ("OQIL") nomli skanerlovchi tunnel mikroskopni eslab o'tish joizdir. Boshqa davlatlarda ishlab chiqilgan o'xshashlaridan farqli ravishda "UMKA" uncha katta bo'lmagan keysiga sig'adi, narxi 9 ming dollardan kam bo'lib, xona temperurasida ishlaydi(5.8-rasm).



**5.8-rasm. "UMKA" nomli skanerlovchi tunnel mikroskopi.**

Bunday qurilma nanotexnologlarni o'rgatish uchun yaratilgan bo'lib, uni tadqiqot va laboratoriya ishlari uchun ishlatsa ham bo'la di. Ular fizika, kimyo, biologiya, tibbiyot, genetika va boshqa sohalar da atom - molekular darajada izlanishlar olib borish imkonini beradi. "UMKA" kompleksi tunnel mikroskop, vibrohimoya tizimi, test namunalari to'plami, sarflanuvchi materiallar va asboblar to'plamidan iborat.

O'chiq kodli dastur tajribani boshqarish va natijani oddiy kompyuter yordamida kuzatish imkonini beradi. Quyida "UMKA" ning jahon analoglariga nisbatan ustunliklari keltirilgan.

- ajratuvchanlik 0,01 nm gacha;
- narxi arzonligi;
- kichik o'lchamlari;
- ishlash uchun maxsus o'qitish shart emas;
- yog'lanuvchi va ta'mirlanuvchi mexanik qismlari yo'q;
- yuqori vibro- va shovqindan himoyalanish barqarorligi;
- maxsus xona yoki fundament talab qilmaydi;
- vakuumda va noagressiv gazlarda ishlaydi;
- pardalar va bioobyektlarni metall qoplamasiz skanerlashi mumkin;
- yuqori temperaturaviy turg'unlik;
- tez jarayonlarni kuzata oluvchi skanerlashning katta tezligi;
- ochiq kodli, moslanuvchi dastur ta'minoti;
- boshqarish uchun oddiy kompyuterdan foydalilanadi va h.k.

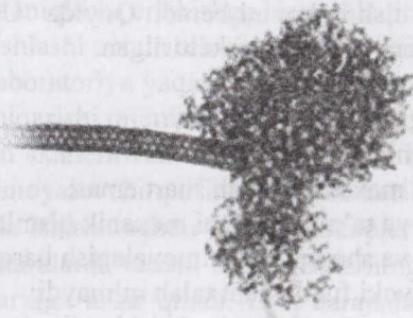
Eslab ko'ring, 19-asr boshida optik mikroskoplarning arzonlashuvni nimalarga olib kelgan. Mikroorganizm va hujayralarni o'rGANISHGA keng imkoniyatlar ochilib, insoniyat hayot va uning asosida yotuvchi qonuniyatlar to'g'risidagi bilimlarini juda tez boyitgandi.

Bugun "UMKA" XXI-asrning iqtidorli tadqiqotchilar uchun atom va molekulalar dunyosiga kirib borishga keng sharoit yaratib beradi. Uning ixchamligi, ishonarligi, keng imkoniyatlari va asosiysi – arzonligi juda ko'p ilmiy laboratoriyalarda nanotexnologiyalarni faqat nazariygina emas, balki amaliy o'rGANISH imkonini beradi. Demak, yangi kashfiyotlar va yutuqlar davri ham uncha uzoq emas.

### Nanotarozi

Milli- va mikrogramm massali jismlarni o'Ichovchi tarozilar bilan hozir hech kimni hayron qoldirib bo'lmaydi, chunki ular deyarli barsha muktab fizika kabinetlarida bor. Ammo, juda katta va juda kichik obyektlarni bevosita tortib, o'lchab bo'lmaydi. Bunga sabab ularni taqqoslash uchun massa etalonlari yo'q.

Massasi bir mikrogrammdan o'n million marta kichik obyektni taro-zida tortib bo'ladimi? Yaqinda AQSH ning Jorjiya shtatidagi texnologiya instituti xodimlari ana shunday mikroskopik jismlarni tortuvchi eng sezgir va eng kichik tarozi yaratdilar. U uzunligi 4 mikron bo'lgan ingichka kantilever-nanonaychadan tuzilgan (nanonaycha tarozi pallas vazifasini o'taydi).



**5.9-rasm. Nanonaycha asosidagi nanotarozi.**

5.9-rasmda massasi 22 femtogramm bo'lgan virusni tortish amali tasvirlangan ( $1\text{fg}=10^{-15}\text{g}$ ).

Nanotarozining ishlashi maktab fizika kursidan yaxshi tanish bo'lgan hodisaga asoslangan: prujinali mayatnik tebranishining xususiy chastotasi prujina bikirligi ( $k$ ) va osilgan yuk massasi ( $m$ ) ga bog'liq:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Boshqacha aytganda, prujina bikrliqi va tebranish chastotasini bilgan holda yukning massasini osongina topish mumkin. Xuddi shunday usulda nanonaycha uchiga biriktirilgan zarra massasini aniqlash mumkin. Yaratilgan tarozilarda kantileverni lazer nuri impulsi yoki o'zgaruvchan elektrik maydon ta'sirida tebranma harakatga keltiriladi. Zarracha kantileverga ulanishidayoq uning xususiy tebranish chastotasi kamayadi. Kantilever ingichka lazer nuri dastasi bilan yoritiladi, bu nur uning tebranish chastotasidagi eng kichik o'zgarishlarni ham sezsa ola-

di. Qo'shimcha massa qo'shilishi tufayli chastotaning o'zgarishi kanti-leverdan qaytgan lazer nuri tebranishlari orqali topiladi.

Agar nanonaycha bikirligi ma'lum bo'lsa, rezonans chastota siljishini bilgan holda zarracha massasini aniqlash mumkin. Qo'shilgan massa (u juda kichik bo'lsa ham) oddiy hisoblashlar yordamida aniqlanishi mumkin. Nanotarozida massasi  $10^{-15}$  g atrofida bo'lgan obyektlarni "tortish" mumkin! Shunday massa taroziga biriktirilganda rezonans chasta 40% ga kamayadi. Nanotarozilardan boshqa bundan kichik zarrachalar massasini o'chovchi aniqroq usullar hozircha yo'q. Tadqiqotchilar bu usulda hatto viruslarni tortib ko'rdilar.

Nanonaychali tarozilar bakteriyalar, hujayralar, biomolekulalar va boshqa biologik obyektlar massasini aniqlashda keng qo'llanilmoqda.

### Spektroskopiya

Nanotuzilmalarni o'rganishda ularning massasi yoki atomlar joylashishidan tashqari, qanday moddadan tashkil topganini bilish ham juda muhimdir. Namunaning kimyoviy tarkibini aniqlash, ya'ni u yoki bu kimyoviy elementlar borligini bilish spektroskopiya usullari bilan amalga oshiriladi. Spektroskopiya moddani nurlanish, yutilish, qaytish yoki sochilish spektrlarini o'rganuvchi turli asboblardan foydalanadi.

Spektr – bu modda elektromagnitik nurlanish intensivligining to'lqin uzunliklar bo'yicha taqsimlanishidir.

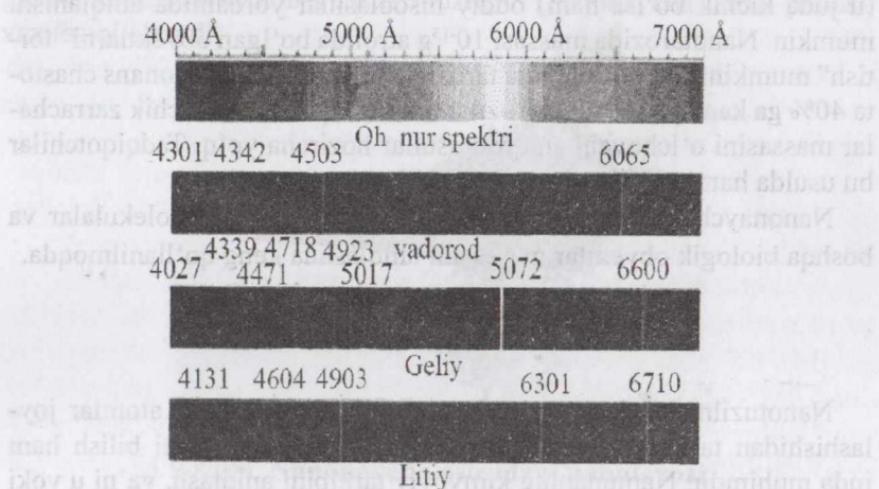
Atomdag'i elektronlar energetik sathlarining o'zgarishi turli chastotadagi fotonlar yutilishi yoki chiqishiga olib keladi. Turli kimyoviy elementlarning nurlanish spektrlarini bilgan holda, biror modda spektriga qarab uning kimyoviy tarkibini aniqlash mumkin.

Rus olimi N.Surin tomonidan yaratilgan zamонави spektrometrlardan lyuminessensiya, sochilgan nurlar, qaytgan nurlar va obyektdan o'tib ketgan nurlarni o'rganish imkonini beradi.

Bu faqat namuna tarkibi haqidagini emas, balki unda ketayotgan jayronlar to'g'risida ham juda ko'p ma'lumotlar beradi.

Spektrometr yordamida, masalan, namunadagi nanozarralar sonini aniqlash mumkin. Ma'lumki, eritmalardagi nanozarralar o'chami taxminan bir xil bo'ladi, lekin, vaqt o'tgan sayin ular kattaroq ushoqchalarga birikib cho'kib qoladi. Mos holda, ularning eritmadiagi soni kamayib boradi. Endi bu eritmagan bir tomchi olib, spektrometrga

joylashtiramiz. Nanozarralar materiali spektri intensivligiga qarab eritmadagi ularning atomlari zichligini aniqlash mumkin. Bu zichlikni bitta nanozarradagi atomlar soniga bo'lsak, eritmadagi nanozarralar zichligi kelib chiqadi (5.10-rasm).



5.10-rasm. Oq nuring va birinchi uchta kimyoviy elementning spektrlari.

## 5.2. Nanostrukturalarni modellashtirish

Har qanday nanoobyektni yaratishdan oldin, u nanorobot bo'ladimi yoki nanomolekulami, avval uning tuzilishi va yaratish texnologiyasini bat afsil ishlab chiqish zarur. Xo'sh buni qanday qilish mumkin, agar bunday tuzilmalarni ko'z bilan ko'rib ham bo'lmasa? Qimmatga tushuvchi nanosistemalarning yangi turlarini yaratishdan oldin muhandislar ularni qaysilari ishlaydi va qaysilari ishlamasligini tushunish maqsadida dastavval ularning modellarini yaratadilar.

Molekular modellar har xil bo'lishi mumkin. Eng soddasi, maktab kimyo kabinetlarini bezab turuvchi, rangli sharchalardan qilingan *fizik modellaridir*. Bunday modellar sodda va ko'rgazmali bo'lib, mukammallikdan ancha yiroqdir. Axir atomlar – bu qattiq plastik sharchalar emasku, ular o'z qonunlari bilan yashovchi murakkab fizik tizimlardir. Kuchli matematik apparatga asoslangan *kompyuterda modellashtirish*, nanotizimlar yaratishda muhim o'rinn tutadi.

Kompyuterda modellashtirish nimadan iborat? Ko'pchilik kitobxonlar avtomatlashtirish loyihalari tizimlari (ALS) to'g'risida tasavvurga ega bo'lsalar kerak. (ingilizchasiga SAD - computer aided design). Oddiy muhandislar, dizaynerlar, arxitektorlar anchadan buyon kompyuterda tuzilgan modellardan foydalanib kelishadi. Ular MathCAD, AutoCAD, ArchiCAD va boshqa dasturlarni qo'llashadi.

Molekular muhandis ijodi arxitektornikiga juda o'xshashdir. Arxitektor binoni nimaga mo'ljallanganligidan kelib chiqqan holda uning pishiqligini, turg'unligini, qurish qulayligini, narxini, atrof-muhitiga ta'sirini hisob - kitob qiladi. Bunda nazariy ma'lumotlarga asoslangan hisoblashlar ko'pchilagini kompyuter o'z zimmasiga oladi. Kvant qonunlarni yaxshi bilish imkonini beruvchi zamонави bilimlar darajasи nanotizimlarni oldindan hisob kitob qilish va modellashtirish SAD larnikiga o'xhash amaliy masala bo'lib qoldi. Nanotexnologiyalarni matematik modellashtirishning bir qancha turlari mavjud:

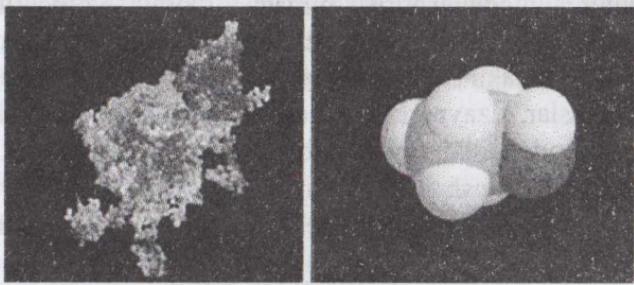
Modellashtirish turi	Dasturlar
Vizuallashtiruvchi	RasMol
Hisoblash	Chem 3D
Injener	NanoXplorer

Quyida biz ularning har biriga qisqacha to'xtalib o'tamiz.

### Vizual modellashtirish

Vizuallashtiruvchi dasturlar ichida eng soddasi bo'lgan Ras Mol hech narsani hisoblamaydi, u faqat bo'lajak nanotizimni uch o'lchamli ko'rinishda kuzatish imkonini beradi.

Dastur yordamida nanostrukturani yaxshilab ko'rish, uni almash tirish, kimyoviy elementlarni, bog'larni, guruhlarni kuzatish va natijani grafik fayliga jo'natish mumkin. Internetdagi [www.pdb.org](http://www.pdb.org) saytida fanga ma'lum barcha oqsillar va biomolekulalarning modeli keltirilgan. [www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru) saytida esa bo'lajak nanomashinalar qismlari ning modellari ham mavjud(5.11-rasm).

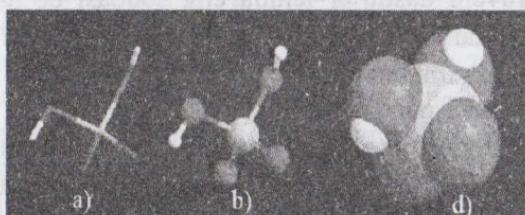


**5.11-rasm. SV40 virusi va etil spirtining Ras Mol dastur oynasidagi tasviri.**

### Hisoblash modellari

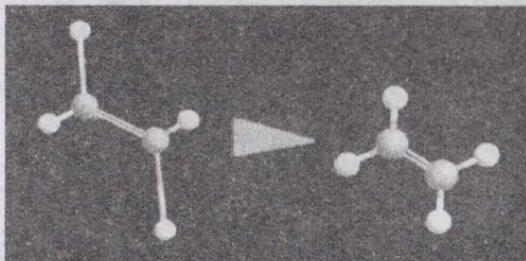
Begona modellarni tomosha qilish yaxshi albatta, lekin uni o'zingiz yaratishingiz ancha qiziqarlidir. Buning uchun kvant mexanikasi, molekular dinamika va turli xil statistika usullaridan foydalanuvchi matematik modellashtirishdan foydalaniladi. Ular yordamida obyektni faqat uchta o'lchamda ko'ribgina qolmasdan, unga temperatura, elektromagnitik maydon, gamma kvantlar ta'sir qilganda o'zini qanday tutishini ham kuzatish mumkin. **Chem 3D** deb nomlanuvchi taniqli dasturni ko'rib o'tamiz. Grafikli interfeys uni juda qulay va tushunarli qiladi:

- Har qanday kimyoiy ifodani yozgandayoq ekranda avtomatik ravishda uning molekulasi grafik tasviri hosil bo'ladi.
- Molekulalarni tasvirlashning turli ko'rinishlari mavjud: sterjenli, shar va sterjenli, Van-der-Vaals va boshqalar(5.12-rasm).



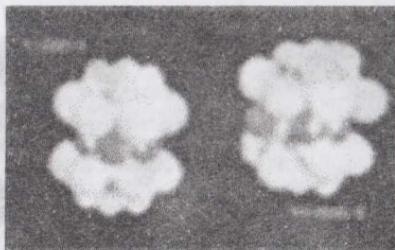
**5.12-rasm. Sulfat kislotosi  $H_2SO_4$  modeli: a) sterjenli, b) shar va sterjenli, d) Van-der-Vaals ( $H_2SO_4$ ).**

- Nanotizimlarni “qo‘lda” yig‘ish mumkin va Chem 3D atomlar-ning haqiqiy joylashishini topib, uni optimallashtiradi(5.13-rasm).



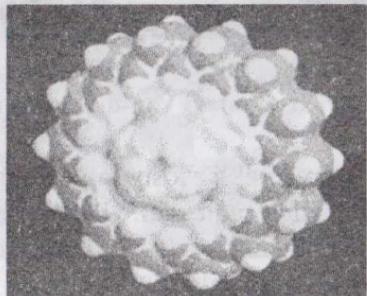
**5.13-rasm.** Etilen molekulasi ( $C_2H_4$ ) shunday ko‘ringan bo‘lar edi.

- Molekulyar mexanik nanotizimni “qizdirishi”, unga elektromagnitik maydon bilan ta’sir etib, bu ta’sirlashishlar dinamikasini ko‘rish mumkin(5.14-rasm).



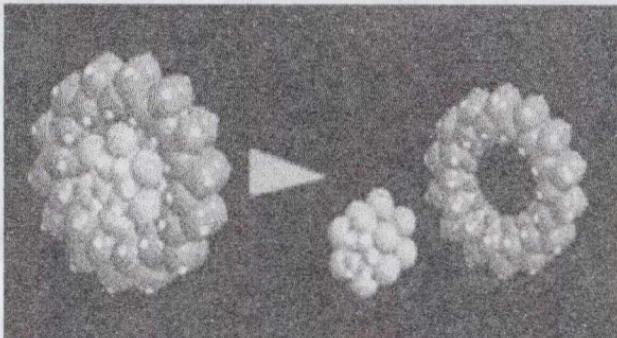
**5.14-rasm.** Nanotizim 1000 K gacha qizdirilgan.

- Ancha murakkab tizimlarni ham modellashtirish mumkin (5.15-rasm).



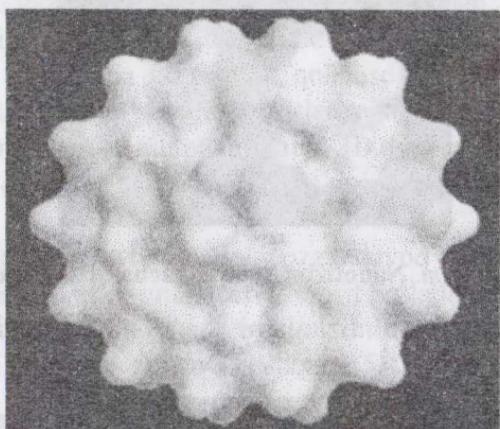
**5.15-rasm.** Murakkab nanomexanizm modeli

- Guruhlar tuzish va ularni boshqarish mumkin (5.16-rasm).



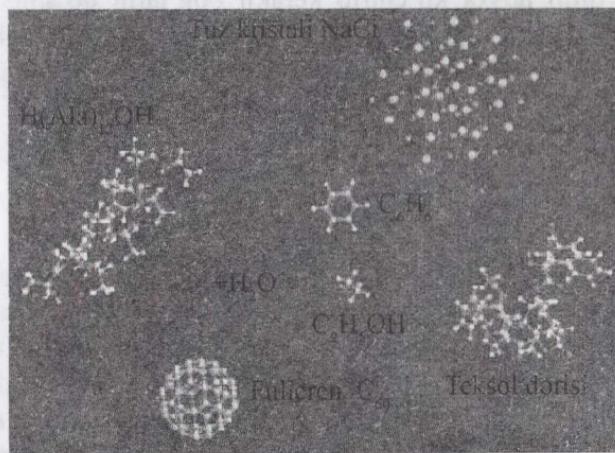
**5.16-rasm. Nanotuzilmani yig'ish, bo'lish va ekran bo'ylab .  
ko'chirish mumkin.**

- Nanostrukturining haqiqiy ko'rinishini hosil qilish mumkin, ya'ni atomiy - kuch mikroskopda u shunday ko'rinar edi (5.17-rasm).



**5.17-rasm. Nanoobyekt sirtidagi Van-der-Vaals kuchlari tasviri**

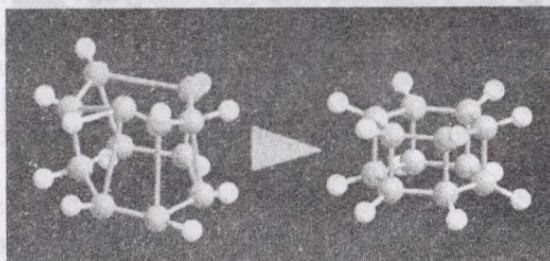
- Nanomodellar uchun kerakli asosiy molekulalar yaratib bo'lingan va ular ma'lumotlar bazasida saqlanadi. Ular hammaga tanish bo'lgan  $H_2O$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_6H_6$ , ATF moddalari va turli xil dorilar va biomolekulalar-dan iborat murakkabroq molekulalar(5.18-rasm).



5.18-rasm. Murakkab va sodda molekulalarga misollar.

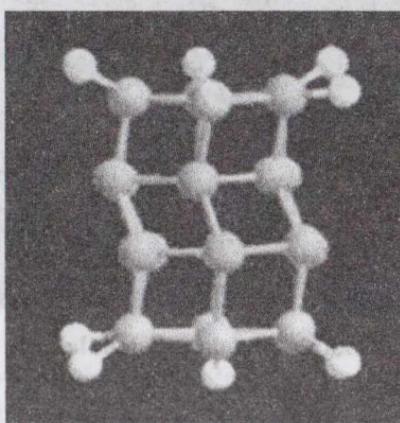
- Agar alohida atomlardan ma'lum bir tuzilma hosil qilish zarur bo'lsa va uning haqiqatda qanday ko'rinishini ko'rmoqchi bo'sak, unda ushbu atomlarning Mendeleyev davriy tizimidagi ramzini tanlab ularni yaratish va keyin o'zaro kimyoviy bog'lash mumkin (albatta, bu tizim kimyoviy qonunlarga to'g'ri kelishi kerak).

Hosil bo'lgan tuzilma biz uchun "tartiblanmagan" bo'lib ko'rinishi mumkin. Bu bizga shart emas. Baribir kompyuter, biz atomlarni qanday joylashtirmaylik, kvant mexanikasi tenglamalarini yechgan holda, bizdan aniqroq joylashtiradi. Endi bu bizning tasavvurimiz mevasi emas, balki atomlarning kimyoviy bog'lanishlarga asoslangan haqiqiy joylashishidir. Bunday tuzilma tabiat qonunlariga zid kelmaydi, demak, uni qachondir yaratish mumkin (5.19-rasm).



5.19-rasm. Energiyani minimallashtirish - tuzilmaning haqiqiy ko'rinishi.

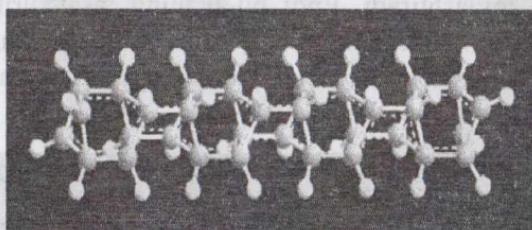
Shunday qilib nusxa ko'chirib kerakli bog'larni qo'shib sterjenni xohlagancha uzaytirish mumkin. Energiyani yana minimallashtirib, tuzilmaning to'g'rlanmayotganini ko'ramiz. Bu xato emas, balki atomlarning haqiqiy joylashishidir (5.20-rasm).



5.20-rasm. Egri nanosterjen.

Dastur bunday sterjen egri bo'lishini ko'rsatdi. "Silliq" sterjen olish uchun boshqa molekular konfiguratsiya o'ylab topish kerak. To'rtta uglerod atomidan tuzilgan molekular konfiguratsiyani sinab ko'ramiz.

Energiyani minimallashtirib quyidagi tuzilmani hosil qilamiz:



5.21-rasm. To'rtta uglerod atomidan iborat nanosterjen "chizmasi"

Ko'rib turganingizdek (5.21-rasm), bu to'g'ri tuzilma bo'lib, uni turli nanomexanizmlarda ishlatsa bo'ladi. Bunday sterjenlar asosida mexanokompyuterlar va ularning xotira qurilmalaWrini yaratish mumkin.



5.22-rasm. To'rt uglerod atomi asosidagi nanosterjen

Bu yerda biz Chem 3D dasturning ba'zi bir imkoniyatlari bilan tanishdik xolos. Dasturning yana ko'p narsa "qo'lidan keladi": u oqsillar tuzilmasini ko'rsatishdan tortib, elektrokimyoviy potensial va molekulyar orbitallarni hisoblashgacha bo'lgan vazifalarni bajara oladi. Bu dastur bilan tanishishning eng oson yo'li - uni kompyuteringizga o'rnatish va sinab ko'rishdir. Uning namoyish nusxasi Nanotechnology News Network kompaniyasi chiqargan "Nanotexnologiya dunyosi" seriyasi diskida mavjud(5.22-rasm).

### Injener modellashtirish

Endi injener – nanotexnologga nanosistemalar yaratish, keyin uni turli testlar orqali tekshirishga yordam beruvchi har xil dasturlar haqida gaplashamiz.

Alkimyogarlar moddalarni sirli belgilari bilan belgilashni boshlaganlaridan buyon insoniyat modda to'g'risidagi ma'lumotlar yozishning juda ko'p turlarini ixtiro qildi. Bular kimyoviy ifodadan tortib, har bir atom koordinatalari ko'rsatilgan kompyuter fayllaridir. Masalan, bir mikron o'lchamli zarrani tavsiflash uchun uni tashkil qilgan trillionlab atomlarning o'zaro joylashuvini hisobga olish zarur. Lekin, oldindan turli "shablonlar" va tayyor qismlarni tuzib olgach, tavsifnomaga faylini kichik hajmga keltirish mumkin. Bu fayl shablon va qismlarning tavsifnomasi va ular orasidagi bog'lanishlardan iborat bo'ladi xolos. Masalan, biror hajmi to'ldirish kerak bo'lsa, "shablon" yordamida hajmdagi eng kichik element hosil qilinadi va uni hajm to'lguncha qo'yib chiqiladi.

Nanodetallar dizayinini tavsiflash parametrik ko'rinishda bo'lishi zarur, ya'ni agar nanonaycha qurish kerak bo'lsa, avval uni bitta bo'lmasi modelini tuzish va uzunligini ko'rsatish kerak bo'ladi. Keyin nanonaychaning butun uzunligini kiritamiz va dastur mustaqil ravishda bitta bo'lmani kerakli marta ulab chiqadi.

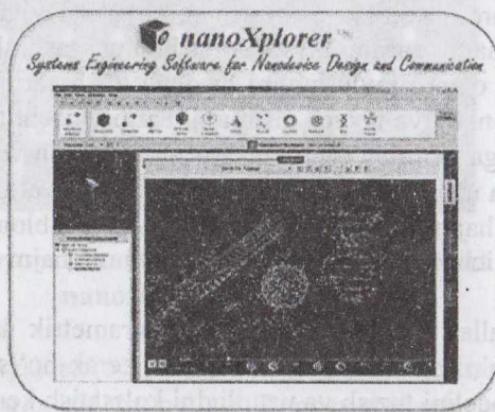
Nano Titan kompaniyasi nanostrukturalarni tavsiflovchi *nanoML* nomli ierarxik til ishlab chiqdi (XML asosida). Uning yordamida nanotizmlarni molekular darajada tavsiflash mumkin. Undan tashqari, ularning asosiy elektrik, optik, fizik xossalalarini, qo'llanilishi to'g'risidagi ma'lumotni, kashfiyotchining mualliflik huquqini aniqlash mumkin.

Nanoqurilma modeli alohida nanotizimlar va molekular mashinalar bilan tavsiflanadi, ular o'z navbatida turli xil molekulalar to'plami, nanonaychalar va ular orasidagi bog'lanishlar bilan ifodalanadi. *nanoML* tili bilan ishslashni osonlashtirish uchun NanoXplorer dastur tuzilgan bo'lib, u AutoCAD dasturga o'xshab nanoqurilmalar modelini yaratishda ishlatiladi.

Ularning farqi bor albatta, lekin nanoqurilmalarni **NanoXplorer** da loyixalash Chem3D dagidan ancha oson, chunki Chem3D nanomashinalarning alohida qismlarini modellashtirish bilan chegaralanadi.

Dasturni o'z kompyuteriga o'rnatgach foydalanuvchi o'zi yaratgan nanotuzilmalarni butun dunyo ma'lumotlar ba'zasiga kiritish imkoniyatiga ega bo'ladi.

Uning yordamida foydalanuvchi o'zining ishlanmasida dastur basidagi oldin yasalgan nanopodshipniklar modeli, vallar, kompyuterlar, harakatlantirgichlar, manipulator va h.k. lardan foydalanishi mumkin. O'zining nanotuzilmasini yaratgach, uni internet orqali dasturini ma'lumotlar bazasiga jo'natishi mumkin. Unda boshqa ixtirochilar foydalanishlariga imkon bo'ladi. Shu tarzda NanoXplorer dasturining ma'lumotlar bazasi doimo to'ldirilib turadi (5.23-rasm).

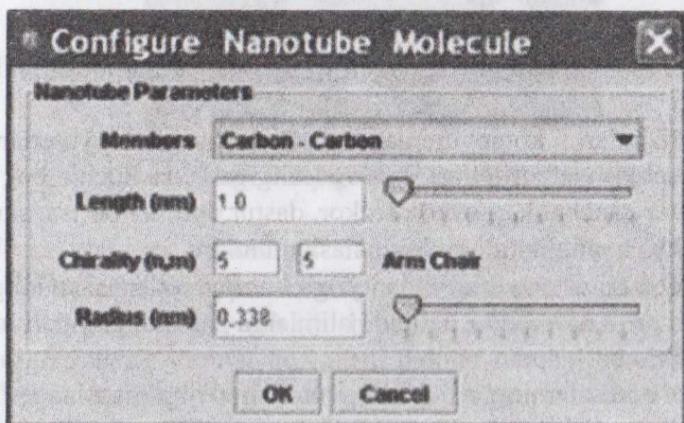


5.23-rasm. NanoXplorer dastur interfeysi

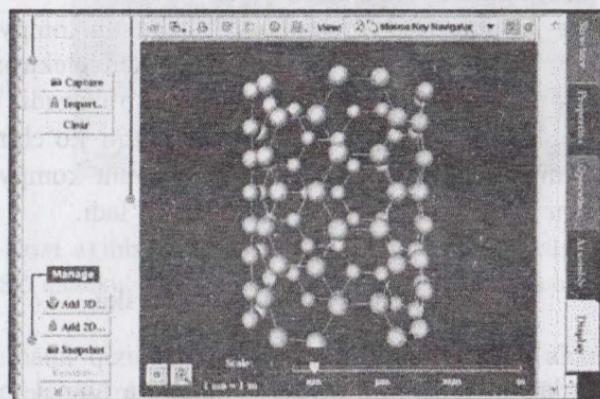
Dastur yordamida biochip va sun'iy enzimlardan tortib to nanorobotlar modelini yaratish mumkin(5.24-rasm).



5.24-rasm. NanoXplorer dasturni asboblar paneli.

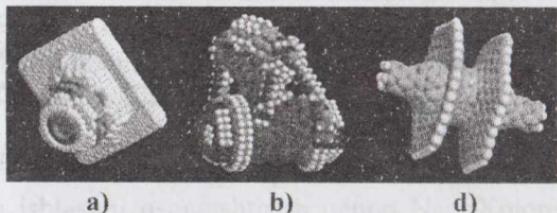


5.25-rasm. NanoXplorer da nanonaycha xossalari sozlash.



5.26-rasm. Olingan nanonaychani ko'rib chiqamiz.

NanoXplorer dastur yordamida juda ko'p murakkab va funksional nanotizimlar yaratilgan(5.27-rasm).



5.27-rasm. Nanosistemalar modellari: a) Ne atomlari uchun nanonasos; b) nanomanipulator; c) uglerodli nanopodshipnik.

Nanotizimlarni kompyuterda modellashtirish kompyuterlar tezligi va hisoblash algoritmlari samaradorligiga juda kuchli bog'liqdir. Kompyuter qanchalik quvvatli, tezkor, dastur optimal bo'lsa, shunchalik murakkab nanotizimlarni loyihalash mumkin.

Mur qonuniga muvofiq yildan yilga kompyuterlar ishchanligi eksponensial ortib bormoqda, natijada olimlarga ham yangi-yangi imkoniyatlar paydo bo'lyapti.

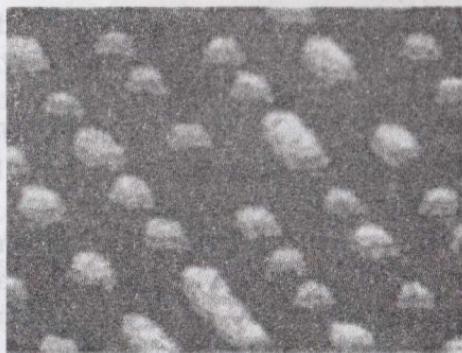
Kvant hodisalarining aniq kompyuter modeliga asoslangan nano-elektronika yutuqlari yanada kuchliroq kompyuterlar yaratish imkonini beradi. Bu kompyuterlar o'z navbatida o'ta murakkab nanotizimlarni, masalan, milliardlab atomlardan tuzilgan nanorobotlarni tezda hisoblash, loyihalash qobiliyatiga ega bo'ladi.

Hozir bir necha atomli tuzilmani modellash uchun kompyuter makroskopik mikrosxemalar labirintlari bo'ylab ulkan elektronlar sonini sekundiga millard marta u yoqdan bu yoqqa o'tkazadi. Bir necha atomlarni hisoblash uchun trillionlab elektronlarni ko'chirish aqlga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun kelajakning kvant kompyuterlarida kvant jarayonlar o'z-o'zini modellashtiradigan bo'ladi.

### 5.3. Mexanosinteza va nanofabrika

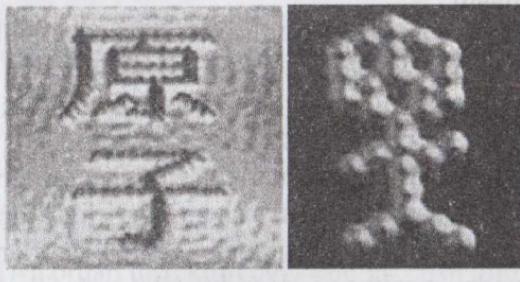
Oxirgi paytlardagi elektron, atomiy - kuch va tunnel mikroskoplari hamda informatsion texnologiyalarning gurkirab rivojlanishi keng tadqiqotchilar ommasiga alohida atomlarni kuzatish imkonini yaratdi.

Rasmda CD-ROM diskning sirti atom aniqligida keltirilgan. Bu ham nanoobyektlarning zamonaviy vizuallashtirish mahsulidir.



5.28-rasm. Atom aniqligidagi CD-ROM diskি relyefi.

Undan tashqari, zamonaviy aniq texnika alohida atomlarni ko'ribgina qolmasdan ularni boshqarishi (masalan, sirt bo'ylab ko'chirishi, bir joydan ikkinchisiga olib o'tishi va h.k.) bu yo'nalish yutuqlaridan "nanolitografiya" shuhrat qozonishi dalolat beradi. "Nanolitografiya" bu alohida atomlar yordamida taglik sirtida turli rasmlarni terishdir. Rasmarda shunday "nanorasm"lardan ayrimlari keltirilgan.



5.29-rasm. a) mis sirtida temir atomlari yordamida terilgan ierogliflar,

b) SO molekulalaridan terilgan "raqsga tushayotgan odam" rasmi.

Bu albatta qiziqarli, ammo buni biror amaliy ahamiyati bormi? Nanotexnologiyaning asosiy maqsadi insonlar ehtiyoji uchun kerak bo'lgan, lekin yuqori sifatlari oziq-ovqat, kiyim-kechak, mebel, maishiy texnika va boshqa narsalar ishlab chiqarishdan iboratdir.

Shuning uchun mikroskopiya yutuqlariga qaramasdan, hali Dreksler yozib o'tgan haqiqiy, skanerlovchi usulli nanotexnologiyaga ancha uzoq. Biror mahsulotni skanerlovchi mikroskop yordamida donalab, atomma-atom yig'ib, ko'plab ishlab chiqarilishni tasavvur qilish qiyin. Agar har bir atomni bir sekundda yig'sak (hozirgi nanotexnologiya qurilmalari tezligi shunday), u holda qo'l soatlarida foydalaniladigan kichkina batareykachani yig'ish uchun  $10^{17}$  yil kerak bo'ladi, bu vaqt bizning koinot yoshidan 10 million marta kattadir!

Bunday raqamlarni ko'rgach, Dreksler yozgan nanotexnologiyani umuman amalga oshirib bo'lmaydigandek tuyuladi. Sababi, biz bunga o'zimiz ko'nikib qolgan nuqtayi nazardan qaraymiz: vaqt va uzunlikni makroskopik birliklarda sekund va metrda o'lchaymiz.

Ammo nanodunyoda butunlay boshqa kattaliklar - metr va sekundning milliarddan bir ulushlari ishlaydi. Agar biz nanometr o'lchamli odamchalar bo'lganimizda, tish davolovchi tabibning bormashinasi ning aylanish tezligi bizga xuddi Yerni Quyosh atrofida aylanishidek sekin bo'lib tuyulgan bo'lar edi. Yer Quyosh atrofida 30km/sek tezlik bilan aylanadi, bu aslida unchalik sekin emas! Oddiy odam ko'zini yumib ochguncha, nanoo'lchamli odamchalar nanoskopik o'lchamli Sankt-Peterburg shahrini qurib bo'lar edi. Oddiy odamlar bu shaharni 300 yilda turishgan!

Shunday qilib, nanometr o'lchamli asboblar va manipulatorlar oddiy makroskopiklariga qaraganda juda tez ishlashlari mumkin bo'ladi. Agar makroskopik robot o'zining og'ir "qo'li" bilan bir necha kilovatt energiya sarflab, bir necha sekundlarda ish bajarsa, nanorobotlar "qo'lchalari" bilan vatning milliarddan bir ulushlaricha energiya sarflab, milliarddan bir sekundlarda ish bajaradi. Undan tashqari, og'irligi 1 gramm bo'lgan sanoat nanoqurilmasi  $10^{17}$  dan ortiq nanomanipulyatorlarga ega bo'lishi mumkin. Bunday qurilma yordamida o'sha yuqorida aytilgan batareykalardan o'nlab mingtasini bir sekundda "shtamplash" mumkin.

Har qanday buyumning egasi xohlagancha ishlab chiqarish qadimdan insonlar fikrini chulg'ab olgan. Alkimyogarlar falsafiy toshi bunga misol bo'la oladi. 21-asrga kelib, insonlar o'rta asrlarga nisbatan tabiat to'g'risidagi bilimlarini beqiyos darajada boyitdi. O'zining qadimgi "ochildasturxon" to'g'risidagi orzularini amalga oshirib, molekuyar darajada turli xil buyumlar yaratma oluvchi – nanofabrikalar g'oyasini ilgari surmoqda(5.30-rasm).

## Nanofabrikating sxematik rejasি



5.30-rasm. Nanofabrikada mahsulot tayyorlash sxemasi.

Bunday nanofabrikalar to‘g‘risida nanotexnologiya asoschisi E.Dreksler birinchi bor gapirib o‘tgandi. Undan keyin boshqa olimlar tomonidan juda ko‘p sonli nanofabrikalar loyihalari taklif qilingan. Ular orasida konvergent va parallel yig‘uvchi nanofabrika loyihalari shuhrat qozondi.

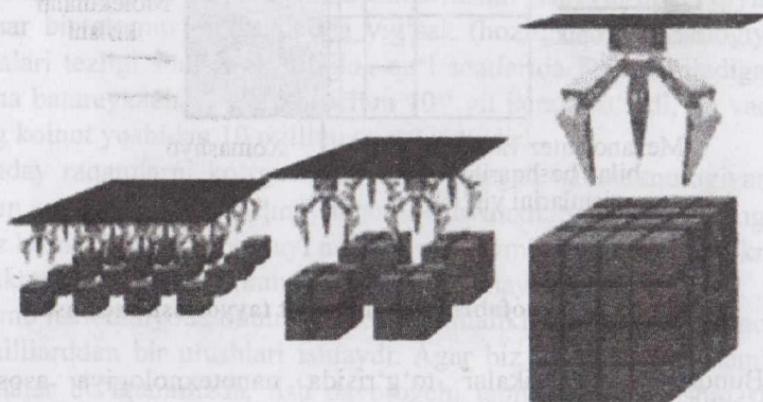
*Konvergent yig‘ish* g‘oyasi AQSH ning mas‘ul nanotexnologiyalar markazi CRN (Center For Responsible Nanotechnology) direktori Krus Feniksga tegishli. Uning mohiyati shundaki, oxirgi mahsulot bir-biriga biriktirilgan kubchalardan hosil bo‘lgan “qurilish bloklaridan” iboratdir.

Butun yig‘ish jarayoni alohida bloklarni tutib olib, kerakli joyga sil-jitib, boshqa bloklar bilan kimyoviy bog‘lovchi fabrikatorlar yordamida amalga oshiriladi.

Fabrikator nanofabrikadagi asosiy qurilma bo‘lib, atomlarni bir-bir bilan almashtirish orqali turli kimyoviy bog‘lar hosil qiluvchi, boshqarsa bo‘ladigan qurilmadir. Amalda fabrikator uni boshqaruvchi kompyuter va xomashyo liniyasi bilan ulangan nanomanipulyatordir. Harakatlanuvchi nanorobot-assemblerdan farqli o‘laroq, fabrikator biror asosga mahkamlangan bo‘lib, qo‘zg‘almasdir.

Konvergent yig‘ish jarayoni quydagicha amalga oshiriladi: oldin eng kichik fabrikatorlar atomlardan elementar “g‘ishtchalar” ni hosil qiladi. Keyin kattaroq fabrikatorlar bu “g‘ishtcha”larni birlashtirib yirikroq bloklarni yig‘adi. Bu bloklar o‘z navbatida, uchinchi turdagи

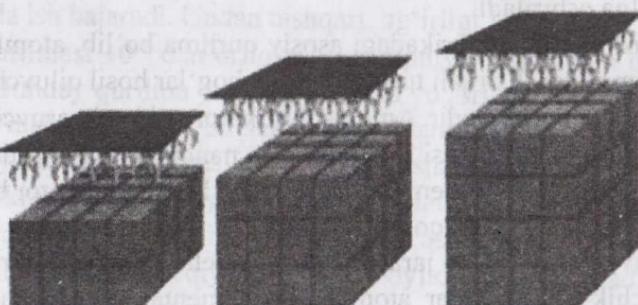
fabrikatorlar yordamida biriktiriladi va h.k. Bu jarayon istemolchi tomonidan buyurtirilgan mahsulot kerakli shaklda, tuzilishda, o'lchamda hosil bo'lguncha davom etaveradi (5.31-rasm).



5.31-rasm. Konvergent yig'ish sxemasi.

Butun jarayon oddiy fabrikadagi robotlashgan yig'ishni eslatadi. Yig'ishni barcha jarayonlar atomma-atom bo'lmasagini, borgan sari bloklar kattalashib borishi hisobiga yig'ish vaqt ham qisqarib, aqlga to'g'ri keluvchi intervalda bo'ladi.

*Parallel yig'ishning* mohiyati yanada soddaroqdir: ko'plab bir vaqtda ishlovchi nanomanipulatorlar matritsasi kerakli buyumni qatlama-qatlam hosil qiladi.



5.32-rasm. Parallel yig'ish sxemasi.

Agar biz balandligi 1 mm li buyum ishlab chiqarmoqchi bo'lsak, 100 ming atom qatlamini terib chiqishimizga to'g'ri keladi. Agar bitta yig'uvchi nanorobot 5000 atomli sirtning 4 qatlamini 1 sekundda yig'sa, butun mahsulotni yig'ish uchun bir necha soat vaqt ketadi. Shunday qilib, yig'uvchi robotchalar tezligi sekundiga 20000 atomdan kam bo'lmasligi kerak.

Albatta buzish qurishdan ko'ra oson, biz oldin aytib o'tgandek, zamonaviy atom tomograflari shunday tezlikda sirtini buzib, har bir atom parametrlarini yozib olishga ulguradi.

Birinchi sodda nanofabrikalar *almazoidlar* asosidagi buyumlar yaratadi deb taxmin qilinmoqda, chunki uglerod atomlari orasida kovalent bog'lar hosil qilish nisbatan osonroqdir. Nazariy hisob kitoblar ko'rsatishicha, mexanosintez usullari yordamida almozoid sirtlar va tuzilmalar tuzishni amalga oshirsa bo'lar ekan. Faqat yig'ilayotgan narsaning atomma - atom tuzilishini oldindan aniq bilish zarur (bunda atomlarning o'zaro joylashishi, ularning turlari, ular orasidagi kimyoviy bog'lar nazarda tutilyapti).

Mahsulotni ko'p sonda ishlab chiqarish uchun jarayon avtomatlashgan va konveyerga qo'yilgan bo'lishi zarur. Hozirgi kunda NEMS lar uzoq vaqt va katta qiyinchiliklar bilan yaratilayotgan bo'lsa, nanofabrikalar esa ularni ishlab chiqarishni va ko'paytirishni ancha yengillashtiradi. Undan tashqari, nanofabrika o'z nusxasini ham yarata oladi, ya'ni replitsiyalanadi.

Trillionlab alohida fabrikatorlardan tuzilgan nanofabrikaning o'zini qanday yaratish mumkin? Bir dona fabrikator yordamida nanofabrika qurish murakkab. Fikrimcha, avval bir necha fabrikatorlar birlashib mini-fabrika hosil qilinadi, so'ngra ularni birlashtirib yanada kattarog'i yasaladi va bu jarayon ishlab chiqarish makroskopik darajaga yetguncha davom etaveradi. Bu "ishlab chiqarish o'sishi" natijasida istalgan nanofabrika yaratiladi.

Bir qarashda, mexanizmlarning o'z-o'zini yaratish g'oyasi ishonarsiz bo'lib ko'rindi. Qanday qilib bunday bo'lishi mumkin? Lekin tabiat juda ko'p, xilma-xil "replikator"lar yaratgan (DNK, viruslar, hayvonlar va h.k.). AQSH ning MAKA (Milliy aerokosmik agentligi) tashkilotining yaqindagi tadqiqotlari ko'rsatishicha, o'z nusxasini yarata oladigan sun'iy mashinalar Pentium IV kompyuterlari chipalaridan murakkab bo'lmas ekan.

General Dynamics kompaniyasi MAKA bilan birgalikda replikatsiyanaluvchi hujayralar avtomatlarini yaratish bo'yicha tadqiqotlar olib bordilar. Bu tizimlarni matematik modellashtirish replikatorlarni, xususan, nanoreplikatorlarni yaratish mumkin ekanligini ko'rsatib berdi.

MAKA ning replikatorlariga qiziqishini sodda qilib tushintirish mumkin. Oy va Marsni o'zlashtirish uchun juda ko'p jihozlar va ishchi kuchi zarur bo'ladi, hatto Yerni o'zlashtirish uchun zarur bo'lganidan ham ko'proq (boshqa sayyoralarini o'zlashtirish uchun uning yeri va atmosferasini o'zlashtirish, yo'llar qurish va h.k. zarur). Sayyoralarga milliardlab tonna yukli millionlab kosmik kemalarni uchirish qimmatga tushadi va aqlga sig'maydi. Lekin, uncha katta bo'lмаган 20 tonna og'irlikdagi makroskopik replikator-robotlar o'zga sayyorada o'ziga kerakli konlarni, elektrostansiyalarni, zavod va fabrikalarni o'zlar qu'rib, ko'paytirib olishlari mumkin. MAKA ushbu loyihada ishtirot etish uchun nanorobotlar bo'yicha taniqli mutaxassis Robert Fraytsni taklif qildi. Replikatorlarni nazariy jihatdan birinchi bo'lib, 1960-yillarda kibernetika asoschisi Fon Neyman o'ylab topgan edi. U paytda bu narsalarni bunchalik tez amalga oshirish mumkinligi to'g'risida hech kim o'ylamagan edi. Hisob-kitoblarga qaraganda birinchi replektorni qurish uchun 10–15 yil kerak bo'ladi.

Nanofabrika blokli tuzilishga ega bo'ladi. Shunda boshqa nanofabrika yordamida uning nusxasini yaratish oson kechadi. Blokli tizim NEMS lar, nanokompyuterlar va nanorobotlarning turli qismlarini yaratish uchun ham qulaydir. Har bir fabrikator 200x200x200nm o'lchamli nanoblok ishlab chiqarishga qodir bo'lishi kerak. Bu tuzilma K.Feniks tomonidan nanofabrikaning elementar "g'ishtchasi" deb qabul qilinadi.

Bunday nanoblok o'z ichiga nanokompyuterni (mexanik yoki kvant) yoki nanofabrikaning uzatish tizimini, generatori, konveyer qismini, nanomanipulatorni olishi mumkin. Bunday nanobloki yaratish uchun nanofabrikatorga bir necha soat zarur bo'ladi. Kris Feniksning nazariy hisoblashlari bo'yicha bitta tayyor nanofabrika ikki kun ichida o'zining aniq nusxasini yarata oladi. Birinchi qarashda bu juda sekin. Ko'rib chiqaylikchi, Yer sharidagi har bir odam bittadan nanofabrikaga ega bo'lishi uchun necha kun kerak bo'lar ekan. Shart shundan iboratki, har bir ishlab chiqarilgan yangi nanofabrika shu ondayoq o'z nusxasini yarata boshlaydi:

## Nanofabrikalarning ko‘payish tezligi

Kun	Ishlab chiqarilgan nanofabrikalar soni	
1	1	
3	2	
5	4	
7	8	
9	16	
11	32	
13	64	
15	128	
17	256	
19	512	
21	1024	Mingta
23	2048	
25	4096	
27	8192	
29	16384	
31	32768	
33	65536	
35	131072	
37	262144	
39	524288	
41	1048576	millionta
43	2097152	
45	4194304	
47	8388608	
49	16777216	
51	33554432	
53	67108864	
55	134217728	
59	268435456	
61	1073741824	Milliard dona
....	....	....

Replikatsiya boshlangandan so'ng ikki oy o'tgach. Yer sharining har bir odamida bittadan nanofabrika bo'lishi mumkin ekan. Bu yaxshimi, yomonmi hali noma'lum, faqat bir narsa aniq: ushbu texnologiya qisqa muddatlarda maksimal miqdorda mahsulot ishlab chiqaradigan qilib yaratilgan.

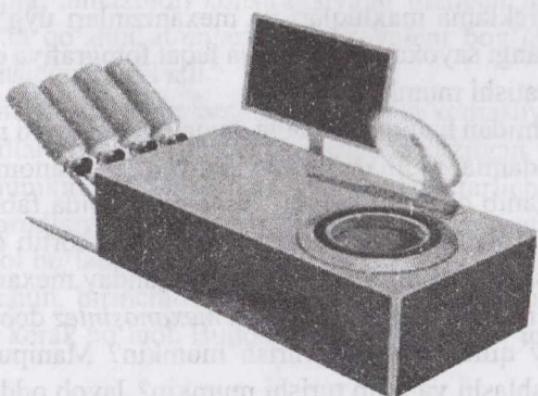
### 5.3.1. Nanofabrikaning funksional bloklari

Nanofabrikaga jiddiy *sovutish tizimi* kerak bo'ladi. Chunki undagi sarflanayotgan quvvat zichligi ancha yuqoridir. (o'lchami  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  m bo'lgan nanofabrikaning nominal quvvati 200 kWni tashkil etadi). Shuning uchun uning tuzilishida tashqi qobiqni Sovutish tizimi hisobga olingan. Makroqismchlarni yig'uvchi bloklar yuqori bosimda, o'rta qismchlarni yig'uvchi bloklar o'rta bosimda, alohida nanobloklar va fabrikatorlar past bosmlarda sovutiladi. Undan tashqari, nanofabrikani markaziy kompyuter bilan bog'lovchi *aloqa tizimi* nazarda tutilga hamda tayyor mahsulotni *tashuvchi tizim* mavjud bo'lishi kerak. Mahsulot *saralovchi rotor* kirayotgan xomashyo materialidan faqat mahsulotni aniq, nuqsonsziz, halokatsiz ishlashni kafolatlaydigan atom va molekulalarni saralab oladi. Bunday bloklarning ko'pchiligi MEMS va NEMS qurilmalar ko'rinishida yaratilishi mumkin.

Bir tomondan nanofabrikaga xomashyo (atom va molekulalar), shuningdek, sovtgich ballonlar biriktiriladi. Ikkinchi tomondan mahsulotni loyihalash uchun birlashgan CAD interfeys ulanadi. Tasavvur qiling, sizni noubukkingizga o'lchami  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  m bo'lgan qutini biriktirishdi. Keyin kompyuterda 3DMAX ga o'xshagan dasturni ishlataladi va sizdan biror narsani chizishni so'raydi. Masalan, shisha shar. Siz uni chizasiz, shisha turini, rangi, zichligini ko'rsatasiz, natijada qutidan siz chizgan shar chiqib keladi.

Agar siz shar materialini o'zgartirsangiz ma'lum vaqt dan so'ng o'sha materialdan qilingan shar tayyor bo'ladi. Lekin, shar tayyorlashning bizga keragi yo'q. Yaxshisi o'lchami 1 mkm bo'lgan almazoiddan qilingan nanorobot qo'lini chizamiz. Uni o'lchami 1mkm li sharchaga biriktirib, mexanokompyuter bilan ta'minlaymiz va batareykachalarni qo'shsak, nanorobot tayyor bo'ladi. Boshqaruvchi dasturga ko'proq sonda ishlab chiqarishni buyuramiz. Qutidan shunday nanorobotlar seriyasi chiqib keladi (albatta buni oddiy ko'z bilan ko'rib bo'lmaydi).

Yoki nanofabrikadagi “replicate” tugmasini bosib, ikki kundan so‘ng nanofabrika nusxasini olamiz.



5.33-rasm. Rassom tasavvurida nanofabrika ko‘rinishi.

Shunday qilib, biz nimaga ega bo‘ldik? O‘lchami monitorcha keladigan olmos fabrikasi o‘lchami 10x10x10 sm li olmos tayyorlashi mumkin, bu fabrika og‘irligi atigi 4 kg bo‘ladi. Ishlab chiqarish jarayoni 3 soatga yaqin davom etadi. Bunda mahsulot atomgacha tartiblangan tuzilishga ega bo‘ladi. Fabrikaning replikatsiyasi ikki kunni talab etadi. Mahsulot narxi, asosan, xomashyo narxiga bog‘liq bo‘ladi. Fabrika iste’mol qilayoigan quvvat 200 kW atrofida bo‘ladi. Fabrika to‘liq avtomatlashtirilgan va shaxsiy kompyuter bilan birga ishlab chiqarish kompleksi hosil qiladi.

Odam-operator maxsus dasturlar yordamida, xuddi bugun mashina qismlari chizmasini chizgandek, turli xil mahsulotlar yaratishi mumkin. Fabrika odam chizgan loyihami atom aniqlikda tayyorlab beradi. O‘lchami kichikligi uchun bunday fabrika ixtiyoriy shaxsning ishlab chiqarish kompleksiga aylanishi mumkin. Bunday quvvatli ishlab chiqarish quroli shu paytgacha insoniyatda bo‘lgan emas. Uning paydo bo‘lishi bilan ishlab chiqarish jarayoni faqat uning loyihasini tayyorlash yoki tayyor loyihami internetdan tortib olishga keltiriladi.

Kelajakdagi uylarda sovutgichlar o‘rnida oziq-ovqat mahsuloti tayyorlovchi nanofabrikalar joy oladi. Dunyoda informatsion valuta amalga kirib, u yordamida yangi mahsulotlar, buyumlar faylni sotib olish mumkin.

Spamni ham yoddan chiqarmaylik. Har kuni ertalab sizni butun dunyo tovar almashtirish tarmog‘iga ulangan nanofabrikadan chiqib keluvchi turli reklama maxluqlari va mexanizmlari uyg‘otadi. Lekin, do‘stlarining yangi sayoxatlaridan sizga faqat fotografiya emas, haqiqiy suvenirlar jo‘natishi mumkin.

Orzular olamidan haqiqiy hayotga qaytaylik. Birinchi nanofabrikani qurish uchun odamlar oldin uning eng kichik qismi-nanomanipulatorlar yaratishni o‘rganib olishlari kerak. Uning yordamida fabrikator alohi-da atomni tutib olishi, ushlab turishi, bir joydan tortib olib, ikkinchi joyga biriktirishi mumkin. Eslatib o‘tamiz, bunday mexanik usul bilan kimyoviy bog‘ni hosil qilish yoki uzish *mechanosintez* deb nomlanadi.

Uni qanday qilib amalga oshirish mumkin? Manipulator qanday qilib atomni ushlashi va tutib turishi mumkin? Javob oddiy, bilamizki, atomlar bir biriga kimyoviy bog‘lar orqali “yopishib” qoladi. Demak, manipulator atomni ushlab olishi va tutib turishi uchun u bilan qandaydir kimyoviy bog‘ hosil qilishiga to‘g‘ri keladi. Atomni kerakli joyga o‘rnatish uchun bu atom yig‘ilayotgan buyum bilan yanada kuchliroq bog‘ bilan bog‘lanishi kerak.



5.34-rasm. Kiberspammer reklamasi.

Bunday manipulatorni yaratish zamonaviy nanotexnologiyaning asosiy maqsadidir. Lekin, afsuski hech kim hali buni yaratganicha yo‘q.

Ammo, e'tiborga loyiq bo'lgan mexanosintez asboblarining turli xil nazariy loyihalari mavjud. Ularning ba'zilarini ko'rib chiqamiz.

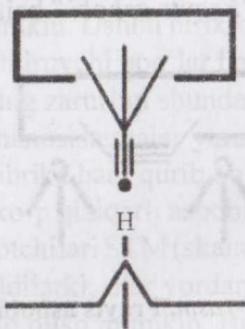
Eslab ko'ring, almazoidli konstruksiyalar tuzilishi nimadan iborat edi. Ular to'rtta qo'shni atomlari bilan kovalent bog'langan uglerod kristall panjarasidan iborat edi.

Demak, almazoid buyumlarni yasash uchun xomashyo sifatida turli uglevodorodlardan (uglerod va vodoroddan tuzilgan moddalardan) foydalanish mumkin. Ular tabiatda va sanoatda yetarlicha keng tarqalgan. Uglevodorodlarga metan ( $\text{CH}_4$ ), benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), atsetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) va boshqalar misol bo'ladi.

Shuning uchun, birinchidan, molekuladan vodorod atomini ajratib oluvchi asbob kerak bo'ladi. Bunday asbob E.Dreksler tomonidan taklif qilingan.

"Dreksler asbobi" uchida bo'sh kovalent bog'li bo'lgan uglerod atomi joylashgan "tutqich"dan iborat. Asbob kerakli molekulaga taxminan 10,8 nm masofagacha yaqinlashgach, vodorod atomi kovalent bog' hosil qila olishini "sezadi" va darxol unga birikadi.

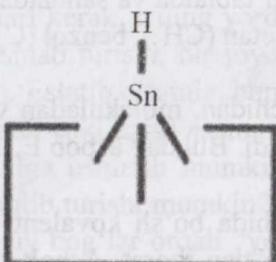
Molekula yoki sirtdan vodorod atomini yulib olib biz ularda reaksiyaga kirishuvchaniik hosil qilamiz. Agar ishchi soha vakuumda joylashgan bo'lsa, tortib olingan vodorod o'rniqa mexanik usulda yana bir vodorodi yulingan molekula yoki atomni biriktirib qo'yish mumkin.



5.35-rasm. Dreksler asbobi.

Agar vodorodni yulib olgan vaqtida nanofabrikaning ishchi sohasida uglerod bilan reaksiyaga kirisha oluvchi erkin modda bo'lsa, u darxol uzilgan vodorod o'rnnini egallaydi. Ishchi sohani uglerodli bug'lar

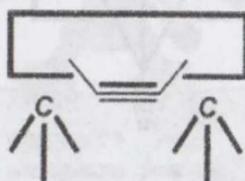
bilan to'ldirib, osongina almazoid tuzilmalarini sintez qilish mumkin. Buning uchun olmos pardaning kerakli joylaridan vodorod yulib olinadi. Dreksler asbobining teskarisi “vodorod qo'shuvchi asbob” deb nomlanadi. Uning uchiga vodorod atomi kuchsiz bog'langan holda tutib turiladi, biror kimyoviy faol molekula yoki sirtga yaqinlashganda vodorod osongina ularga birikadi.



*5.36-rasm. Vodorod atomini biriktiruvchi asbob.*

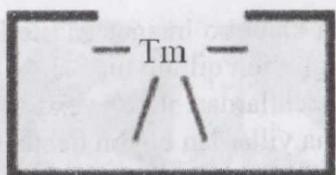
Vodorod osongina ajralishi uchun u qalay (Sn) atomi yordamida ushlab turiladi.

Almazoid sirtni hosil qilish uchun unga uglerod atomlarini biriktira oluvchi asbob kerak bo'ladi. Bu vazifani C – C bog'ni sintez qilayotgan yuzaga aniq biriktiruvchi “Frayts asbobi” bajara oladi.



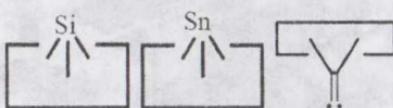
*5.37-rasm. Frayts asbobi.*

Asbob shunday tuzilganki, unga C – C bog' zaif birikib turadi va u kuchli reaksiyaga kirish qobiliyatini saqlaydi. Bog'ni ushlab turuvchi uchlik sifatida Si, Ge, Sn, Pb atomlari qo'llanilishi mumkin. Bu atomlar almazoid tutgichga katta burchak ostida ushlab turiladi. Nodir metallar qo'llanilgan asboblar turli xil reaksiyalar katalizatori sifatida foydali bo'lishi mumkin.



5.38-rasm. Katalizator asbob.

*“Merkle asboblari”* – C, Si, va Sn erkin radikallar hamda ikkita erkin uglerod bog‘li asbob turli xil yordamchi amallarni bajarishga mo‘ljallangan.



5.39-rasm. Yordamchi asboblar

**Funksional guruhlarni birlashtiruvchi asboblar.** Bunday guruhlarning juda ko‘p turlari mavjud, masalan, - OH, -COOH, -COO, -Cl, -NH<sub>2</sub> va h.k. Ular mahsulot funksiyalariga kuchli ta’sir qiladi. Ularning har biri bir yoki bir necha tomonidan uglerod karkasiga kimyoviy bog‘lanishi mumkin. Ushbu birikmalar, mos holda, funksional sirtiy tuzilma va birlashtiruvchi bog‘lar hosil qiladi.

Funksional guruhlarning zarurligi shundan iboratki, ularsiz nanoaktuatorlar va murakkab nanosistemalar yaratishning iloji bo‘lamasligi mumkin. Bularsiz nanofabrika ham qurib bo‘lmaydi.

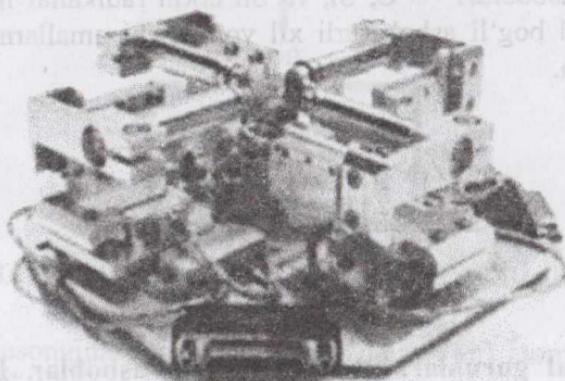
Undan tashqari, juda ko‘p qiziqarli asboblar yaratilmoqda. Masalan, IBM kompaniyasi tadqiqotchilari STM (skanerlovchi tunnel mikroskop) larni shunday takomil qildilarki, ular yordamida atomga bitta elektron qo’shish yoki undan yulib olish mumkin. Bu esa atomning reaksiyaga kirish qobiliyatiga tezda ta’sir qiladi. Oregon universiteti kimyogarları alohida arseniy (As) atomlarini tutib oluvchi *xelator* – molekular “qisqichbaqa qisqichlari”ni yaratdilar.

Hozirgi vaqtida atomlarni aniq boshqara oladigan manipulatorlar mavjud bo‘limasada, ammo bu sohada ma’lum bir amaliy qadamlar qo‘yilgan. Yangiliklarda ba’zan alohida atom va molekulalar bilan

bo'limasada, lekin unga katta bo'limgan klasterlar bilan ishlovchi qurilmalar kashf etilganligi e'lon qilinib turibdi.

Bu yo'nalishda yetakchilardan biri Zyvex kompaniyasi hisoblanadi.

Kompaniya bir necha yillardan buyon uchta erkinlik darajasiga ega bo'lgan, bir-biri bilan bog'langan to'rtta manipulatordan iborat MEMS lar ishlab chiqaradi. U mikro va nano o'lchamli namunalarni ushlash, o'lchash, tutib turish va yig'ishga mo'ljallangan.

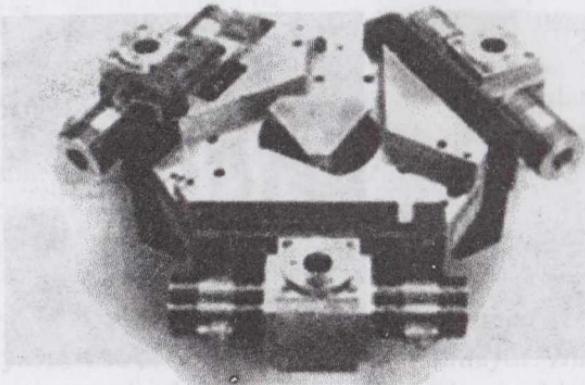


5.40-rasm. Zyvex kompaniyasi nanomanipulatori.

Qurilma har bir manipulatorni uchta o'q bo'ylab, 100 nm aniqlikda, 12 mm masofagacha siljish imkonini beradi. Tutib turish aniqligi 5 nm gacha yetadi. Manipulatorlar turli konfiguratsiyali mikropinsentlardan iborat bo'lib, o'lchami 500 nm gacha bo'lgan zarralarni yig'ish, boshqarish va tahlil qilish imkonini beradi. Bunday qurilmalar, asosan, energetika, materialshunoslik, sirtlarni o'rganish, elektronika, bioteknologiya va h.k. sohalarda ishlatiladi. Zamonaviy nanomanipulatorlar murakkab mexanizmli, katta o'lchamli, og'ir va eng asosiysi qimmat (bir necha o'n ming dollar turuvchi) qurilmalardir.

Agar ularning arzonroqlari yaratilsa edi, qanchadan qancha laboratoriylar, kompaniyalar va tadqiqotchilar nanoteknologiyalarda o'z kuchlarini sinashlari mumkin bo'lar edi.

Massachusetts texnologiya instituti professori Martin Kalpepper aynan shu haqida qayg'urib, deyarli qo'l bola materiallardan *Hex Flex* deb nomlanuvchi nanomanipulator yasadi.



5.41-rasm. Kalpepper nanomanipulyatori.

Uning manipulatorlari ixcham, sodda, arzon bo'lib, ularni ishlab chiqarishda "yuqori" texnologiyalar kerak bo'lmaydi.

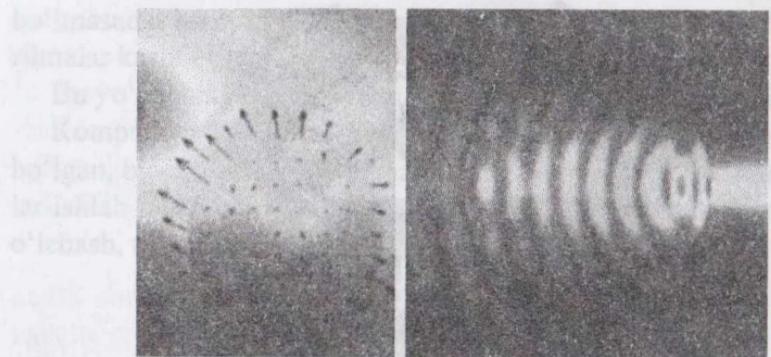
Tuzilishni soddalashtirish ixtirochiga diametri bir millimetrdan kichik bo'lgan, dunyodagi eng kichik nanomanipulyator yaratish imkonini berdi.

Lekin, atomlar va nanostrukturalar bilan ishlash uchun mehanik nanomanipulatorlar eng yaxshi quroq emas. Eslab ko'ramiz, kvant dunyosida to'lqinlar ham zarrachalardek ta'sirchandir va darxol fikrimizga yorug'lik nurlari yordamida ishlovchi manipulator g'oyasi keladi.

Tarixan atomlarni optik usulda boshqarish rus olimlariga tegishlidir. "Yorug'lik yordamida mikroboshqarish" bиринчи мarta spektroskopiya instituti xodimi Vladilen Letoxov boshchiligidagi rus fiziklari tomonidan qo'llanilgan. Ular natriy aotmlarining yorug'lik oqimi yordamida to'xtashi usulini yaratdilar. Bell kompaniyasi tadqiqotchilari (AQSH) 1986-yili "Optik pinset" ishlashini namoyish etdi.

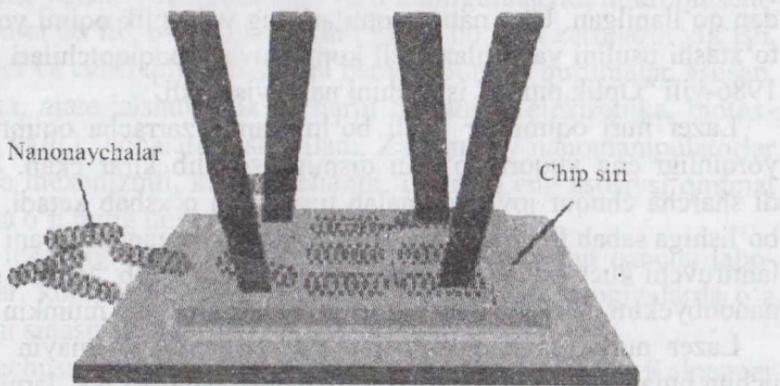
Lazer nuri oqimi bir jinsli bo'lmaqanda zarracha oqimning eng yorqinligi eng yuqori bo'lgan qismiga so'rilib kirar ekan. Bu xuddi sharcha chuqr joyga dumalab tushganga o'xshab ketadi. Bunday bo'lishiga sabab fotonlar oqimi yo'naliishi o'zgarganda zarrani harakatlantiruvchi kuch paydo bo'ladi. Nur fokusini siljitetib "ushlab olingan" nanoobjektni siljitimish va hatto turli tuzilmalar yig'ish mumkin.

Lazer nurlari mehanik "panja"dan ko'ra ancha mayin bo'lgani uchun hujayra DNK molekulalari, xromosomalar va h.k. larni ushlash uchun biologlar tomonidan keng qo'llaniladi.



5.42-rasm. Optik nanomanipulyator.

Oxirgi paytlarda yanada ajoyib optik asboblar yaratildi. Maxsus tangan linzalar yordamida injenerlar ma'lum bir xossali nurlar – Bessel yorug'lik dastalari hosil qiladilar. Bu dastadagi kuchlar nur bo'ylab, yoki uning o'qi atrofida aylanma yo'nalishda ta'sir qiladi. Bu nurlar nanoobjektni tutib olgach, uni nur bo'ylab siljitishti yoki oqim o'qi atrofida aylantirishi mumkin. Samara tasvirlarini qayta ishlovchi tizimlar institutida Viktor Sayfer boshchiligidagi guruh maxsus optik – difraktion elementli linzalar yordamida spiral simon eshilgan lazer nurlaridan iborat *Bessel dastalaridan* foydalandilar. Faqat bitta shunday element yordamida diametri 5–10 mikronli mikroorganizmlar hamda polistirol zarralarini ushslash, siljitishtish va asta aylantirishga muvoffaq bo'ldi.



5.43-rasm. Nanonaychalarni lazerlar yordamida boshqarish.

Olimlar mana shu texnologiyalar asosida kelajak nanomexanizmlarining harakat qismlari ishlashiga umid bog'lamoqda.

Arryx nomli Amerika harbiy kompaniyasi lazer nurlarini har bir nanoobjektlarni manipulatsiyalaydigan 200 ta nurga ajratuvchi maxsus suyuq kristall yaratdi. Ushbu tizim yordamida chip sirtiga nanonaychalarni joylashtirishga muvaffaq bo'lindi. Bu esa o'ta tezkor nano-chiplar yaratishga imkon beradi.

Biz tabiiy va suniy nanomashinalarning o'xshashligi haqida bir necha bor gapirib o'tgandik. Shunday ekan, nima uchun nanomanipulatorlar yaratishda tabiatdan foydalaniib bo'lmaydi? Birorta mikrobnii tutib olib uni nanoqismlar yaratishga o'rnatish mumkin-ku. Amerikalik olim Robert Xeyms aynan shunga intilmoqda. U tirik bakteriyalarni elektromagnitik maydon bilan boshqarishni o'rganib oldi.

Tajribada *Bacillus mycoides* bakteriyalari ishtirot etdi. Ular uzunligi besh mikron, diametri 800 nm bo'lgan arqonchaga o'xshaydi. Bakteriyalarning kremniy chipini qoplab turuvchi glitserin – suv eritmasiga joylashtirdilar. Oltindan qilingan elektrodlarga 1 MHz chastotali o'zgaruvchan kuchlanish berildi. Natijada bakteriyalar elektrik maydonning kuch chiziqlari bo'ylab, ikki tomonidan elektrodlarga tekkan holda tililishib qoldi. Mikroorganizimlar o'ziga xos nanoo'tkazgichga aylanib, uncha katta bo'lмаган tok o'tkazishar edi. O'tayotgan tok yordamida tadqiqotchilar ular turgan joyni aniqlay oldilar. Keyin eritmadan ozgina tok o'tkazib tadqiqotchilar bakteriyalarni elektrodlar bo'ylab ko'chirishdi. Xeyms bakterialarni kvant nuqtalar, nanonaychalar, nanozarrachalar kabi nanoqismlarni ko'chirish va yig'ishda ishlatalishni taklif qilmoqda. Nanomashina qismlariga oqsil belgililar qo'yish mo'ljallanmoqda. Bu belgililar mikroorganizimlardagi belgilarga mos keladi. Keyin bakteriyalarni kerakli joyga siljitib (belgiga qarab) nanoqism yig'iladi.

### **Nanostrukturalarni ommaviy ishlab chiqarish muammolarini yengib o'tish**

Zondli usullarga asoslangan nanotexnologiyalarning asosiy qiyinchiligi yuqori texnologik mollarni ommaviy ishlab chiqarish iloji yo'qligidir. Nanotexnologiyalar imkoniyatlarini namoyish qiluvchi natijalarga erishib bo'lindi. Nanoelektron sxemalarni ommaviy ishlab chiqarish texnologiyasi (kremniy planar texnologiyasiga o'xshagan )

mavjud emas. Albatta, nanofabrikalar bo'lganda bu masala xal qilingan bo'lar edi, lekin ularning yaratilishiga hali uzoq vaqt kerakka o'xshaydi. Shunga qaramasdan hozir ham nanostrukturalarni ommaviy ishlab chiqarishni juda ko'p porloq kelajakli yo'nalishlari rivojlanmoqda. Quyidagi usullarning bir nechtasini ko'rib chiqamiz.

### 5.3.3. Elektrik cho'ktirish (elektroliz)

Galina Sirlina boshchiligidagi Rossiyadagi olimlar guruhi (MDU) nanotuzilmalar olishning ajoyib usulini ishlab chiqdilar. Bu usul ularni ommaviy ishlab chiqarish imkonini beradi. Bunday konstruksiyalarni xona temperaturasida turli xil metall oksidlar nanokristallarini elektrik cho'ktirish usuli bilan olinadi.

*Elektrik cho'ktirish* bu juda oddiy jarayon: metall oksidlarining elektrolit eritmadiagi ionlari elektr toki ta'sirida zaryadlangan elektrodlarga o'tirib qoladi. O'tayotgan tok qiymatini o'zgartirib oksidlar o'sishini boshqarish va turli shakl hamda tuzilishi nanokristallar olish mumkin.

Oksidlar turlari juda ko'p. Masalan, ruteniy oksididan solishtirma elektrik sig'imi 100 f/g bo'lgan kondensatorlar tayyorlash mumkin. Bu oddiy kunduzgi yorug'lik chiroqlarida ishlatiladigan sig'implardan 100000 marta kattadir.

Shunday nanokondensatorlarning bir jo'madonida to'plangan elektrik zaryad energiyasi ulkan kemani joyidan qo'zg'itish yoki uni chaqmoq urib shikastlash uchun yetarli bo'lardi.

Volfram oksidlaridan elektroliz yordamida nitratlarni juda yaxshi sezuvchi sensorlar (bozorda selitra solinmagan sabzavot va mevalarni oson tanlash mumkin) va elektrokimyoiy energetika qurilmalari tayyorlanadi.

Bir elektrodga birin - ketin ikki xil metall oksidlarini o'tkazib magnitik yozish uchun yoki elektroxrom qurilma (tok ta'sirida rangini o'zgartiradi) uchun ishlatiladigan bimetall nanokompozitorlar olinadi. Undan tashqari, nanoooksidlarni o'tkazish yo'li bilan Rossiya olimlari o'ta yupqa yuqori temperaturali o'ta o'tkazuvchan materiallar olishdi.

### Yumshoq litografiya

Oddiy fotografiyadan yarimo'tkazgich kristali sirtiga iloji boricha ko'p elementlar joylashtirish kerak bo'lganda foydalansa bo'ladi. Le-

kin, uni shunday elementlarni katta yuzalarga, boshqa materiallarga yoki tekis bo‘Imagan yuzalarga joylashtirish kerak bo‘lganda umuman ishlatib bo‘lmaydi.

Nanotuzilmalarni ixtiyoriy sirtlarga joylashtirish “yumshoq litografiya” deb nomlanadi. U taglik sifati va shaklini unchalik tanlamaydi, shuning uchun uni notekis, egiluvchan sirtlarda va hatto hajmiy figuralarda ham qo‘llash mumkin. Yangi texnologiya imkoniyatlarini namoyish qilish uchun Illinoys universiteti tadqiqotchilar (AQSH) yorug‘likka sezgir tranzistorlar matritsasi bilan qoplanagan yarim sferik sirtni ko‘rsatdilar. Ular keng burchakli raqamli fotoapparatlarning asosiy elementi bo‘lib xizmat qiladi.

Ular quyidagicha tayyorlanadi. Tanlangan yuzaga aluminiy, kremniy va kremniy nitridining yupqa pardasi qoplanadi (o‘tqaziladi), keyin yuza qizdiriladi va zondli mikroskopiya usullari bilan o‘lchamlari 10 nm atrofida bo‘lgan nanotuzilmalar “chiziladi”. Keyin u bilan yumshoq polimer matritsa shtamplanadi va bu matritsa qotishi uchun nurlantiriladi.

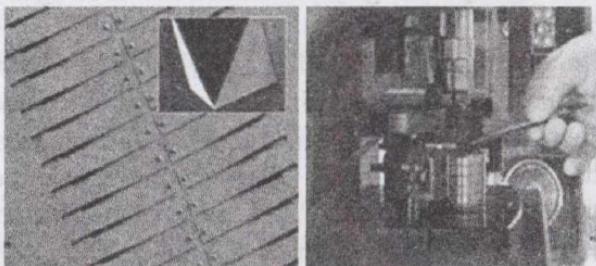
Ushbu usullar bilan hosil qilingan elementlarning minimal o‘lchamlari 10 nm ni tashkil qiladi, bu juda zinch yoziuvni amallaydi, lekin, ishlab chiqarish tezligi va ishonchliligi ancha past. Shunga qaramasdan yumshoq litografiyanı katta yutuqlar kutmoqda.

### Chizish va muxrash

Yer sharida eng kichik avtoruchkalar chiqaruvchi Nano Ink kompaniyasi nanotuzilmalarni sirtda hosil qilishning juda qulay usulini taklif qildi. Ular “qalami” yordamida chizayotgan nuqta, chiziq va xarflar oddiy sharikli avtoruchkada yozilgandan o‘n ming martalab kichikdir. Makroskopik “hamkasblari” dan farqli ravishda bu qalam uchi kremniy nitrididan tayyorlangan AKM (atomiy- kuch mikroskop) zondidan iborat.

AKM ignasi ishlayotganda uning uchida atrofdagi havodagi namlik o‘tiradi, u esa o‘lhashlar sifatini yomonlashtiradi. Zond uchida to‘plangan suv tomchilari zond uchidan sirtga va sirtdan zond uchiga tomon harakatlanib turar ekan. Bu xossaladan suv bilan birga “siyoh” molekulalarini ham jo‘natishda foydalanishga qaror qilindi. Asbobdagagi namlikni o‘zgartirib suv tomchilari o‘lchami va chiziqlar qalinligini sozlash mumkin. Tajribada chizilgan chiziqlar eni bir necha o‘n molekula

o'Ichamini, qaliligi bitta molekulani tashkil etdi. Bu texnologiyani "pero nanolitografiyasi" (dippen nonolithography) deb ataladi.



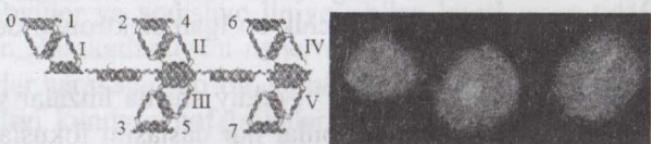
5.44-rasm. Kantilever – “avtoruchkalar” sistemasi va DPN qurilmasining tashqi ko‘rinishi.

Pero nanolitografiyasi bir qancha ustunliklarga ega: “siyoh” o‘rnida har qanday muddani olishimiz va ixtiyoriy yuzaga chiqarishimiz mumkin. Bunday “Avtoruchka” nanoelektronikada ham qo‘llaniladi. Uning yordamida bir kvadrat dyumga 1 mln. chiziqlar chizish mumkin. Ekspertlar qurilmaning nisbatan arzonligini takidlab o‘tdilar.

Avtoruchka yaxshi, albatta, lekin, printer yanada yaxshiroq. Boshqariluvchi zond – avtoruchkalar matritsasiga ega qurilmalar nanoelektron qurilmalarni sanoatda ishlab chiqarish uchun kerak bo‘lishi mumkin. E’tibor bering, oddiy litografiyadan farqli o‘laroq bu yerda ko‘p mehnat talab qiluvchi fotoshablonning hojati yo‘q. Barcha “nanorasosom” stanoklari injenerlar ishlanmasi ketidan yangi-yangi nanochiplar ishlab chiqarishga qo‘shilishlari mumkin. Shunday qilib, bitta fabrika juda ko‘p xil turdagи mikrosxemalar ishlab chiqarishi mumkin.

## Biosintez

Nanotuzilmalar yaratishning porloq kelajakli asboblaridan biri – biologik nanomashinalardir. Nyu-York universiteti olimi Ned Simen DNK molekulalaridan bitta – yagona polimer ishlab chiqaruvchi “fabrika” yaratdi. Qurilma o‘ Ichami bori-yo‘g‘i 100x30x2nm ni tashkil qiladi. U ikkita DNK molekulalari zanjirining ma’lum ko‘rinishda birikishidan hosil bo‘lgan Ned Simen kashf qilgan ikkita nanomashinalardan iborat.



**5.45-rasm. DНK nanomashinasi sxemasi va AKM dan olingan tasviri.**

Olimlar bu nanomashinani xuddi shu DНK bo'laklari solingan erit-mada ishlatib ko'rdilar. Nanomashina darxol DНK bo'laklarini biriktirib, o'ziga o'xshagan polimer yasashni boshladи. Bu nanomashina odam organizmida oqsillar sintezini boshqaruvchi RNK ga o'xshab ishlaydi.

Vaqt o'tishi bilan olimlar ribosomaga o'xshab ishlovchi nanomashinalar yaratishni xohlaydi. Ned Simenning aytishlaricha, "kelajakda yaratiladigan sun'iy ribosomalarning asosiy qo'llanilishi DНK da kodlangan ketma-ketlik bo'yicha yangi materiallarni sintez qilishdan iborat bo'ladi. Oxir oqibat biz DНK mashinalari yordamida qisqa vaqtda ko'p miqdorda polimerlar va yangi materiallarni qilishni o'rganib olamiz".

### **5-bobning asosiy xulosalari**

– Tabiatni bilishda uning to'g'risida informatsiya beruvchi asboblar juda katta xizmat qiladi.

– Optik mikroskop okulyar va obyektiv deb nomlanuvchi ikkita linzalar tizimidan iborat. Obyektiv obyektni birinchi kattalashgan tasvirini hosil qiladi, keyin bu tasvir okular yordamida yana bir marta kattalashtiriladi. Mikroskoplar yordamida ming martagacha kattalashtirilgan tasvirlar olish mumkin.

– Optik mikroskoparning kashf etilishi va arzonlashuvi juda ko'p fanlarning gurkirab rivojlanishiga olib keldi. Mikroorganizmlar oshkor bo'ldi. Organizm tuzilishi va ishlashi to'liqroq o'r ganildi. Hujayra nazariyasi yaratildi. Unga, asosan, Yerdagi barcha tirik organizmlar hujayralardan tuzilgan va o'sha hujayralardan rivojlanadi.

– "Reley prinsipiغا" asosan, optik mikroskoplarning ajratuvchanligi obyektga tushayotgan yorug'lik nuri to'lqin uzunligining yarmidan katta bo'la olmaydi. Shuning uchun optik mikroskop yordamida o'lchami

150 nm dan kichik obyektlarni o‘rganib bo‘lmaydi. Bu holat yorug‘lik nuri o‘rniga to‘lqin uzunligi juda kichik bo‘lgan elektronlar dastasidan foydalanishga olib keldi.

– Elektron mikroskop “linzalari”, oddiy shisha linzalar yorug‘lik nurlarini yig‘ib sochgandek, elektronlar nur dastasini fokuslaydi yoki sochadi. Elektron linzalar ajratuvchanligi bir necha nanometrlarni tashkil qiladi.

– Elektron mikroskoplarning kamchiligi – ularning yuqori vakuum-larda ishlashi va biologik obyektlarni buzishidir. Shuning uchun ularni biologiya va biotexnologiyalar sohasida ishlatib bo‘lmaydi.

– SZM (skanerlovi zondli mikroskoplar) bu kamchilikdan xoli va atom darajasidagi ajratuvchanlikka egadir. Ular ichida tunnel atomiy - kuch, optik yaqin maydon mikroskoplari eng ko‘p ishlatiladi. Bugungi kunda ular nanotexnologiyalarning asosiy anolitik qurilmasidir.

– Boshqa kerakli o‘lhash asboblariga nanotarozi, spektrometrlar, nanoindektorlar, zondli laboratoriylar va h.k. lar kiradi.

– Har qanday nanoobyekt ni yaratishdan oldin uni aniq modellashtirish zarur. Nanotuzilmalarni modellashtiruvchi dasturlarni uchta guruhga bo‘lish mumkin.

1) *vizuallashtiruvchi* modellash (nanotuzilmalarni ko‘rsatadi, lekin hech narsa hisoblamaydi);

2) *hisoblovchi* modellash; (matematik modellash usullari va kvant fizika qonunlaridan foydalanib turli nanotuzilmalar loyihalashtiradi);

3) *injener* modellash (nanotuzilmalarni loyihalashtiradi, ularni molekular darajada tavsiflaydi, asosiy elektrik, optik va fizik xossalarni aniqlaydi).

– Nanotuzilmalarni kompyuterda modellashtirish kompyuter quvvatiga va hisoblash algoritmlari samaradorligiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liqidir.

– Zamonaviy nanotexnologiyalarning asosiy qiyinchiligi yuqori texnologik mahsulotlarni ommaviy ishlab chiqarishning iloji yo‘qligidir. Shuning uchun nanofabrika loyihasi vujudga keladi. Ular kiyim-kechakdan tortib orgtexnikagacha bo‘lgan turli tuman buyumlarni yaratadi. Nanofabrika turlari ichida konvergent va parallel yig‘uvchi nanofabrikalar eng mashxurdur.

– Nanofabrikaning ishlashi asosini fabrikatorlar tashkil qiladi. Fabrikatorlar boshqaruvchi qurilma bo‘lib, atomlarni kombinatsiyalaydi va ular o‘rtasida kimyoiy bog‘ hosil qiladi. Ma’nosи jihatdan fabrikator

– bu kompyuter va xomshyo liniyasi bilan bog‘langan nanomanipulatorlardir. Harakatlanuvchi nanorobot – assemblerlerdan farqli o‘laroq, fabrikatorlar harakatsiz bo‘lib, taglikka mahkamlangan.

– Hozirgi kunda nanofabrikalardan tashqari, juda ko‘p nanotuzilmalarni ommaviy ishlab chiqarish usullari topilgan. Ularga, masalan, elektrik cho‘ktirish (elektroliz), yumshoq va pero nanolitografiya, biosintez va h.k. lar kiradi.

## 5-bobni takrorlash uchun savolar

1. Tabiatni o‘rganishda asbob va qurilmalarning qanday ahamiyati bor?
2. Optik mikroskoplar qanday tuzilgan?
3. Birinchi mikroskop kim tomonidan yaratilgan?
4. Reley chegarasi nimadan iborat?
5. Optik mikroskoplarning ommaviy ishlab chiqarilishi va arzonlashuvi nimaga olib keldi?
6. Elektron mikroskop ishlashini tushintiring
7. Skanerlovchi zondli mikroskoplar (SZM) qanday ishlaydi?
8. Tunnel, atomiy-kuch, optik yaqin maydonli mikroskoplar ishlashini tushintirib bering.
9. Nanotarozi, nanoindentor, zondli laboratoriylar haqida nimalarни bilasiz?
10. “UMKA” o‘quv nanotexnologik qurilmasining qanday afzalliklari bor?
11. Kantilever nima va uning qanday turlari mavjud?
12. Nanozarralar modellarini tuzuvchi dasturlar necha xil bo‘ladi?
13. Ras Mol, Chem3D va NanoXhlorer dasturlarining farqini izohlang
14. Nanofabrika qanday tuzilgan?
15. Konvergent va parallel yig‘ishni tushintiring
16. Nanofabrikaning qanday funksional bloklari mavjud?
17. Nanomanipulator nima?
18. Optik nanomanipulatorlar qanday ishlaydi?
19. Elektr o‘tkazish (elektroliz) usulini gapirib bering
20. Yumshoq litografiya nima?
21. Atom “qalam” qanday ishlaydi?
22. Biosintez nima?
23. DNK nanomashinasi ishlashini tushuntiring.

## **6-BOB. BIOTEXNOLOGIYA VA NANOTIBBIYOT**

Metro vagonlarida go'sht kombinatining vaximali reklamasini ko'rshimiz mumkin, u reklamalarda bu kombinat genetik modifikatsiyalangan xomashyodan foydalanishdan voz kechganligi ifodalangan. Plakatda nima uchundir pishgan pomidor surati ko'rsatilgan, uning po'sti ostida baliqning urug'i tasvirlangan. Bu daxshatli suratda katta harflar bilan qon rangida "Baliq" so'zi yozilgan. Pastroqda "Olimlar ayrim tomat navlariga mahsulotning sovuqqa chidamlilagini oshirish maqsadida baliq genini qo'shgan" degan yozuvni uchratamiz. Bu reklama xaridorlarni o'ylab ko'rishga taklif qilyapti – bir o'ylab ko'rgin, senga nima qimmatli: bir kilogramm kolbasa xarid qilganing ma'qulmi yoki baliq genini yeishimi? Shuni tan olish kerakki, rassom astoydil harakat qilgan – butun rasm yuqori darajada daxshatli ko'rinishga ega. Shuni aytish joizki, shundoqquina pomidor yonida sigaretani reklama qiluvchi go'zal qizning rasmi osilgan. Ashaddiy sigaret chekuvchi qizning shu fotomodel kabi tishlari oq, yuzlari tiniq bo'ladi deb aytish mumkinmi?

Ushbu "pomidorga bo'lgan ehtiros" har qanday ozmi - ko'pmi ma'lumotli odamni ham kuldiradi. Axir hatto biologiyaga oid maktab darsliklaridan ham ma'lumki, har qanday organizmning DNK si, xoh u baliq, xoh inson yoki pomidor bo'lmasin, barchasi bir xil nukleotiddan iborat bo'lib, ular bir xil oqsillarni yaratuvchi bir xil aminokislotalarni kodlaydi. Hazm qilish jarayonida oqsil ham, DNK ham bir xil hazm bo'ladi, bu o'simliklar an'anaviy usulda, seleksiya usulida yoki genetik modifikatsiyalangan DNK yordamida barpo qilinganiga bog'liq emas. Yagona baliq genidan pomidor ichida butun bir homila hosil bo'lgan (bir dona baliq urug'i rivojlanishi uchun 3000 gen zarur bo'ladi) – haqiqatdan yiroq holda bu faqat fantastikaga xos bo'lgan holat.

Bunga qaramasdan, ko'pchilik vatandoshlarimizga bu singari safsatlar buqaga qizil latta ko'rsatgan kabi tasir qilyapti. Genga oid injeneriyaning mutantlar haqida vahimali xabarlarini eng yaxshi holda sariq matbuot orqali ko'rgan odamlar gen bilan shug'ullanadigan injenerlariga va zamonaviy ilmiga ma'qul kelgan narsalarga ham ishonmaydilar.

Bunday nayrangli reklamalarga ishonuvchanlar beozor ikrali buterbrod tarkibida necha million zararli baliq geni borligi haqida tushunchaga ham ega emaslar.

Ommanning genetika erishgan natijalari haqidagi xabardorlik darajasi jamoat fikrini so'rovidan ma'lum: ba'zi malumotlarga ko'ra so'rov qilinganlarning 2/3 qismining fikricha, genetik modifikatsiyalangan pomidorlar xavfli, chunki uning tarkibida gen bor, tabiiy holat-dagisi shunisi bilan yaxshiki, ularning tarkibida genlar yo'q. Bu holat tovlamachilarga insonlarning qo'rquv va xissiyotlarini boshqargan holda boylik orttirish imkonini beradi. Axir qanday yo'l tutishdan qat'iy nazar, GMO(genetik modifikatsiyalangan organizm)ning o'sha go'shtli mahsulotlar tarkibida aniq miqdorini aniqlash mumkin emas: deyarli barcha Rossiyalik fermerlar ozuqalarni G'arbdan sotib olishadi, bu esa, qoidaga ko'ra, GM-ozuqasi. U yerda ularga tamg'a qo'yish shart emas, ertalab Amerikali va Rossiyali mol nima yegan, hech qaysi tekshirish komissiyasi ishonchli aniqlay olmaydi.

Tub aholining yana bir necha foizini o'ziga og'dirib olgan go'sht kombinat bilan nima ishimiz bor? Lekin, o'sha aldangan fuqarolar GMOning joriy qilinishiga qattiq qarshilik ko'rsatishni boshladilar, bu esa fan taraqqiyotini to'xtata olmaydi. Bunday "taqvodor g'azab" vaxshiylikkacha bormoqda: 2000-yili Kaliforniyada «yashil» talabalar tajriba maydoniga bostirib kirishib, bir necha yil seleksiya natijasida yaratilgan (genli injeneriyaga taalluqli bo'limgan) yangi navli mak-kajo'xorizorni yoqib yuborishib, olimlarning ko'p yillik sermashaqqat mehnatini bir pul qilishdi.

Bo'lib o'tgan barcha voqealar, birinchi qishloq xo'jalik texnikasi - traktorlar yaratilganda uni "temir shayton" deb qarshi chiqqan dehqonlarning, to'qish dastgohlari yaratilganda unga qarshi chiqqan ustalarning nodon ahmoqona harakatlarini eslatadi. Hozirgi kunda nozikdan nozik masala DNK molekulasi ustida olib borilayotgan tajribalar dastavval Xudoga va tabiatga qarshi bo'lgan gunoh deb bilganliklari sababli hech narsa o'rganilmaganida hozirgi kunda zamonaviy tibbiyot va biologiya qay axvolda bo'lgan bo'lar edi?

Ba'zi bir GM-mahsulotlarini ishlab chiqaruvchi kompaniyalar o'zining iqtisodiy manfaatini ko'zlab, yetarlicha o'rganilmagan navlarni bozorga chiqarib yuborishga tayyor turadilar. Biroq yuqori texnologiyalarning rivojlanishiga to'sqinlik qiladigan vahima va nodonlikka

cheq qo‘yish lozim. Ushbu bo‘limda biotexnologiya asoslari va uning erishgan yutuqlari haqida batafsil ma’lumot beramiz.

## 6.1. Biotexnologiyaning asosiy tushunchalari

**Biotexnologiya** – biologik obyektlardan turli xil ishlab chiqarish tarmoqlarida foydalanish maqsadida ularga belgilangan xossalarni joriy etuvchi usullar yig‘indisidir.

DNK tuzilishi va funksiyalari haqidagi bilimlarga asoslangan zamonaviy biotexnologiyaning vujudga kelishi va rivojlanishi XX asrning ikkinchi yarmiga to‘g‘ri keladi. Biotexnologiya o‘simplik va hayvonlarning biomolekulalari (DNK, oqsillar va boshq.), mikroorganizmlar (bakteriyalar, mikroskopik zamburug‘lar, viruslar, zardoblar, sporalar va boshq.), hujayra va to‘qimalari bilan ishlaydi. Buni nanostruktura sifatida ko‘rish mumkin, shuning uchun biotexnologiyani ko‘pincha nanotexnologiyaning bir qismi deb sanaladi. Ko‘plab biotexnologik ishlab chiqarishlarni odamzot faqat asosiy biologik qonunlar emas, balki mikroorganizmlar mavjud bo‘lgani kashf qilingunigacha ham o‘zlashtirib olganlar. Ularga non, vino, pivo, uksus, kefir, pishloq va boshqalarni misol qilishimiz mumkin.

Zamonaviy nanobiologiyaning yutuqlaridan quyidagi sohalarda foydalaniladi:

**Oziq-ovqat, farmatsevtika, kimyoviy, neft sanoatida** mikroblar ko‘plab mahsulotlarni, oziq-ovqat qo‘sishchalarini va kombikormlarni ishlab chiqaradilar, murakkab kimyoviy moddalarni sintezlaydi va tozalaydi, eritmalar tarkibini nazorat qiladi.

**Ekologiyada** mikroskopik ishchilar oqova suvlarni tozalaydi, axlat va chiqindilarni parchalaydi, zararli moddalarni yutadilar.

**Energetikada** bakteriyalar yonuvchi gazlarni ishlab chiqaradilar va neft ifloslanish izlarini yo‘qotadi, zardoblar yoki mikrob fermentlari yordamida olingan spirit benzinga qo‘shiladi. Mikroblar fotosintez bilan shug‘ullanadi, yoqilg‘i yacheykalarini tiklaydi, yaqinda olimlar bakteriyalardan “tirik” nanobatareykani yaratdilar.

**Qishloq xo‘jaligida** transgen (genetik o‘zgartirilgan) o‘simpliklar va hayvonlardan, o‘simpliklarni himoyalovchi biologik vositalardan, bakterial o‘g‘itlardan, o‘simpliklar o‘sishini jadallashtiruvchi fitogormonlardan foydalaniladi. Chorvachilikda esa yaqin kelajakda molekular

klonlashtirilgan va hattoki genetik o'zgartirilgan hayvonlardan foydalaniladi.

**Elektronikada** biologik obyektlar mikrosxema va datchiklarning detallari sifatida xizmat qilmoqda, kelajakda esa to'liq tirik kompyuterlar yaratilishi ham mumkin. Neyronlarning molekular tabiatini o'rganish tirik nervlarni mikrochiplar bilan bog'lanishiga olib keladi. Hamma narsadan ham eng ajabtovuri bakteriorodopsin yordamida yorug'lik nurini boshqarish mumkin.

Mashinasozlikda biomolekula va mikroorganizmlar belgilangan dastur bo'yicha murakkab polimerlar va o'zlarining nusxalarini sintezlovchi oddiy nanomashinalarning asosini tashkil etadi. Tirik mushaklar mikrorobotlarni harakatga keltiradi, DНK molekulalari esa nanozarralarni uch o'lchamli tuzilmaga yig'adi.

Biotexnologiya asosi hujayralarda sodir bo'ladigan jarayonlardan iborat. Bizga ma'lumki, Yer yuzasida dastlab paydo bo'lgan jonivorlar va barcha boshqa organizmlar paydo bo'lgan muhitni shakllantirgan hujayralar - bu *prokariot hujayralaridir*. Ikki yarim milliard yil davomida ular Yer yuzasida yagona tirik jonivorlar sifatida mavjud bo'lgan, faqtgina bir milliard yil avval "неопротерозой революция"si sodir bo'lгanda, Yer yuzasida *eukariotlar* paydo bo'ldilar va keng tarqaldi.

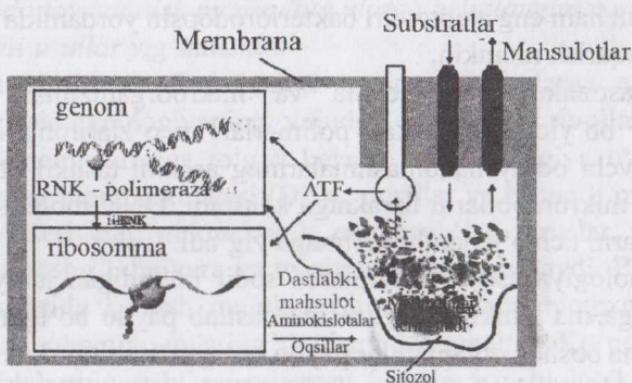
Fanga ma'lum barcha mavjudotlar haqidagi irlsiy ma'lumotlar xromosoma tarkibiga kiruvchi DНK molekulasiga yozilgan. Organizmlarni ularda mavjud bo'lgan va hujayra sitoplazmasini xromosomadan ajratuvchi yadrolar soniga qarab ikki guruhga ajratiladi.

**Prokariotlar** (lot. "pro" – gacha + grek. "karyon" – yadro) – bu yadrosi yo'q organizmlardir, ularga bakteriyalar va sianobakteriyalar (ko'k-yashil suv o'tlari) kiradi. Ulardan farqli *eukariotlar* (grek. "eu" – to'liq, + "karyon" - yadro) sitoplazmadan ajratib turuvchi qobiqqa o'ralgan to'liq shakllangan yadroga ega. Ularga zamburug'lar, o'simlik va hayvonlar kiradi.

Tipik prokariot hujayra quyidagi sistemachalarni o'z ichiga oladi:

- genom (RNK va oqsillarni yig'ish bo'yicha ko'rsatma);
- DНK replikatsiyasi mexanizmi (ularning yangi nusxalarini ishlab chiqish);
- ribosomalar (oqsilni sintezlash);
- sitozol (moddalar almashinuvini boshqarish);
- membrana (tashqi muhit bilan o'zaro ta'siri va ATP sintezi).

ATF – adenozinfosfor kislotasi (tarkibida adenozin mavjud nukleotidlar va bir, ikki yoki uch qoldiqli fosfor kislotasi). U barcha organizmlarda mavjud va moddalar, energiya almashinuvida katta rol o'yaydi. ATF – universal akkumulator va barcha tirik organizmlarda energiya tashuvchidir.



6.1- rasm. Prokariot hujayrasining asosiy sistemachalari.

**Membrana** moddalarni tashuvchi mexanizmlardan iborat: *substratlar* – hujayra ichiga, uning faoliyati *mahsulotlari* esa – tashqariga chiqariladi. Tashqi muhitdan keluvchi substratlar (kelib chiqishi organik va organik bo'limagan kimyoviy birikmalar) elektrokimyoviy o'zgarishlar natijasida birikmaning kerakli hujayrasi sinteziga sarflanadi. Membrananing fotosintezlanuvchi organizmlarida xlorofill molekulasi ishtirokida yorug'lik ta'siri ostida paydo bo'luvchi elektrik potensial farqining to'planishi ta'minlanadi.

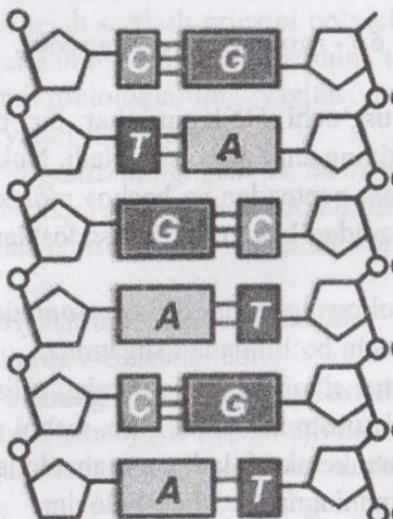
Hujayraning asosiy sistemachalaridan biri – *sitozoldir*. U hujayra ichki yarim suyuq muhitini ifodalaydi. Bu barcha metabolik o'zgarishlarning o'ziga xos "doshqozon" idir. Hujayradagi moddalar almashinuviga mexanizmi uning o'sishi va rivojlanishiga yo'naltirilganadir. Buning uchun energiya va oqsillarni ishlab chiqarish uchun qurilish bloklari (aminokislotalar) kerak. Bu esa tashqi muhitdan keluvchi moddalarni qayta ishlash natijasida olinadi. Energiya murakkab moddalarning parchalanishi - *katabolizm* natijasida, qurilish bloklari esa sintez - *anabolizm* natijasida paydo bo'ladi. Katabolizm va anabolizm moddalarni almashinuviga – *metabolizmning* ikki asosiy qismidir.

Irsiy ma'lumot DNKnинг qо'ш spiralidagi nukleotidlар juftligida kodlashtirilgандир. **Gen** – RNK molekulasi yoki ma'lum bir oqsilning xossasini kodlashtiruvchi va organizmning biror bir alomatiga mos keluvchi DNK maydonидир. Genlarning to'liq to'plamiga – *genom* deb aytildи.

Bakteriyalar genomi **xromosoma** deb ataluvchi DNK makromolekulасида bir chiziq bo'lib joylashgan minglab genlarni o'z ichiga olади. Ko'plab berk bo'lmagan xromosomalarga ega eukariotli hujayralardан prokariot hujayralarining farqi - ular faqatgina bitta halqasimon xromosomaga ega.

Prokariotlar jinsiz yo'l *DNK replikatsiyasi*dan so'ng hujayralарнинг bo'linishi yordamida ko'payади. **Replikatsiya** - qayta sintezланган DNKnинг bitta tolasi va bitta urg'ochi toladan tarmoqlangan hujayra DNKsi olinadigan jarayondир (бунда DNK o'z nusxasini yaratib ko'payади).

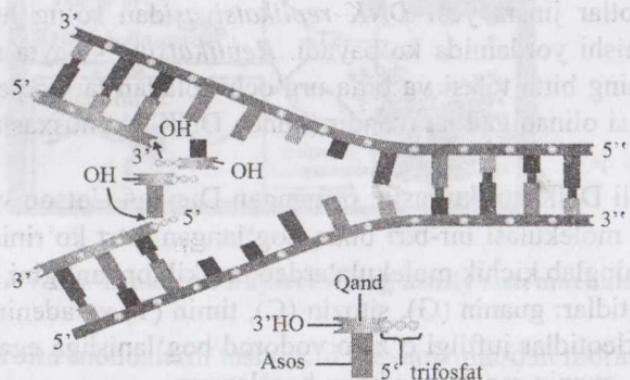
1953-yili DNK strukturasini о'ргangan Djeyms Uotson va Frensis Krik DNK molekulasi bir-biri bilan bog'langan to'rt ko'rinish(nukleotid)даги minglab kichik molekulalardан tashkil topganligini isbotлади-лар. Nukleotidlар: guanin (G), sitozin (C), timin (T) va adenin (A) dan iborat. Nukleotidlар juftligi o'zaro vodorod bog'lanishга ega - adenin timin bilan, guanin esa sitozin bilan bog'langan.



6.2 - rasm. DNK molekulасида nukleotidlarning bog'lanish sxemasi.

Shu tarzda DNK spiralining ikki tolasi birikadi: bitta toladagi timin ro'parasida doimo faqat adenin turadi.

Bunday joylanish DNK replikatsiyasi mexanizmini tushuntirishga imkon berdi: qo'sh spiralning o'rami ikkita har birida ikkinchi tolating sintezi boshlanadigan, replikativ vilkalarni hosil qilib yechiladi. Ushbu jarayonda DNKnинг maxsus oqsili - *polimeraz* ishtirok etadi. Urg'ochi DNK tolasi bo'ylab o'tganda nukleotidlarni ketma-ket hisoblab, ularning asosida ikkinchi tolani quradi(6.3-rasm).



6.3 - rasm. DNK replikatsiyasi.

Shunday qilib, urg'ochi DNKnинг har bir boshlang'ich tolasi uning "sobiq" sheringining aniq nusxasini oladi. Nukleotid tolalari ATP, fermentlar asoslaridan, pentozdan va boshqa molekular birikmalardan hosil bo'lувчи, sitozoldan keluvchi o'tmishdoshlari yordamida qurib bitkaziladi.

Ma'lumotning faol oqsilga aylanishi *ribosomada* sodir bo'ladi. Biz bu jarayon bilan birinchi bo'limda tanishganimiz.

Hujayraning normal rivojlanishi va harakat qilishi uchun u doimo tashqi muhitdan turli substratni qabul qilib, tashqi muhitga tirik organizmlar faoliyati uchun kerak bo'ladigan mahsulotlarni chiqarib turuvchi modda almashinuvini amalga oshirishi lozim.

Substratlar sifatida, asosan, turli xil uglerodga ega bo'lgan birikmalar - glyukoza, kraxmal, spirtlar, organik kislotalar, uglekislotalar,

metan, parafinlar va h.k. lardan foydalaniladi. Ular tabiatda keng tarqalgan.

Mahsulotlar sifatida esa, mikroorganizmlar ko'plab foydali moddalar – turli xil oqsillar, fermentlar, aminokislotalar, vitaminlar, gormonlar, antibiotilar va boshqa biologik faol birikmalarni sintezlashga qodir. Boshqacha aytganda, bakteriyalar insonlarga kerak bo'ladigan moddalarni ishlab chiqaruvchi haqiqiy molekular fabrikalar bo'lib hisoblanadi.

Mikroblarning bunday xossasi ko'p biotexnologik ishlab chiqarishlar asosi bo'ldi va u XX asrning 40-yillarda penitsillin antibiotigini keng mashtabda ishlab chiqarishdan boshlangan edi.

## 6.2. Biotexnologik ishlab chiqarishning umumiyyatli sxemasi

Istalgan biotexnologik jarayonning markaziy bo'g'ini - shtammdir. Shtamm - tasniflanadigan fiziologik-biokimyoviy alomatlarga ega bo'lgan bir turdag'i mikroorganizmlar majmuidir.

Biotexnologik ishlab chiqarish yoki maksimal miqdordagi biomassani (misol uchun non xamirturushi) olish, yoki hujayralarning yashash faoliyati uchun kerakli mahsulotlarni maksimal darajada ishlab chiqarishga yo'naltirilgan bo'lishi mumkin. Tabiiy sharoitda hujayralardagi modda almashinuvni tejab sarflash prinsipi bo'yicha amalga oshiriladi. Bu esa uni boshqarishning murakkab tizimini ta'minlaydi. Shuning uchun sanoatchi mikrobiologlarning vazifasi mikroorganizmlarning mutant shakllarini yaratishdan iborat.

*Biotexnologlar organizmning genetik dasturini o'zgartirish yo'li bilan, shuningdek boshqaruv tizimini vayron qilish yordamida metabolizmning kerakli mahsulotini yuqori darajada sintezlashga intilmoqlardilar.*

Tabiiy populatsiyalardan yuqori mahsuldor shtammlarni ajratish uchun turli xil usullardan foydalaniladi.

**Seleksiya** - bu o'zining avlodidagi eng yaxshi ko'rsatkichlarga ega bo'lgan organizmlarni sun'iy yo'l bilan ajratish. Ushbu usulning eng katta kamchiligi - haddan tashqari ko'p vaqt sarflanishi.

Samaradorliroq usul bu indutsiyalashgan mutagenezdir. U ba'zi bir kimyoviy birikmalar, yoki ultrabinafsha va rentgen nurlanishning mutagen ta'sir etishiga asoslangan. Mutagenlar metabolik reaksiyalar

ta'sirida DNK o'zgarishiga sabab bo'ladi, natijada oddiy hujayralarning bir qismi yuqori mahsuldor hujayralarga aylanadi.

Qoida bo'yicha, mutagenez va seleksiya usullaridan birgalikda foydalilaniladi. Misol uchun, shu yo'l bilan olingen *bacillus subtilis* bacteriyalarning yuqori unumdar shtammlari bir tonna ozuqaviy aralashmadan 75 kg gacha B<sub>2</sub> vitaminini ajratib olishga qodir.

Genetika va molekular biologiya sohasidagi yutuqlar o'tgan asrning 70-yillaridan boshlab biotexnologlarga mutant shtammlarini ko'rko'rona tanlashdan, rekombinantli DNK texnologiyasi(zamonaviy genli injneriyaning asosi)dan foydalaniib, genomlarni ongli ravishda loyihalashtirishga o'tishga imkon berdi.

Mikrobiologik ishlab chiqarishning umumiy sxemasi quyidagi asosiy bosqichlardan iborat:

### **1. Ozuqaviy muhitni tayyorlash**

Ozuqaviy muhit organik uglerod - hayotning asosiy elementi manbayi bo'lib xizmat qiladi. Mikroorganizmlar organik birikmalarning keng spektri- metan ( $\text{CH}_4$ ), metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) va uglekislota ( $\text{HSO}_3$ ) dan tortib to tabiiy biopolimerlargacha yutib yuboradi. Ugleroddan tashqari hujayralar azot, fosfor va boshqa elementlar (K, Mg, Zn, Fe, Cu, Mo, Mn va boshq.) ga muhtojdir. Ozuqaviy muhitni tayyorlashning asosiy bosqichi - barcha begona mikroorganizmlarni yo'qotishga asoslangan *sterilizatsiyadir*. Sterilizatsiya termik, radiatsion, filtratsion yoki kimyoviy usullar orqali amalga oshiriladi.

### **2. Fermenterga kiritish uchun sof shtammlarni olish**

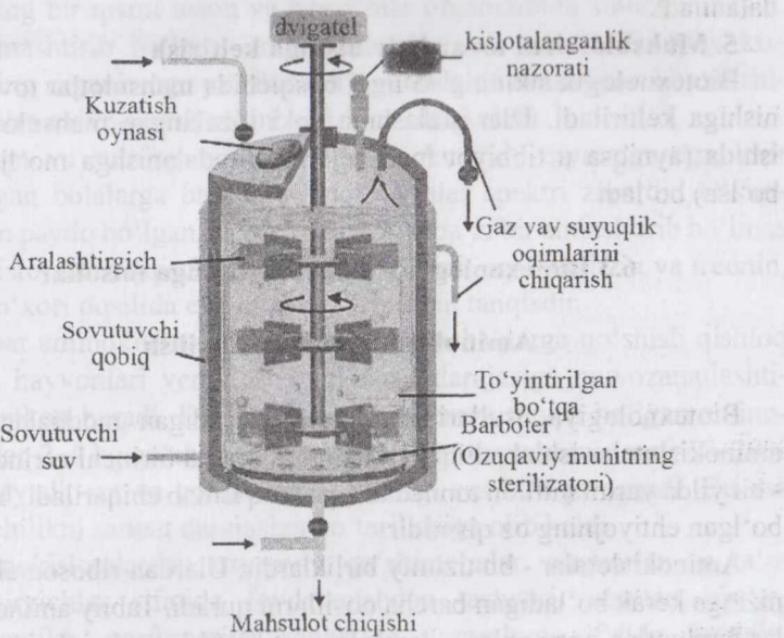
Fermentatsiya jarayonini boshlashdan avval yuqori mahsuldor sof mikroorganizmlarni olish lozim. Sof mikroorganizmlarni ularning mahsuldorligini, yashash qobiliyatini ta'minlovchi sharoitda va uncha katta bo'Imagan hajmda saqlash lozim (odatda, bunga past temperaturalarda erishiladi).

Doimo mikroorganizmlarni ularga boshqa mikroorganizmlarni yuqtirmay toza saqlash lozim.

### **3. Fermentatsiya - biotexnologik jarayonning asosiy bosqichidir**

Fermentatsiya – mikroblarni tayyor holga keltirilgan va kerakli temperaturagacha qizdirilgan muhitga kiritishdan to hujayraning o'sishi yoki bir maqsadga yo'naltirilgan xomashyonining biosintezi yakunla-

nishigacha bo'lgan amallarning majmuidir. Barcha jarayon maxsus qurilma – fermentyorda sodir bo'ladi (6.4-rasm).



6.4 - rasm. Fermentyor sxemasi.

Oddiy fermentor unda muhit va mikroorganizmlar birgalikda mekanik tarzda aralashadigan berk silindr dan iborat. U orqali havo, (ba'zida kislород bilan to'yingan) yuboriladi. Temperatura issiqlik almashgich quvurlaridan o'tkaziluvchi suv yoki bug' yordamida boshqariladi. Fermentor tuzilishi o'sish sharoitini: doimiy temperaturani, pH (kislotalik yoki ishqorlik)ni va muhitda erigan kislород zichligini boshqarish imkonini berishi lozim.

Fermentatsiya yakunlanganidan so'ng ishchi mikroorganizmlar, ishlatilmagan ozuqaviy komponentlar va biosintez mahsulotlari aralashmasi hosil bo'ladi. Uni ozuqaviy suyuqlik yoki bulon deb atashadi.

#### 4. Fermentatsiyaning eng so'ngida beradigan mahsulotni ajratish va tozalash

Fermentatsiya yakunlanganidan so'ng olinishi kerak bo'ladigan mahsulotni bulonning boshqa tarkiblaridan tozalanadi. Buning uchun

turli xil texnologik usullar: filtratsiya, separatlash (markazga intilma kuch ta'sirida zarrachalarni cho'ktirish), kimyoviy cho'ktirishdan foydalaniлади.

## 5. Mahsulotlarni tovar ko'rinishiga keltirish

Biotexnologik siklning so'nggi bosqichida mahsulotlar tovar ko'rinishiga keltiriladi. Ular aralashma yoki tozalangan mahsulot ko'rinishida (ayniqsa u tibbiyot maqsadlarida foydalanishga mo'ljallangan bo'lsa) bo'ladi.

### 6.3 Biotexnologik ishlab chiqarishga misollar

#### Aminokislotalarni hosil qilish

Biotexnologiya usullari yordamida olinadigan moddalar orasida aminokislotalar ishlab chiqarish hajmi bo'yicha birinchi o'rinda turadi - bir yilda yarim million tonnadan ziyodroq ishlab chiqariladi, bu ularga bo'lgan ehtiyojning oz qismidir.

Aminokislotalar - bu tizimiyl birliklardir. Ulardan ribosomalar organizmga kerak bo'ladiyan barcha oqsillarni quradi. Tabiiy aminokislotalar fermentlar, gormonlar, vitaminlar, antibiotiklar, toksinlar va boshqa azotli birikmalar biosintezida qatnashgan.

6.1 - jadval

#### Insonning o'zgarmaydigan aminokislotalarga bo'lgan talabi

Aminokislota	Bir sutkadagi talab, mg/kg	
	Bolalar	Kattalar
Valin	92	14
Gistidin	33	10
Izoleysin	83	12
Leysin	135	16
Lizin	99	12
Metionin va sistein	49	10
Fenilanin va tirozin	141	16
Treonin	68	8
Treptofan	21	3

O‘z navbatida oqsillar organik xomashyodan turli xil aminokislotalarni sintezlashga qodir. Lekin bunga qaramay kerakli aminokislotalarning bir qismi inson va hayvonlar organizmida sintezlanmaydi. Ular almashtirib bo‘lmas aminokislotalar deb ataladi. Bunday kislotalarning organizmiga yetishmasligi moddalar almashinuvi buzilishi, o‘sish va rivojlanish sekinlashishiga olib keladi.

Tuxum va sutning oqsillari yuqori ozuqaviy qiymatga ega, axir o‘sayotgan bolalarga barcha aminokislotalar spektri zarurdir. O’simliklardan paydo bo‘lgan ko‘plab oqsillarda ba’zi bir almashtirib bo‘lmas aminokislotalar tanqisdir. Bug‘doy va guruch oqsilida lizin va treonin, makkajo‘xori oqsilida esa - lizin va triptofan tanqisdir.

Sanoat aminokislotalarni kuchli yem-xashklarga qo‘sish qishloq xo‘jalik hayvonlari yem-xashagini oqsil darajasiga muvozanatlashtirishga imkon beradi. Bir tonna omuxta yemga tanqis bo‘lgan aminokislotadan 2–4 kg qo‘shilganda omuxta yemning umumiyligi sarfi 15–20% ga kamayadi, sut va go‘sht mahsulorligi esa 20%ga oshadi. Bu esa chorvachilikni sanoat darajasiga ko‘tarilishiga olib keldi.

Aminokislotalardan ozuqaviy qo‘shimchalar, ziravorlar va ta’m kuchaytirgichlar sifatida foydalanishdan tashqari, ulardan kimyo, farmatsevtika, parfumeriya sanoatida xomashyo sifatida foydalaniladi. Aminokislotalarning sanoatda ishlab chiqarilishi ba’zi mikroorganizmlarning aminokislotalarni tashqi muhitga chiqarish xossasi aniqlanganidan so‘ng ommalashdi.

*Corynebacterium glutamicum* shtammi glutamat produtsenti bo‘lib hisoblanadi. Undan eng mashhur ozuqaviy qo‘sishcha glutamin kislotasini 1956-yil Yaponiyada keng masshtabda biotexnologik ishlab chiqarishda foydalanilgan.

Lizinning sanoatdagi produtsenti bo‘lib *Corinebacterium glutamicum* turdagи bakteriyalar shtammi hisoblanadi. Lizin almashtirilmaydigan aminokislotalar qatoriga qo‘shiladi.

Produtsentlarning istiqbolli shtammlarini o‘zgartirilgan genetik das-turga va boshqarish xossalariiga ega bo‘lgan mutantlar seleksiyasi doimo yaxshilab bormoqda.

### Vitaminlarni hosil qilish

Vitaminlar - katalitik va boshqarish funksiyalarini bajaruvchi turli xil kimyoviy tabiatli almashtirib bo‘lmas birikmalardir. Biror bir vitaminning yetishmasligi moddalar almashinuvini, organizmning yashash

faoliyatining me'yoriy jarayonini buzadi, bu esa patologik holatlar rivojlanishiga olib keladi. Inson va hayvonlar organizmida vitaminlar hosil bo'lmaydi. Ularni sintezlashga faqat o'simliklar va qator mikroorganizmlar qodir. Insonlar uchun kerakli vitaminlarni sanoatda ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan.

### **Organik kislotalarni hosil qilish**

Mikrobiologiya sanoati usullaridan inson uchun kerak bo'ladigan ba'zi bir organik kislotalarni ishlab chiqarishda foydalaniladi. Mikroblar ishlab chiqaradigan sirka kislotasidan oziq-ovqat sanoatida, kau-chuk, plastmassa, tola, insektitsidlarni ishlab chiqarishda foydalaniladi. Limon kislotasidan oziq-ovqat, farmatsevtika, kosmetika sanoatida hamda metallarni tozalashda foydalaniladi. Limon kislotasini ishlab chiqarish qadimgi mikrobiologik jarayonlar qatoriga kiradi, uni ishlab chiqarish 1893-yilda tashkil etilgan. O'tgan asrning 20-yillarida *Aspergillus niger* ishtirokida glyukozadan olinuvchi D-glyukon kislotasini sanoatda ishlab chiqarish yo'lga qo'yilgan. Undan metallarni ajratishda, zangni yo'qotishda, yuvish vositasi va tibbiyot preparati sifatida ishlatiladi. Shu bilan birga glyukozadan itacon kislotasini olish mumkin, undan plastmassa va bo'yoqlarni ishlab chiqarishda foydalaniladi.

### **Antibiotiklarni hosil qilish**

**Antibiotiklar** - mikroorganizmlarni nobud qilishga yoki ularning o'sishiga to'sqinlik qilishga qodir biologik yaratilgan moddalardir. Tabiatda antibiotiklar yordamida mikroorganizmlar bir-birlari bilan kurashadi.

Antibiotiklar mikroorganizmlarni nobud qiladigan bakteritsid va mikroorganizmlarning ko'payish xossasini buzuvchi bakteriostatik kabi turlariga bo'linadi.

Birinchi antibiotik - *Penicillium notatum* mog'or zamburag'lardan hosil bo'luvchi penitsillindir. Uni 1928-yili bakteriolog A. Fleming kashf qilgan. "Mikroblar quroli" ko'plab bakterial kasalliklar (sil, sepsis, sifilis va boshq.) ni tuzalmasligi haqidagi tasavvurni puchga chiqardi. XX asrning 40-yillarida antibiotiklarni katta masshtabda ishlab chiqarishni tashkil etish biotexnologiya sanoati vujudga kelishida katta rol o'ynadi.

Yaratilayotgan antibiotiklarning miqdori doimo o'smoqda. 1940-yilda faqatgina 6 ta antibiotik ma'lum edi xolos, hozirgi kunda esa

12 000 dan ziyod antibiotik birikmalar tavsiflanadi. Ulardan 200 taga yaqin preparat tibbiyotda qo'llaniladi. Antibiotiklarning 97% inson uchun zararli bo'lgan uchun ulardan amaliyotda foydalanilmaydi.

Dunyoda har yili 20 mlrd. dollarlik antibiotiklar ishlab chiqariladi. Antibiotiklar mog'or zamburug'lar, aktinomitsetlar, eubakteriyalar va boshqa mikroorganizmlardan olinadi. Aktinomitsetlarning ba'zi turlari 50 ga yaqin antibiotiklarni sintezlaydi.

### **Fermentlarni hosil qilish**

**Fermentlar** (lot. Fermentum - zardob) yoki **enzimi** (grek. En - ichkari + zyme - zardob) - har bir hujayrada mayjud bo'lgan oqsil-katalizatorlardir. Biokimyoviy reaksiyalarni tezlashtirish natijasida fermentlar moddalar almashinuvining barcha jarayonlarini yo'naltiradi va boshqaradi. Fermentlarning oz miqdori boshqa organik moddalarning katta qismini parchalatib yuborishga qodir. Mustaqil kimyoviy modda bo'lib hisoblanuvchi fermentlar hujayra tashqarisida ham katalitik faolligini saqlab qoladi. Kimyoviy katalizatorlardan farqli o'laroq, fermentlar zararsizdir, sodda xomashyodan foydalanadi, ulardan sanoatda foydalanish ekologik va iqtisodiy nuqtayi nazardan foydalidir. Fermentlarning to'qimachilik, ko'ncilik, sellyuloz-qog'oz, tibbiyot, kimyoviy va oziq-ovqat sanoatida keng foydalaniladi. Tibbiyotda diagnostika maqsadida fermentlardan, masalan jigar kasalligi yoki miokard infarkti kasalliklarini aniqlashda foydalaniladi.

Fermentlar manbayi sifatida barcha tirik mavjudotlar ishtirok etishi mumkin. Ularni olish uchun ba'zi bir o'simlik organizmlari (ularning rivojlanishining ma'lum bir davridagisi, donlarning kurtaklanishi) hamda hayvonlarning organlari va ayrim to'qimalari (shohli hayvonning shirdoni, to'liq yetilgan hayvonlarning moyagi, o't pufagi) yaroqlidir. Biroq, fermentlarni ommaviy ishlab chiqarishda mikroorganizmlardan foydalaniladi.

### **Mikrobi immunobiologik preparatlarni – vaksina, immunni zardob, diagnostikumlarni hosil qilish**

**Vaksina** - yuqumli kasalliklarning oldini olishning asosiy usulidir. Ushbu preparatlar kuchsiz yoki nobud bo'lgan yuqumli vakil (bakteriya, virus va boshq.)dan yoki antigen xossalarga ega va berilgan infek-

siyaga qarshi immunitetni chaqirishga qodir alohida komponentlardan tayyorlanadi.

“Vaksina” termini lotincha so‘z *vacca* - mol so‘zidan kelib chiqadi. Qadimda insonni suvchechak kasalidan himoya qilish uchun suvchechak kasaliga mutbalo bo‘lgan molning ko‘pigi emlangan. Hozirgi kunda patogen mikroblardan olinuvchi va organizmga kirganda spetsifik antijismlar hosil bo‘lishiga sabab bo‘luvchi barcha moddalarni vaksina deb ataymiz. Vaksinalardan foydalanish organizmning kasalliklariga moyilligini bartaraf etadi va uning himoyalanish kuchini kuchaytiradi.

**Antijismlar** – organizmga bakteriya, virus, oqsil toksinlari va boshqa infekzion vakillar kirganda ularga javoban hosil bo‘luvchi oqsillardir. Antijismlar mikroblar ko‘payishiga to‘sqinlik qiladi va ulardan chiquvchi zaharni yo‘q qiladi.

**Immun zardoblar** – belgilangan turdagи mikroblar uchun tayyor antijismlarni o‘zida mujassamlashtiradi. Vaksinalardan farqli o‘larоq, ulardan nafaqat profilaktika uchun, balki davolash uchun ham ishlataladi, chunki antijismlarni zararlangan organizmga kiritilganda mikroblar va ularning zarari bartaraf etiladi.

Zardob uchun kerak bo‘ladigan antijismni hosil qilish uchun otga ataylab infeksiya yuqtiriladi. 10–12 kundan so‘ng uning organizmi kerakli miqdorda antijismlarni ishlab chiqarishni boshlaganda, hayvon qonidan zardob olinadi.

Ot qonidan olingen zardob preparatlarda zarur antijismlardan boshqa inson uchun begona oqsillar bo‘ladi. Shuning uchun uni bemor organizmiga yuborilganda allergik reaksiyalar sodir bo‘lishi mumkin. Asoratlar darajasini kamaytirish uchun zardob qo‘sishmcha qayta ishlanadi.

Hozirgi kunda katta miqdordagi zichlikka ega antijismlи immun zardoblaridan olinuvchi gammaglobulindan keng foydalanilmоqda.

**Diagnostik zardoblar** (diagnostikumlar) - belgilangan turdagи o‘lik bakteriyalar suspenziyasidir. Misol uchun, ich terlama diagnostikumi - bu ich terlama o‘lik bakteriyalarining suspenziyasidir. Diagnostikumlardan diagnostikalash maqsadida qon zardobidagi immunoglobulinlарni sifat va miqdorini aniqlash uchun foydalaniladi.

Hozirgi kunda samarador va havfsiz immunobiologik preparatlarni *genli injeneriya* yordamida olish imkoniyatlari kengaymoqda. U ke-

rakli moddalar manbayi sifatida inson yoki hayvon organizmidan emas, balki yangi sun'iy yaratilgan tizimlar - ko'p hujayrali organizmlarning maxsus hujayralarini o'stirishdan foydalanishga imkon beradi.

Antijismlar limfotsitlarda sintezlanadi. Agar limfotsitlarni tez bo'linuvchi saraton hujayralari bilan birlashtirilsa, u holda ikkalasining ham xossalarni o'zida mujassamlashtirgan hujayra-gibridomlar hosil bo'ladi. Ulardan genetik bir xil bo'lgan tez bo'linuvchi (saraton hujayralari kabi) va belgilangan turdag'i antijismlarni ishlab chiquvchi (limfotsitlar kabi) hujayralarning to'liq populatsiyasini hosil qilish mumkin. Bunday klon belgilangan turdag'i antijismlarning istalgan miqdorda olinishiga imkon beradi.

#### **6.4. Genli injenerianing asosiy mexanizmlari Rekombinantli DNK texnologiyasi**

Genli injenerianing mohiyati quyidagidan iborat: qaysi gen nima uchun javob berishini bilib biologlar uni bir organizm DNKsidan ajratib olib, boshqa organizm DNKsiga kiritadilar. Natijada hujayralarni organizmga yangi xossalarni beruvchi yangi oqsillarni sintezlashga majbur qilinadi.

Ma'lumki, tabiatda ham genetik ma'lumot almashinuv faqatgina bir turdag'i zotlar aro sodir bo'ladi. Bir tur ichida ajdoddan avlodga genlarning o'tishi *vertikal* o'tish deb ataladi. Qoida bo'yicha bunda yaratiluvchi zotlar ajdodiga juda o'xshash bo'ladi, tabiatdagi genetik apparat yuqori aniqlikka ega va u har bir turning barqarorligini ta'minlaydi.

Genli injeneriya tabiiy yo'l bilan amalga oshmaydigan turlar aro to'siqlarni yengishga, bir organizmning alomatlarini boshqasiga o'tishiga imkon beradi. Qo'pol qilib aytganda, genli injeneriya tabiat taqiqlagan ishlarni amalga oshiradi. Misol uchun, baliq genini pomidorga kiritadilar. Bu ishni pomidor suzishi uchun emas, balki uni past temperaturada saqlash imkonи vujudga kelishi uchun qilinadi. Genlarni har xil turlararo o'tishi *horizontal* o'tish deb ataladi.

Turli xil organizmlar DNKi bo'laklaridan yig'ilgan DNA molekulasini **rekombinantli DNK** deb ataladi. Maymun virusi SV40, bakteriofag *lyambda* va galaktoz operon *E.coli* genlari mujassamlashgan birinchi

rekombinantli DNK 1972-yili P. Berg rahbarligidagi Amerikali olimlar guruhi tomonidan yaratilgan.

Biroq bunday turdag'i "genli operatsiya" 4,5 milliard yil avval bosh "gen injeneri" - Tabiat tomonidan muvafaqqiyatlari o'tkazilgan. Gap bizga ma'lum bo'lgan bizning sayyoramizda Arxey erasidan yashab kelgan birinchi tirik mavjudot - prokariotlar haqida ketmoqda. Tabiatda genetik ma'lumotlarni uzatish mexanizlari turni yashashga va saqlab qolinishiga xizmat qiluvchi yuqori turg'unlikka ega. Bunday turg'unlik mutlaq emas, chunki aks holda evolutsiya davomida guvoh bo'lganimizday, hayotning xilma-xil ko'rinishlari yaratilgan bo'lmasi.

Biroq, prokariotlar oddiy bo'linish yo'li bilan ko'payadi, bunda har bir qiz hujayra ota-onasini DNKnинг aniq nusxasini "meros" qilib oladi. Darvin ifodalaganidek evolutsiya harakatlantirgichi taraqqiyot harakatlantiruvchisi bo'lib hisoblanuvchi genetik o'zgaruvchanlikning eng oshkora sababi bu *mutatsiyadir*.

**Mutatsiya** - hujayraning genetik kodini yangi alomatlarning hosil bo'lishiga olib keluvchi sakrashsimon o'zgarishidir. Agar o'zgartirilgan zot avlodlari oddiyiga nisbatan ba'zi bir afzallikkalarga ega bo'lsa (masalan, kattaroq hayotiy qobiliyat, yoki tez o'sish tezligiga), ular asta-sekin to'planadi va dastlabki zotni siqib chiqaradi.

Mutatsiyaning - *spontan* (ularni kelib chiqish sabablari aniqlanmagan) va *indutsirlashgan* turlari farqlanadi. Mutatsiyani hujayraning genetik materialiga fizik, kimyoviy yoki biologik ta'sirini o'tkazuvchi turli xil omillar indutsirlashi mumkin.

Evolutsiya davomida prokariotlar o'zining genetik materialini nurlanish, kimyoviy moddalar va boshqa mutagenlarning zararli ta'siridan himoyalovchi usullarni ishlab chiqdi. Ularning hujayralarida DNKnинг zararlangan joylarini bartaraf etuvchi samarador tizimlar aniqlangan. Agar bunday mexanizm mavjud bo'lmaganda organizm tur sifatida qayta tug'ilib, o'sha zahotiyoyq nobud bo'lardi.

DNKni qayta tiklashning asosiy mexanizmi - zararlangan joylarni olib tashlash vazifasini bajaruvchi *restriksiyadir*. Ushbu jarayonni D NK tolasini parchalovchi *endonukleaz* fermentlari amalga oshiradi. Bunday usul molekulaning faqatgina bitta zanjiri zararlangan bo'lsagina yordam beradi. U holda zararlangan joy olib tashlanadi, bo'shilq esa matritsa-shablon sifatida DNKnинг zararlanmagan tolasidan foyda-

lanilgan holda komplementar nukleotidlar bilan to'ldiriladi. Shunday qilib, ko'plab tasodifiy mutatsiyalar kesib tashlanadi.

Biroq, ikkala tola ham zararlangan bo'lsa, qayta tiklovchi mexanizm o'zini-o'zi nobud qiluvchi quroqga aylanadi: endonukleazlar zararlangan joyni aniqlab, o'sha joydagi DNK tolalarining ikkalasini ham uzib tashlaydi. Aytgancha, ushbu jarayon ko'p hujayrali organizmlarning hujayralarida xromosomalarning zararlanishi holatida ham sodir bo'ladi. Bunday genetik dasturlashtirilgan o'z-o'zini nobud qilish jarayonini biologlar *apoptoz* deb atashadi. U genlarning "toza"ligini saqlaydi va turni inqirozga yuz tutishidan ehtiyoj qiladi. Hujayralar "Adashgandan ko'ra nobud bo'lish afzal" kabi o'ziga xos qonunga amal qiladi, deb aytishimiz mumkin.

Biroq, barcha tirik mavjudotlardagi o'zini saqlash instinkti kuchliroqdir. Mutant-hujayra DNKn modifikatsiyalash - nukleotidlarning qo'shimcha juftligini kiritish yoki metillash yo'li bilan nobud qiluvchi restriksiyani "aldashga" erishadi. Omon qolgan hujayra yangi xossalarni o'zida mujassamlashtirib, agar ular foydali bo'lsa, yangi mavjudotning yaratilishiga sabab bo'ladi.

Shunday qilib, organizmlarning turli-tumanligini - mutatsiya tu-shuntiradi. Genetikaning rivojlanishi davomida olimlar prokariotlar uchun turli zotlararo genlarning o'tishining gorizontal yo'li xarakterli ekanligini aniqladilar. Molekulyar-genetik tahlil prokariotlarning genomlari har xil turlardan olingan genlar mozaikasidan iborat ekanligini ko'rsatdi. Bir xil genetik ketma-ketliklarni ko'plab prokariotlarda ko'rish mumkin. Bunday mozaika hosil bo'lishini faqatgina genlarni ko'chirishning gorizontal usulida ko'rish mumkin.

*Prokariotlarda genlarni gorizontal usulda ko'chirish - bu nafaqat genli injeneriyaning natijasi yoki tajriba dalili, balki keng tarqalgan tabiat hodisasiadir.*

Lateral ko'chirishning uchta asosiy mexanizmi o'rnatilgan - transformatsiya, kon'yugatsiya va transduksiya.

**Transformatsiya** – bu ba'zi bir bakteriyalarda genetik materiallarni ayriboshlashning me'yoriy fiziologik funksiyasidir.

**Kon'yugatsiya** - turlararo genetik ma'lumotlarni ayriboshlash uchun eng kam cheklashlarga egadir, biroq mikroorganizmlararo zich fizik aloqada bo'lishni talab qiladi.

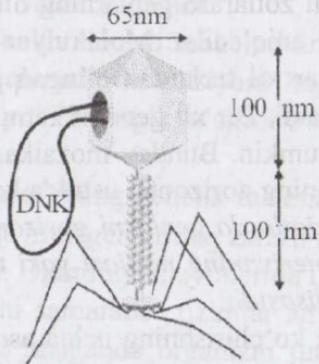
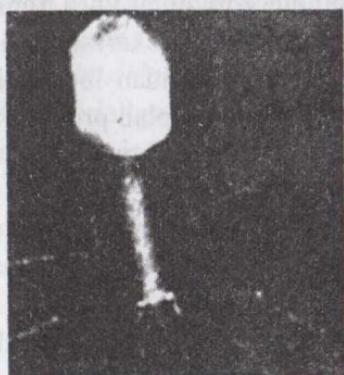
**Transduksiya** (lot. Transductio-ko'chirish)-ba'zi bir viruslar (bak-

teriofaglar) yordamida genetik materialni bir hujayradan boshqasiga ko'chirishdir. Bu retsipient hujayralarning meros xossalari o'zgarishi-ga olib keladi. Transduksiya hodisasi 1952-yili Amerikali olimlar D. Lederberg va N. Sinder tomonidan kashf qilingan.

**Viruslar** (lot. virus - zahar) - 1892-yili rus botanik olim D.I. Ivanovskiy tamakining mozaikali kasalligini (bargdag'i dog'lar) o'rganish jarayonida aniqlagan. Inson va hayvonlarda viruslar keltirib chiqaruv-chi eng xavfli kasalliliklar qatoriga quturish, suvchechak, gripp, poliomelit, SPID, gepatit va boshqalar kiradi.

Viruslar jonli va jonsiz materiya oralig'ida joylashgan. "Viruslar jonlimi?" degan savolga javob berish qiyin. Ularning ko'payishi va meros ma'lumotga ega bo'lish xossasiga qarab ularni jonli deb atash mumkin, lekin viruslar jonli mavjudotlar singari hujayrali tuzilishga ega emas. Shuni aytib o'tish joizki, viruslar bosh hujayradan tashqarida o'zini-o'zi qayta ishholmaydi.

Viruslar juda oddiy tuzilishga ega. Ular sharsimon, geksagonal yoki tayoqchasimon ko'rinishdagi 45–100 nm diametrli o'zakdan, 10–40 nm qalinlikdagi va uzunligi 100–200 nm li novdadidan tashkil topgan. 1 mm<sup>3</sup> suvda milliardga yaqin faglar joylashishi mumkin (6.5-rasm).

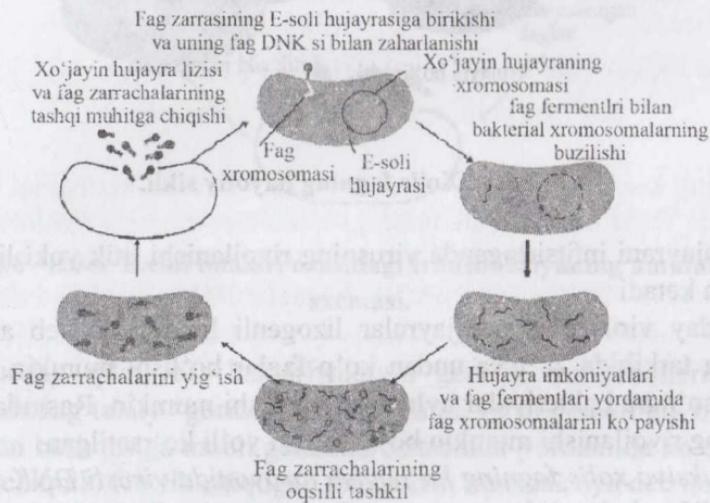


6.5 - rasm. Bakteriofag T4 ning tuzilish sxemasi va elektron-mikroskopik fotosurati.

Virus o'zagi DNK yoki RNK ga ega. Uni himoyalovchi oqsilli qatlama (*kapsid*) o'rab olgan. Novda kovak nay ko'rinishiga ega va u mushaklar kabi qisqaruvchi oqsillar qatlami bilan o'ralgan. Ko'plab

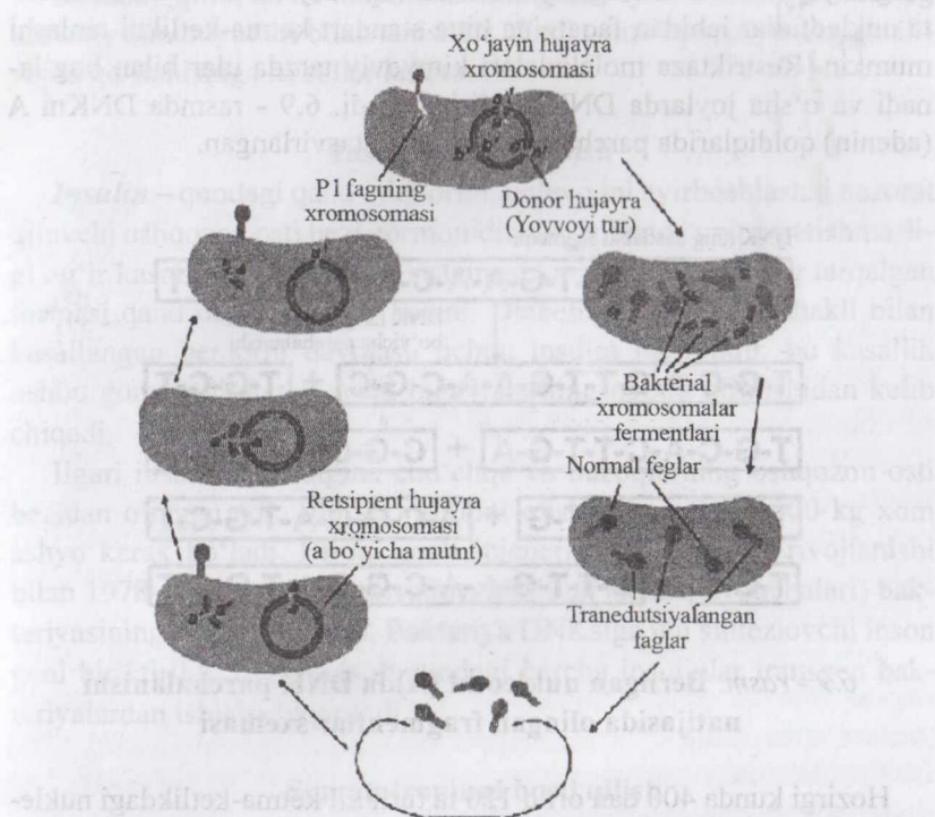
viruslarning novdasi uchidagi tayanch plastinkadan chiquvchi ingichka uzun novdachalar - "oyoqcha"lar mavjud, ular bosh hujayraga mahkam yopishish uchun xizmat qiladi.

Virus o'z-o'zini ko'paytirishi uchun bosh hujayra xo'jayin hujayra ichiga kirishi lozim. Buning uchun u bakterial hujayraga yopishib olib, o'ziga xos fermentni ajratib chiqarib hujayra devorini eritadi. So'ngra, o'zak tarkibi novda kovagi orqali o'tib hujayraga kiradi. Virus hujayra ichiga kirib, ribosomalarni virus nusxalarini ishlab chiqarishga qayta dasturlaydi. Virus hujayra DNKsini ishdan chiqarib, o'zining DNK va RNK sidan foydalaniib, hujayrani virusning yangi nusxalarini sintezlashga majbur qiladi. Virus zarrachalarining katta miqdori yig'ilganidan so'ng, hujayra nobud bo'ladi. Ko'plab yangi viruslar ozodlikka chiqib, boshqa hujayralarni shikastlaydi. Hujayralarni nobud qiluvchi viruslar *virulentli* viruslar deb ataladi (6.6-rasm).



6.6 - rasm. T2 yoki T4 virulentli fagalarning yashash sikli.

Biroq, viruslarning boshqa kategoriyasi ham mavjud, ular *xolis viruslar* (simbiotik) deb ataladi. Ular hujayra ichiga kirib, hujayralarni nobud qilishi yoki hujayra DNKhiga o'rnatshib olib, uning ichida berk yuqumsiz holatda qolishi mumkin (6.7-rasm).



6.8 - rasm. E.coli tolalari orasidagi transduksiyaning umumi  
sxemasi.

Shunday qilib, biz bakteriyalararo genetik ma'lumotlarni ayirboshlashning tabiiy "gorizontal" jarayonini, ya'ni genlarning bir organizmdan boshqasiga mobil genetik vositachilar yordamida ko'chishini ko'rib chiqdik. Ko'rib chiqilgan mexanizm transduksiya deb nom oldi, uning mohiyatini tushunish esa genli injeneriya yaratilishiga olib keldi.

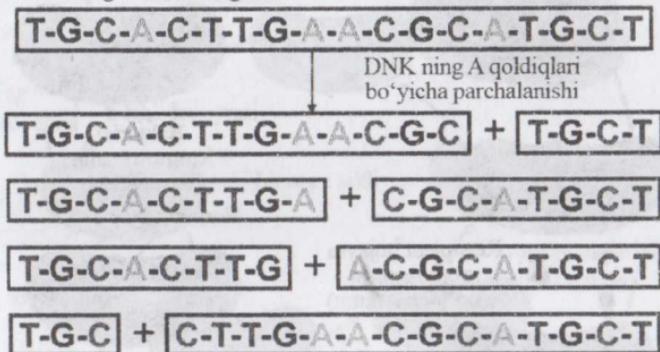
Genli injenerianing mohiyati - organizm genotipiga alohida genlar yoki ularning guruhlari kiritiladi yoki olib tashlanadi. Buning uchun boshqa tur genlariga ega rekombinantli DNK ni olish usulidan foydalilanadi.

Ushbu jarayon bir nechta bosqichdan iborat:

1. DNK zanjiridan u yoki bu genni ajratib olish uchun **restriksiya**
- DNKn fragmentlarga ajratishdan foydalilanadi. Ular DNKn belgi-

langan joyidan bo'laklarga ajratadi. Har qanday reskriktaza bir nechta nukleotidlar ichidan faqatgina bitta standart ketma-ketlikni tanlashi mumkin. Restriktaza molekulalari kimyoviy tarzda ular bilan bog'lanadi va o'sha joylarda DNK zanjirini uzadi. 6.9 - rasmida DNKn A (adenin) qoldiqlarida parchalanish sxemasi tasvirlangan.

DNK ning dastlabki segmenti



### 6.9 - rasm. Berilgan nukleotid (A)da DNK parchalanishi natijasida olingan fragmentlar sxemasi

Hozirgi kunda 400 dan ortiq 120 ta turli xil ketma-ketlikdagi nukleotidlar bo'yicha DNKn A parchalashga qodir reskriktazlar ma'lum.

2. **Ligirlash** - ligaz deb nomlanuvchi o'ziga xos fermentlar yordamida genlarni "biriktirish" jarayonidir. Ligazlar DNK qismlarini ularning chetidagi nukleotidlar orasida kimyoviy bog'lanishni hosil qilib biriktiradi.

3. Rekombinantlangan DNK biriktirilganidan so'ng, uni tirik hujayralarga kiritiladi. Ushbu jarayon **transformatsiya** deb ataladi. Rekombinant DNK hujayra genetik apparatining tarkibiy qismi bo'lib qolishi uchun, u genom ichiga kirib olishi va uning hisobidan replitsirlanishi lozim, yoki mustaqil replikatsiyalashga qodir bo'lishi kerak. Buning uchun mobil genetik elementlar - **vektorlar**: viruslar, plazmidlar va transpozonlardan foydalilaniladi. Ushbu elementlar o'zining DNKsiga u yoki bu genlarni biriktirib oladi, so'ngra bosh hujayradagi uzilib ketgan genlar bilan xromosomaga o'rashib oladi. Umumiy holatda bu jarayon tabiatda ham o'z o'rniqa ega transduksiyani eslatadi.

Shunday qilib, DΝK molekulalarining sun'iy konstruksiyalashning umumiy qonuniyatlar bilan tanishdik. Endi genli injeneriyaning amaliyotda qo'llanishiga misollar keltiramiz.

### **Insulinni hosil qilish**

**Insulin** – qondagi qand miqdorini, uglevodni ayirboshlashni nazorat qiluvchi oshqozon osti bezi gormonidir. Organizmda uning yetishmasligi og'ir kasallikka – endokrin sistemasi kasallanishining eng tarqalgan formasi qand diabetiga olib keladi. Diabetning eng og'ir shakli bilan kasallangan bemorni davolash uchun insulin muhimdir, bu kasallik ushbu gormonni sintezlovchi hujayralarning nobud qilinishidan kelib chiqadi.

Ilgari insulinni faqatgina cho'chqa va buzoqlarning oshqozon osti bezidan olingan edi. 100 gr insulinni olish uchun 800–1000 kg xom ashyo kerak bo'ladi. Biroq, genli injeneriya usullarining rivojlanishi bilan 1978-yili insulinni maxsullovchi *E.coli* (ichak tayoqchalari) bakteriyasining shtammi olindi. Bakteriya DNKSiga uni sintezlovchi inson geni biriktirildi. Endilikda dunyodagi barcha insulinlar transgen bakteriyalardan ishlab chiqariladi.

### **Somatotropinni hosil qilish**

Somatotropin (insonning rivojlanish gormoni)ning sinteziga gipofizning oldingi ulushi javob beradi. Uni organizmga yetishmasligi gipofizar nanizm - pakanalikka olib keladi (o'rtacha 5000 kishidan bitta). Insonlarni davolash uchun yaroqli somatotropinni faqat insonning gipofizidan ajratib olish mumkin.

### **Somatotropinni olish**

Somatotropinni (odamni o'stiruvchi garmon) sinteziga gipofizning oldingi ulushi javob beradi. Uning yetishmasligi gipofizarnizm – karlikka olib keladi. Odamlarni davolash uchun somatotropinni faqat inson gipofizidan olish mumkin, shuning uchun avvallari uni odam murdasidan olinardi. U ham karliklarni 1/3 qismini davolashga yetadigan, oz miqdorda bo'lardi. Bunday dorilar o'ziga xos xossaga ega bo'lib, davolanayotgan kasallarning 30% da antitimlar ishlab chiqarishib, ular biologik aktivlikni yo'q qilar edi. Hozir maxsus yaratilgan *E.coli*

bakteriyalari yordamida olingen bo'y o'stiruvchi gormonlar ishlab chiqarilmoxda. Shunday bakteriyalar birinchi marta 1979-yilda olingen edi.

### **Interferonlarni olish**

1957-yilda Angliyada virus ta'sir ettirilgan odam va hayvonlar hujayralarining zararlanmagan hujayralarga virusga chidamli xossa beruvchi modda ishlab chiqarishi aniqlandi. Ular hujayrada viruslar ko'payishiga xalaqit berishar (interferlar) ekan. Shuning uchun bunday moddalar interferonlar deb ataladi. Interferonlar bizning organizmaga har xil virus kasalliklar bilan kurashishda yordam beradi. Turli interferonlar asosida tayyorlangan dorilar immunomodulator – immun tizimni me'yorlovchilar va kuchaytiruvchilar sifatida, shu jumladan, virusli gepatit, skleroz, osteosarkoma kabi kasallikkarni davolashda foydalaniladi. Ulardan har xil melanonlar, tomoq, o'pka va miya shishlarni davolashda ham qo'llaniladi.

Interferonlar an'anaviy tarzda inson qonidan olinar edi. Hozirgi paytda interferonlar genetik modifikatsiyalangan (o'zgartirilgan) mikroorganizmlardan olinadi.  $10^{11}$  chamasida bakteriyalarni o'z tarkibiga olgan bir litr bakterial suspenziyasidan 5mg gacha interferon sintez qilishga qobil bakteriyalar shtammlarini olishga erishildi, bu esa 25000 donor qonini almashtiradi.

### **Transgen hayvonlar**

Genlar injeneriyasi usullarini chorvachilikda qo'llash hayvonlar mahsuldorligini (masalan, sutini) oshirishga, ularning kasalliklarga qarshilik ko'rsatish qobiliyat ortishiga imkon beradi. O'z genomlarida begona genlar bo'lgan hayvonlarni transgen (gen uzatuvchi) hayvonlar deb ataladi. Genlarni ko'chirish tufayli transgen hayvonlarda yangi xossalalar vujudga keladi, keyinchalik seleksiya ularni nasliy mustahkamlash va transgen yo'llar hosil qilish imkonini beradi. Shu usul bilan qimmatbaho biologik moddalar ishlab chiqaruvchi hayvon - bioreaktorlar olingen. Misol uchun, pishloq ishlab chiqarishda foydalaniladigan ferment - ximozen (leykozlarni davolash uchun qo'llaniladigan dori) bo'lgan sut beradigan transgen qo'y o'stirilgan. Shu bilan birga barcha kasallik chidamli mol va tovuqlar yaratilmoqda.

Minglab yillar davomida odamlar yangi xossal o'simliklarning tasodifiy mutatsiya natijasida hosil bo'lgan turlarini tanlab olib kerakli navlar yaratib keldilar. XX asr boshlaridan bu maqsadlar uchun nurlantirish va kimyoviy mutagenlar, somatik hujayralarni qo'shish kabi usullar qo'llana boshlandi, chatishtirish va tanlovni esa Mendel qonunlari asosida amalga oshira boshladilar. Bunday an'anaviy usullarda o'zgarishlarni oldindan aytish qiyin va bu jarayonlar odamda ko'plab genlarga ta'sir etadi.

*Genlar injeneriyasi usullari yangi genoturlar va oqibatda o'simliklarning yangi shakllarini seleksiyaning klassik usullaridan anche tezroq yaratish imkoniyatini beradi. Bundan tashqari, genotur xossalari maqsadga muvofiq yo'nalishda o'zgartirish imkoniyati paydo bo'ladi.*

### 6.5. Inson genomi

Ishdan maqsad – inson genomi mukammal xaritasini yaratish va uning sirlarini ochish. Bu insonni 3 milliarddan iborat genetik kodini qat'iy tizimga keltirish, ularni tariflari, vazifalari va o'zaro ta'sirlashish mexanizmlari va kasalliklarga olib keluvchi buzulishlarini aniqlashdan iborat edi.

Genom xaritasi – genlarning xromosomlarda ular orasidagi nisbiy masofalari ko'rsatilgan joylashishi chizig'iy sxemasi.

Buni geografik xaritaga o'xshatib har xil darajadagi tafsilotlar bilan yasash mumkin. Bu tahlil usuli aniqlik darajasiga bog'liq. Dastlabki genetik xaritalar DNA tuzilishi haqida faqat umumiy tasavvurlar berar edi. Ularda genlar – jismdagি ajratib bo'ladigan eng kichik obyektlar - orasidagi masofa 7–10 kilobaza edi.

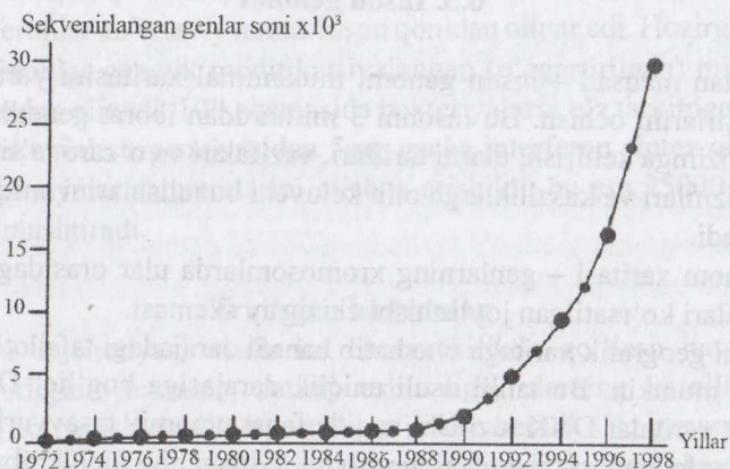
*Kilobaza – 1000 juft asos (nukleotidlar)ga teng bo'lgan DNA molekulasining uzunli o'lchov birligi.*

Genomlarni olib o'rganish sekvenirlash degan murakkab jarayon dan iborat (ing. Sequence – "ketma-ketlik").

U DNKLarni restriktaz usulida kesish mexanizmiga asoslangan. Boshqacha aytganda, avval DNA mayda bo'laklarga bo'linadi, har biri alohida - alohida tahlil etiladi va keyin boshlang'ich tizim tiklanadi.

Bu “birinchi avlod” usullari. Biroq, “Inson genomi” loyhasini amallashda yana boshqa ancha baquvvat usullar ishlab chiqilgan. 1988-yilda mashhur qo’shaloq DNK spiralini birinchi ochuvchilardan biri J.Uotson hammaga fan inson DNKsi kimyoviy asoslarini ochishga juda yaqin qoldi deganda, uning so‘zlarini ishonchsizlik bilan qabul qilingan edi. U vaqtga kelib inson genomida 3 milliard just nukleotidlar borligi ma’lum edi. Bu kattalik tasavvur qilib bo‘lmash darajada kattadek tuyulgan edi, chunki bitta yagona genni ochish yillab og‘ir ishni talab etardi. Genetiklar orasida “Bitta gen – bitta oqsil”ga o‘xshash “bitta gen – bitta karyera” degan rivoyat yurar edi. Shuning uchun mana shunday hajmdagi axborot olish mutlaqo hayoliy fikr edi. Tanqidchilar Uotson aytgan masala kam deganda 30–40 ming yilda yechiladi deb bashorat qilardilar.

Fan va texnikaning tez suratlar bilan rivojlanishi tufayli 12yil ichida inson genomining 99% i ochib bo‘lindi.



**6.10- rasm. Insonning sekvenirlangan genlari sonini yillar bo‘yicha o‘sishi**

Agar bu an’ana davom etaversa, bir necha yildan keyin har bir yangi tug‘ilgan chaqaloqning shaxsiy genetik “pasporti”ni tug‘ruq uyida olish imkonini vujudga kelishi mumkin.

Fanning mana shunday tez sur'atlar bilan rivojlanishiga bиринчи navbatda informatsion texnologiyalarning rivoji sabab bo'ldi. DNK-da nukleotidlar taqsimotini tahlil qilish uchun maxsus dasturlar ishlab chiqilishi "hayot kitobimiz" "so'zlari" ko'pchiligini mana shunday aql bovar qilmaydigan darajada tez ochishga imkon berdi.

## 6.6. Inson genomi haqida ba'zi bir ma'lumotlar

Gen injeneriyasi rivojlanishining amaliy ahamiyatidan tashqari juda katta ilmiy ahamiyati ham bor. Bu soha olimlari yutuqlari tufayli inson organizmida genlarning vazifalarini baholash mumkin bo'ladi.

Genlarning hosil bo'lishi, odam organizmi va terisining faoliyati uchun mas'ul bo'lган genlar miqdori haqida qiziqarli ma'lumotlar olindi. Hammadan ko'п genlar inson miyasi shakllanishiga va uning faoliyati faolligini ta'minlab turishga, eng kam qismi eritrotsitlarni yaratishga sarflanar ekan.

Genlarning eng ko'п qismi miya faolligini ta'minlashga (3195), eng oz qismi – eritrotsitlar ishlab chiqarishga (8) xizmat qilar ekan.

### Inson va boshqa biologik turlarning genetik umumiyligi

Insondan tashqari hozirgi paytda 600 dan ortiq tirik organizmlar genomlari sekvenirlangan. Aniqlanishicha, har xil turlarda genlar miqdori va DNK uzunligi bir-biridan sezilarli farq qilar ekan. Inson xromosomalarida 750Mb axborot saqlansa, Myconlasma genitalium bakteriyasida – 145Mb, ichak tayoqchali bakteriyasi Escherichia coli – 1Mb, laboratoriya sichqonida deyarli – 50Mb. Demak, sichqonda nasliy axborot hajmi odamnikidagidan farq qilmas ekan. Undan tashqari sichqonning 80 % geni odamnikiday, 99% esa juda o'xshash. Tovuq nomi odamnikidan 3 marta kaltaroq (250Mb). Lekin, odam va tovuqda 60% umumiyligi genlar aniqlangan. Fugu turidagi baliqning nomi 91Mb, lekin ularning faqat 12% odamniki bilan bir xil.

Bunday mutanosibliklar sababi inson DNKsi faqatgina genlar dangina iborat emas degan fikrga olib keladi. Gen – ma'lum bir oq-sil molekulyar tuzilishini kodlovchi DNK ning bir bo'lagi. Boshqacha aytganda, bu xuddi faylga o'xshab aminokislotalarning oqsildagi ket-

ma-ketligi yozilgan axborot. Lekin, hamma nukleotidlar turkumlari ham aniq oqsillarni kodlab biror mohiyatni ifodalamaydi. DNKdagi asosiy ko‘pchilik nukleotidlar ketma-ketligi hech narsani kodlamaydigan, hech qanday majburiyati yo‘q intronlardir. Ularni “Jank - DNK” (ing. Jdink – axlat, keraksiz narsa) deb atashadi. Bunday bo‘laklarni keraksiz deb bo‘lmaydi. Ular oqsilni kodlamasa ham, ularni tartibga solib turuvchi maxsus vazifani bajarishadi.

Fugu balig‘ining noodatiy genomini to‘lasi bilan aniq oqsillarni kodlovchi “mazmunli” genlardandir. Bu genlar fugu genomlarida bir-biriga bevosita yaqin joylashgan va oson aniqlanadi va shuning uchun genetik tahlil uchun juda qulay model bo‘la oladi.

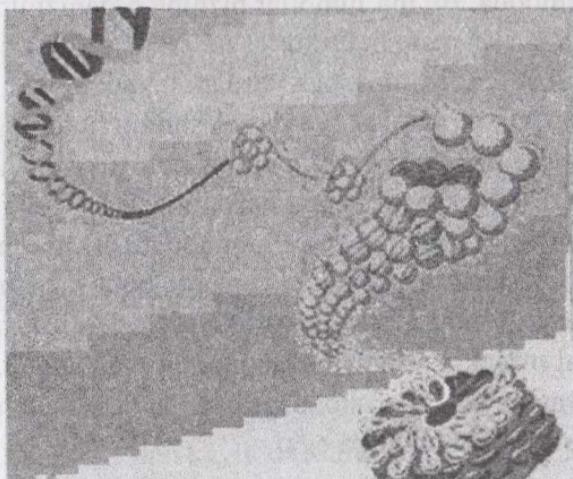
### Protoviruslar

DNKni ochishda aniqlanishicha, inson genomida o‘zining xususiy genetik materialidan tashqari qachonlardir kirib qolgan va o‘sha yerda qolib ketgan ko‘p miqdordagi viruslar genomlari mavjud. Mana shu “molekular qoldiqlar” protoviruslar deb ataladi. Ularning biologik roli haqida biz juda kam ma’lumotga egamiz, qizig‘i shundaki, maymunlarda endogen viruslar juda kam yoki umuman yo‘q. Demak, genomning begona elementlari bo‘yicha odam maymundan, genlarning o‘ziga nisbatan kuchliroq farq qiladi. Bu genom, tadqiqotchi akademik Ye.D.Sverdlovning fikricha maymunlarning odamga aylanishida viruslar muhim rol o‘ynagan. Ayrim olimlarning so‘zlariga qaraganda, bu “uxlab” yotgan viruslar istalgan vaqtida “uyg‘onishi” va o‘limga olib keluvchi epidemiyalar paydo qilishi mumkin. Xususan, OITS hamma vaqt ichimizda yashagan, keyinchalik mutatsiya tufayli avval bo‘lмаган patogen xossalari qabul qilgan degan taxmin bor. Bunga o‘xhash o‘zgarishlar bo‘g‘ma, terlama, gripp va chuma viruslari bilan ham bo‘lgan bo‘lishi mumkin.

### DNKni xromosomalarga taxlash

Genomlarning molekular asosini DNK molekulasi tashkil qiladi. Bu insonda o‘zaro uzun iplar singari bog‘langan 3 mlrd juft nukleotidlardan iborat bitta DNK molekulasi uzunligi 2 metrga yetadi. D NK xromosomalarda bo‘ladi. Insonning har bir hujayrasi 23 juft xromosomaga ega. Agar katta yoshdagi odam tanasi 50 trln ( $5 \times 10^{13}$ ) hujayradan iborat bo‘lsa, hamma D NK molekulalari uzunligi  $10^{11}$  km ga yaqin, ya’ni Yerdan Quyoshgacha bo‘lgan masofadan 1000 marta uzun. Savol tug‘iladi.

Qanday qilib shunday uzun molekulalar hujayrani kichkina yadrosiga joylashadi? Birinchidan, DNK molekulalari ko'ndalang o'lchamlari 2 nm ni tashkil etadi, ikkinchidan, DNKlar taxlanishi hayratlanarli darajada aniq bo'lganligi uchun bunday joylashish mumkin. DNK xromosomalarda gistonlar deb ataluvchi maxsus yadro oqsillari bilan birgalikda o'ta ayyorona joylashtirilgan.



**6.11 - rasm. DNK molekulalarining xromosomalarda taxlanish sxemasi**

DNKga ma'lumotlarni yozish zichligi ham ajablanarli: bu ajoyib molekulaning 8 kub mikron hajmida 750 Mb genetik axborot joylashgan. Ehtimol, kelajakda DNA asosidagi biomolekular xotirada, ya'ni zamонавиъ til bilan aytganda, "fleshka"da 250 mlrd Gb axborotni saqlash mumkin bo'lar. Bunday katta hajimga qancha narsa yozish mumkin? Misol uchun, Yerda yashab o'tgan barcha insonlar genomlari va ularning har biri hayoti haqida 30 soatli videoroliklar bilan birga yozilishi mumkin bo'ladi.

#### **6.7. "Inson genomi" loyihasi natijalarining amaliy ahamiyati**

Bu loyiha natijalari asosida 3 mlrd ga yaqin nukleotidlardan ketma-ketligini bilgan holda olimlar genetik sababga ega bo'lgan ko'plab ka-

salliklarning sabablarini aniqlash imkoniga ega bo'ldilar. Faqatgina 20-xromosomani aniqlash qandli diabet, leykemiya va boshqa kasalliklarni davolashni jadallashtirib yubordi.

Hozir genetik apparatning buzilishi bilan bog'liq bo'lган 3 mingga yaqin kasallik tavsiflangan. O'r ganilgan nasliy kasalliklarning soni yil sayin ortib bormoqda. Bu ma'lumotlar bizning organizmimiz rivojlanshi va hayot kechirishi genetik dasturlarini, rak kasalliklari paydo bo'lishi va qarish sabablarini aniqlashga yordam beradi.

Nasliy kasalliklarni aniqlash va davolashning butunlay yangi usullari paydo bo'ldi. Hozirgi paytda organizmga tuzatilgan genlar nusxalari bo'lган xususiy stvolli hujayralarini kiritish – genoterapiya yordamida ko'plab og'ir kasalliklar – immunodefisit, tug'ma kasalliklar davolanmoqda. Kelajakda nuqsonli genlarni bola tug'ilmasdan oldin to'g'rilash shu yo'l bilan nasliy kasalliklardan qutulish imkoniyatlari vujudga kelishi mumkin. Har xil organizmlar aniqlangan genomlarini xalqaro banki tayyorlandi va jahondagi har qanday vrach bu ma'lumotlardan foydalanish imkoniyatiga ega.

## 6.8. Nanotibbiyat

Biotexnologiyalar bilan tibbiyat sohasida sifat jihatdan yangi yo'naliш molekulyar nanotibbiyat ham yaqindan aloqadorlikda rivojlanmoqda.

Bu sohada: - chiplardagi laboratoriya;

- shikastlangan hujayralarga dorilarni bevosita yetkazish;
- yangi bakteritsid va antivirusli mahsulotlar;
- kasalliklarni kvant nuqtalar yordamida aniqlash;
- shikastlangan hujayralarni nanorobotlar yordamida tuzatish;
- neyroelektron interfeyslar va boshqa shunga o'xshash noyob nar-salar va usullar yaratildi.

Hozirgi paytda shunga o'xshash loyihalari fantast yozuvchilarning tasavvurlarigina emas, balki, zamonaviy tibbiyotning mavjud usullaridir. Nanotibbiyotdagi yangi kashfiyotlar haqida ma'lumotlar tez-tez paydo bo'layotir, bu sohada ishlab chiqarilayotgan loyihalari shunchalik ko'p turli-tumanki, ularni bu bobda to'la tavsiflash imkon yo'q. Lekin, ayrimlari bilan tanishib chiqamiz.

## Chipdagi laboratoriya

Har birimiz tahlil uchun qon topshirganimiz va bu jarayonlar qanchalik ko‘p bosqichli va sermehnat ekanligini bilamiz. Tahlilning tezligi va osonligi hayot va o‘lim masalasi ekanligi ham hammaga ayon. Agar shifokor yoki kasalning o‘zi bevosita qonni olib, bir necha soniyada tahlil natijasini ola olsa, zo‘r ish bo‘lar edi. Hozir shunday laboratoriya kompleksini o‘lchamlari 4x4 sm bo‘lgan chipda joylashtirish mumkin. Bu minilaboratoriya 15–30 soniyada 12 xil namunalarni tahlil qilishi mumkin.

Bunday chiplarda DNK polimeraz zanjir reaksiyasi (PZR) usulida tahlil etiladi. Usulning mohiyati: tahlil etilayotgan DNK namunasi ikki praymer (tahlil etilayotgan DNK bo‘laklariga komplementar bo‘lgan 20 nukleotidli DNK bo‘lagi), 4 nukleotidlar aralashmasi va DNK polimerazi fermenti bor eritmada ketma-ket qizdiriladi va sovutiladi.

Isitilganda DNK ikki ipli kesimga ajraladi, sovutilganda ferment ta’sirida har bir bir ipli zanjir dastlabki ikki ipli bo‘lak nusxasiga qo‘silib qoladi. DNK molekulasi bo‘laklarining soni har bir siklda ikki marta ortadi va 30 sikldan keyin dastlabki namunaning har bir molekulasidan  $2^{30}$  – milliarddan ko‘proq nusxa hosil bo‘ladi.

Pochta markasiga teng bo‘lgan chip biologik xavfni aniqlashi mumkin. Bunday chip o‘rnatilgan qurilma bakteriologik quroq tarkibiga kiruvchi bir necha xil mikroorganizmlarni aniqlab berishi mumkin. Shunday chip asosida tayyorlangan (detektor) aniqlagich, og‘irligi 1 kg, dala sharoitida foydalanishga mo‘ljallangan asbob DNKnii tahlil etadi va uning natijalarini dasturlashtirilgan patogen DNK turlaridan biriga solishtiradi. Tahlil etilayotgan patogen mikroorganizmlardan biri joylashtirilgan hujayra yorug‘lik chiqara boshlaydi. Bu yorug‘likni qabullagich (datchik) qabul qiladi va kerakli turdag signalga aylantiradi. Qurilma 4 namunada 10 ta bakteriya bo‘lgan holda kerakli patogenni 30 soniyada aniqlab bera oladi. (Namuna uzunligi 2 sm, diametri 5 mm li kapsula).

Shunga o‘xshash chipdagi laboratoriyalarni ishlab chiqarish uchun mikrosxemalar ishlab chiqarish texnologiyalaridan foydalilanadi. Ammo, planar mikrosxemadan farqli ravishda, bu chipdagи laboratoriyalar uch o‘lchamli bo‘lmog‘i darkor. Chunki, mikrosxemada tok yassi o‘tkazgichdan o‘ta olsa, laboratoriya suyuqlik – bukilgan shlangdan o‘ta olmaydi. Shuning uchun chipdagи laboratoriyalar ishlab chiqarish-

da planar, MEMS va NEMS texnologiyalarning birgalikdagi usullari qo'llaniladi.

### **Virus va bakteriyalarga qarshi nanotexnologiyalar**

Kitobning boshlang'ich qismlarida kumush nanozarrachalaring bakteritsid xossalari ta'riflangan edi. Hozir ularning tibbiyotda qo'llaniladigan ayrim imkoniyatlarini ko'ramiz:

- shikastlangan joylarni samarali davolovchi nanozarrachalar asosidagi dorilar;
- ko'mir nanozarrali zararsizlantiruvchi filtrlar;
- havo-tomchi usuli bilan tarqaladigan kasalliklar oldini oluvchi bakteritsid bo'yoqlar;
- o'z-o'zini tozalovchi (dezinfeksiya) kiyim va choyshablar;
- zararsizlantiruvchi aerozollar va boshqalar.

Bundan tashqari, kumush nanozarrachalari bakteriyalar bilan kurashtishda yagona nanomaterial bo'lmay, uglerod nanotrubkalari ham uy-ro'zg'or buyumlari sifatida tayyorlanib, har xil mikroorganizmlarni yo'qotishda qo'llanilmoqda.

### **Dorilarni shikastlangan hujayralarga bevosita yetkazish**

Dori-darmonlar ta'siri samarali bo'lishi uchun ularning molekulalari zarur hujayralarga to'g'ridan-to'g'ri yetkazilishi juda muhim modda molekulalarining kasalning zarur joyiga yetib borish qobiliyatini biologik o'zlashtiruvchanlik deyiladi.

Biologik o'zlashtiruvchanlik – zamonaviy farmatsevtikaning tamal toshidir. Dori-darmonning 65% dan ko'prog'i yomon o'zlashtiruvchanlik tufayli bekor ketadi. Patogen fizik va kimyoviy omillar ta'sirida organizmning xohlagan hujayrasi saraton "o'chog'i"ga aylanib qolishi mumkin. Ular to'planib qolgan joylarda saraton shishlari paydo bo'ladi va o'z vaqtida yo'qotilmasa qon bilan tarqalib, butun organizm bo'ylab kasallik tarqatilishiga sabab bo'ladi. Bunday hujayraning yomonligi shundaki, uning atrofidagi boshqa hujayralardan farqi yo'q va unga tashqaridan kerakli virus va har xil bakteriyalar kiritish juda qiyin. Bunday shishlar paydo bo'lishi haqidagi bilimlar yetishmasligi ham ular bilan kurashishni qiyinlashtiradi. Shuning uchun vrachlar shikastlangan hujayralarni davolamaydilar, faqat o'ldiradilar. Buning uchun u joyni

kesib olinadi, nur yoki kimyoviy usulda o'ldiriladi. Davolashning asosiy muammosi bu dori-darmonlar kiritilganda ham shikastlangan ham sog'lom hujayralarga bir xil ta'sir etadi va qo'shimcha effektlar yuzaga keladi. Shuning uchun dori-darmonni aniq mo'ljallangan joyga yetka-zish katta muammo bo'lib turibdi.

Molekular transport vositasini qidiruv ishlari natijasida 4 modulli mikrotizim yaratildi: birinchi - ligand – kasal hujayrani aniqlovchi modul; ikkinchi - endosomolitik – hujayra ichiga tortib kiritilgan transportyor atrofidagi “pufakni” yoruvchi; uchinchisi - transporterni yadroviy membrana bo'shliqlari ichidan o'tishiga yordam beruvchi; to'rtinchisi dorini olib boruvchi, asosiy vazifa – yadroni yo'q qiladigan modul. Gen injeneriyasi usullari asosida mana shunday ishlangan molekular-transport mikroqurilmasi yaratildi. Molekular - transport jarayonlari qat'iy dastur asosida boshqariladi. Dasturni har xil hujayralarning turli joylarini davolash uchun modul dasturlarini o'zgartirish imkonlari mavjud.

Bunday gen injeneriya usulidan tashqari, har xil nanosistemalarni saraton hujayralarini aniqlash va yo'q qilishning boshqa usullari ham ishlab chiqilmoqda. Teri hujayrachalariga ayrim moddalar eritmassi kiritilsa, modda nanozarrachalari ko'payib, o'sib teri tizimlari hujayralarda agregat holatda yig'iladi. Ular hujayralar faoliyatiga ta'sir etmagan holda ularning tashqi akustik to'lqinlarga sezgirligini oshiradi. Akustik to'lqinlar bilan ta'sir etilganda ular 43 °C gacha isiydi. Nanozarrachalar yo'q hujayralar temperaturasi o'zgarmaydi, organizmaga sog'lom hujayralarga e'tibor bermasdan faqat kasal hujayralarga o'tiruvchi nanozarrachalar yuborilganda ularga elektr maydon ta'sir ettirilsa, saraton shishi 80% ga kichraygan.

### **Kvant nuqtalardan lyuminitsent markerlar sifatida foydalanimish**

Shifokorlar va biologlarni organizmda har xil moddalar (dori-darmonlar)ning qanday ko'chib yurishi qattiq qiziqtiradi. Bu harakatni kuzatish ularga organizmda yangi dorilar qanday taqsimlanishi va singishini, ya'ni ularning biologik o'zlashtiruvchanliklarini aniqlashga yordam beradi.

Yaqin davrlargacha bunday tadqiqotlar uchun o'rganilayotgan mod-daga qo'shib qo'yiladigan markerlar deb ataluvchi har xil bo'yovchi moddalar ishlatalar edi. Rangsiz hujayralar fonida bo'yalgan hujayralar optik mikroskopda yaxshi ko'rinishi, ularning joylashishi haqida nis-batan aniq xulosalar qilish imkonini beradi. Lekin, organik bo'yoqlar zararli bo'lishi mumkin yoki ularni aniqlash uchun o'ziga mos chas-totali yorug'lik bilan nurlantirish zarur, chunki, har xil bo'yoqlar har xil chastotali nurlarni akslantiradi, binobarin, muayyan tadqiqot uchun o'shancha yorug'lik manbalari kerak bo'ladi.

Bu muammoni yechish uchun nanotexnologiyalarga, aniqrog'i, biz avvalroq ko'rib o'tgan kvant nuqtalariga murojaat qilamiz. Eslatib o'tamiz, kvant nuqtalar – bu nanometrli o'lchamga ega yarimo'tkaz-gichli kristallar bo'lib, ular makroo'lchamli moddalardan o'zlarining noyob kimyoviy va fizik xossalari bilan farq qiladi. Olimlar tomonidan har xil rang chiqaruvchi noyob fluoressent kvant nuqtalari olindi. Bu nuqtalar an'anaviy bo'yoqlarga nisbatan kuchliroq yaltiroqli nur chiqaradi hamda kvant nuqtalar o'zlarini ferment va boshqa biologik molekulalar hujumidan saqlaydigan, ikkinchi tomonidan zaharli mod-dalarni organizmga kirib olishiga to'siqlik qiladigan maxsus bioinert qoplasmaga ega. Yana bunday nano belgilar har xil guruhlarini bitta umumiyl manbadan yoritilish mumkinligi bilan ham qulay.

Kvant nuqtalari diagnostika maqsadlarida keng qo'llaniladi. Ular ni antijism, oqsil, peptid yoki DNK turidagi biomolekulalarga ulab qo'yish mumkin. Bunday majmualarni shunday loyihalash mumkinki, ular boshqa molekulalarni aniqlab berishlari mumkin bo'ladi.

Bir tajribada CdSe kvant nuqtalari saraton shishining hujayralari ning sirti bilan ta'sirlashadigan maxsus antijism bilan ulangan. Kvant nuqtalar sichqonlar organizmiga tarqaladigan qilib, uni qon tomirlariga kiritilgan. Nanokristallar shishga kelib o'tirib, to'planib (boshqa joylar ga o'tirmaydi) shish yaxshi ko'rinaligan bo'lib ajralib qoladi.

Kvant nuqtalar qo'llanishi tibbiyotda diagnostika imkoniyatlarini kengaytirishi mumkin. Yuzlab har xil kvant nuqtalar yasab, ularni organizmdagi har xil biomolekulalar va antigenlar bilan bog'lab, shu usulda kasallik belgilari mujassamlashgan qismlarini topish mumkin.

Kelajakda kvant nuqtalar nafaqat shishlarni topish, balki o'sha joy-larga dori-darmonlarni aniq yetkazib berish vazifalarini ham uddalashi mumkin.

## **6.9. Nanotizimlar va biotexnologiyalar: tabiatga monand**

Oxirgi paytlarda bu ikki texnologiyalar tutashgan joyida biomimetika (bio-hayot, mimetika-o'xshash) nomli yangi yo'nalish paydo bo'ldi.

Tirik organizmlar mana 4.5 mlrd yildirki nanotexnologik jaryonlarni bajarib keladi. Tirik hujayra DNK, RNK va ko'p miqdordagi oqsillardan nanometr o'lchamli hujayralar hosil qilish uchun foydalanib keladi. Nima uchun nanotexnologlar o'zlarining nanomashinalarini yasash uchun tabiatdagi misollardan foydalanmaydi?

Bugungi kunda biomimetik texnologiyalar tug'ilish arafasida turgandek, lekin ularning rivojlanishi nanomashinalar yaratilishni keskin tezlatishi mumkin.

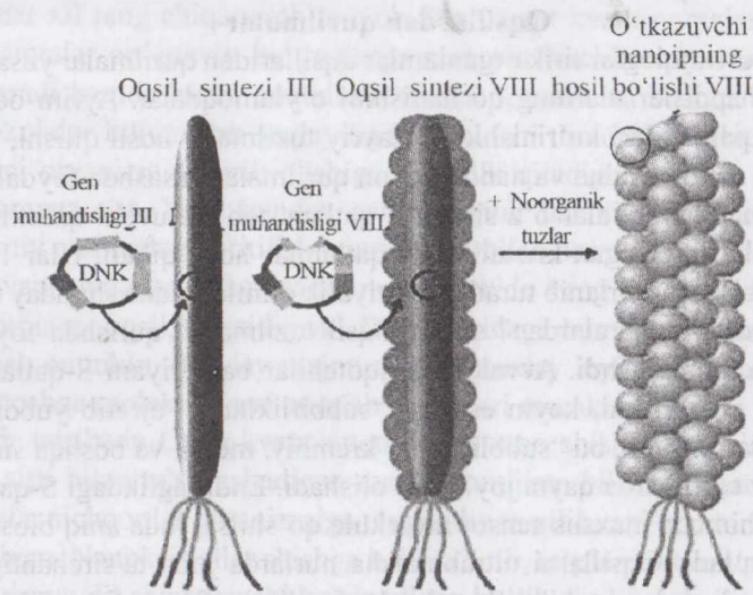
### **Oqsillardan qurilmalar**

Nanotexnologlar tirik organizmlar oqsillaridan qurilmalar yasamoqda, muhandislar ularning qo'llanishini o'yalamoqdalar. Ayrim oqsillar kristall panjaralari ko'rinishidagi davriy tuzilmalar hosil qilishi, keyin ulardan nanomashina va nanoelektron qurilmalar yasashda foydalanish mumkin. Bakteriyalar o'z sirtida S-qatlam deb ataluvchi qalinligi bir molekulacha bo'lgan kristall oqsil qatlamlar hosil qiladi. Ular 10 nm qadam bilan takrorlanib turadi. Avstriyalik olimlar mana shunday tabiiy "kvant o'ta panjaralardan" sun'iy oqsil tuzilmalari qurishda foydalanishga qaror qilishdi. Avvalo, tadqiqotchilar bakteriyani S-qatlamdan haydab chiqarishni, keyin esa uni "subbirliklarga" ajratib yuborishni o'yladilar. Ammo, bu "subbirliklar" kremlniy, metall va boshqa sintetik polimer tagliklarda qayta joylashib olishadi. Endi taglikdagi S-qatlanga qo'shimcha maxsus sensor molekula qo'shilsa, juda aniq biosensor hosil bo'ladi. Oqsillarni ultrabinafsha nurlarda juda ta'sirchanligidan foydalanib, tadqiqotchilar S-qatlamlardan litografiyada fotorezistor siyatida foydalanmoqda.

Boshqa olimlar oqsil va noorganik birikmalardan tabiatda mutloq mavjud bo'limgan tuzilmalar yasashga qaror qildilar. Ammo, oqsil molekulalarining kvant tenglamalari juda murakkabligi tufayli zamonaviy superkompyuterlar ham aminokislotalarni belgilangan ketma-ketlikdagi mana shu oqsillarini uch o'lchamli tuzilmalarga to'planishini hisoblay olmaydi (folding muammosi yoki oqsillar uyurmasi

muammosi). Ular boshqa yo'ldan bordilar – viruslarni har xil oqsillarni aminokislolar tasodifiy ketma - ketliklaridan sintez qilishga majbur qildilar. Keyin olimlar uskunalarini oddiygina yuvib tashladilar va idishlarda faqat tagliklardi yopishib qolgan oqsillar qoldi. Endi faqat oltin, kumush, ruh oksidi, galiy arsenidi va boshqalarni yopishtiruvchi oqsillar viruslari “kutubxonasini” yaratish qolgan edi. Mana shunday noorganik moddalar bilan birikkan oqsillar asosida vakuum texnologiyalar yordamida bir qator kvant nuqtalar yasash mumkin. Gibridd oqsillar yordamida kvant nuqtalarni yig'ish uy temperaturalarida sodir bo'ladi va ancha arzonga tushadi. Bunday oqsillar nanomashinalarni yaratishda ham qo'llanilishi mumkin.

Mikrotexnologiyalar instituti (MTI) tadqiqotchilari bakteriofaglar metallarni uzun iplarga to'planishini aniqladilar (6.12-rasm).



6.12 - rasm. Turli oqsillarni kodlovchi DNK bo'laklari shu oqsillarni o'z sirtida sintezlovchi bakteriofag DNKsi ichiga kiritiladi. Virus metall bilan qoplangan uzun iplar hosil qilib ko'payadi. Bu metall iplar nanoelektronika va nanosistemalarda ishlatalishi mumkin.

Bu holatda sirtqi oqsillar ruh sulfidi yoki kadmiy sulfidi bilan birikib, uzun (600 nm), diametri 20 nm elektrik o'tkazuvchan nanoiplar hosil

qilishi mumkin. Olingen tuzilmalarni 350 °C gacha qizdirilganda bakteriofaglar kuyib juda ingichka metall ip qoladi. Uni nanoelektronikada qo'llash mumkin. Bu tajribalarda ishlatilgan viruslar atigi 6 oqsildan iborat bo'lib, ularning ikkitasi noorganika bilan bog'langan. Hozir olimlar uch o'lchamli o'tkazuvchan tuzilmalar olish uchun murakkab oqsilli viruslar ustida tajribalar o'tkazmoqdalar.

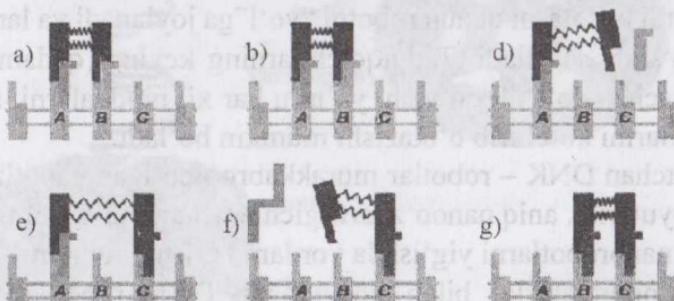
### DNK molekulalaridan yasalgan “qo'l bola moddalar”

Nanotuzilmalar yasashda qurilish materiali sifatida faqat oqsillar emas, balki DNK molekulalari ham xizmat qilishi mumkin. Nyu-York instituti kimyo professori Nedrian Simen DNK molekulasidek ikki va uch o'lchamli tuzilmalar hosil qilishga erishdi. DNK molekulasi qattiq tuzilmalar hosil qilishga juda ham “yumshoq” nuqta, lekin ikki molekula ulansa, hosil bo'lgan tuzilma ancha “mustahkam”, barqaror tuzilmalar yaratish uchun yaroqli bo'ladi.

Bunga yorqin misol qilib olimlar tomonidan DNK molekulalaridan yaratilgan “qadamlovchi” nanorobotni keltirish mumkin. Robot DNK bo'laklaridan iborat “oyoqlarini” navbati bilan asosiy DNK molekulasiiga biriktiradi va ajratadi. Shu usulda oldinga yuradi.

Nima uchun olimlar aynan DNK molekulalaridan foydalanadilar? Bunga ikki sabab bor: DNK zanjirlari bir-birlari bilan osonlik bilan birikib, komplementar juftlar hosil qiladi. Ikkinchisi - tadqiqotchilar kelajakda tirik hujayralar replikativ injeneriyasidan foydalanib yana ham murakkabroq robotlar yaratishga umid qiladilar.

Nanorobot ikki “oyoq” dan, uzunligi 36 nukleotiddan iborat DNK molekulalaridan tashkil topgan. “Oyoq” yuqorisida yana bitta ikkala “oyoq”ni birlashtiruvchi DNKnинг elastik qismi joylashgan.



6.13 - rasm. “Qadamlovchi” nanorobotning ishlash qonunyati

Hozir olimlar RNK molekulalaridan “halqa”, “uchburchak” va “sterjen”lar yig’ishmoqda. Bunday qurilmalarni mavjud nanotranzistorlar, nanoo’tkazgichlar, nanonaychalar, biosensorlar va boshqa nanoqurilmalar bilan birgalikda ishlatib, murakkab NEMS tizimlari hosil qilish mumkin. RNK molekulalari inson organizmi bilan yuqori moslashuvchanlik xossasiga ega bo’lgani uchun ulardan tibbiyot uchun nanorobotlar yasashda ham foydalanish mumkindir.

### Bakteriofaglarni o’rgatish

Avvalroq virus qanday qilib tana hujayralariga kirishi ko’rilgan edi. Elektron mikroskop yordamida bu jarayon tasvirlari olindi, u asosda virusning hujayraga kirishi mexanizmini tushintiruvchi videofilm yaratildi. Film bosh qahramoni T4 virusi – virusli DNK, o’zak, o’zak asosi va “no” o’zak o’simtalar(6 uzun va 6 qisqa)dan iborat ikosaedral boshchadan tashkil topgan. Avval uzun o’simtalar *E coli* hujayralaridan iborat jabrlanuvchilarni topadi, keyin kalta o’simtalar unga mustahkam yopishtiriladi. Bu holda asos o’zakka impuls beradi, u mushakdek qisqaradi va o’zidan virusli DNKnini ega - hujayra *E coli* ga siqib chiqarib, shu usulda infeksiyalanadi, hujayraning biokimyo mashinasi yangi fag zarrachalarini hosil qiladi va oqibatda hujayra nobud bo’ladi.

“Boshlanishi uchun bizni tadiqiqotlarimiz o’zak yaqinida asosga kirayotgan oqsillar tuzilishini va virusli DNK hujayra membranasi orqali o’tishida ularning rolini ko’rsatadi – deydi, Rossman. - Biz virusning ega-hujayraga samarali kirib joylashishi murakkab biokimyoviy mashina ekanligini ko’rsatdik”. Shu bilimlar asosida, yuqori samarali dori-darmonlar olishni bashorat qilish mumkin. Viruslarda o’z DNKsini hujayra ichkarisiga olib kiruvchi talant bor. Shuning uchun viruslarning ayrim turlaridan sog’lom DNKlarni saraton hujayralari ichkarisiga yetkazishda foydalanishimiz mumkin. Olimlar viruslarni mana shu xossalari asosida ayrim alohida hujayralarni davolovchi gen terapiyasi qurilmalarini yaratishni o’ylamoqdalar.

## 6.10. Nanotexnologiyalar va abadiy hayot

O’lmaslik eleksirini kashf etishni insoniyat doimo orzu qilgan. O’rta asrlarda bu g’oya alkimyogarlar mulki edi. Hozirgi paytda u **transumanizm** yoki **immortalizm** degan yangi falsafiy oqim asosini tashkil

etadi. Bugungi kunda ommaviyoq bo'lgan transgumanistik dunyoqarash insoniyatning hozirgi ko'rinishi evolutsiyaning yakunlovchi emas, balki boshlang'ich bosqichi deb ta'kidlaydi.

Transgumanistlar fan va texnika taraqqiyoti bilan odamlar o'zlarining intellektual va jismoniy imkoniyatlarini keskin orttirib, qarilik va kasallikdan o'lishni to'xtatib, dunyoni baxtsizlik tashvishlardan qutultiradigan kunlar uzoq emas deb ishonadilar.

"Tabiat insonni ong bilan ta'minlab, lekin o'lmaslikdan mahrum qilib juda achchiq hazil qilgan – deb hisoblashadi immortalistlar. – Agar Xudo mavjud bo'lsa, u abadiy. Hayvonlar o'luvchi bo'lsalar ham bundan tashvish qilmaydilar. Ularning boshida o'z-o'limi haqida tasavvurlar yo'q. Faqatgina inson biladi – qachonlardir albatta o'ladi".

Hayvonlarda o'tmish va kelajak haqida odamlar o'ylagandek ma'no yo'q. Ular uchun faqat hozirgi davrgina mavjud.

Inson bir vaqtning o'zida o'tmishda (xotira), kelajakda (orzular) va hozirda yashashga qodir. Insonni ong ostidagi qandaydir boshqaruv tizimi doimo "o'limni o'yla" deb eslatib turadi. Mana shu fikr odamni doimo qo'rquvda ushlab turadi. Odamlar "narigi dunyo"da hayot borligiga ishonadi, chunki ishoniishni xohlaydi, o'lmas bo'lishlik mumkin bo'lmasa, hech bo'limganda uning o'rnini bosadigan o'rinosar topish mumkin bo'lishi kerak. Shuning uchun qanday bir g'ayri oddiy shaklda bo'lmasin, hech bo'limganda o'limga moyil ko'plab shaxslardan tulilgan o'lmas jamiyat mavjud bo'lgan davrda din Yerdan yo'q bo'lib ketmaydi.

Fikrimizcha, transgumanistlarning fikrlashi tashqaridan diniy qarashlardan farq qilsa ham, ular ko'plab umumiy tomonlarga ega. Transgumanistlar Xudoga ishongchni texnika taraqqiyoti bilan almashtirib qo'ydilar, o'zlariga Payg'ambar sifatida nomdor olimlarni tanladilar. Agar din o'ziga ishonganlarga jannat va'da qilsa, immortalistlar bu muammoga boshqacha "texnik" yondashib, insonga shaxsiy o'lmaslikni taklif etadi.

Hayotning genetik kodini ochib, olimlar biologik evolutsiya jarayonlariga, maqsadga muvofiq yo'nalishda va faol ta'sir etish imkoniyatiga yaqin keldilar.

Zamonaviy transgumanizm o'lmaslikka erishishning ko'plab usullarini biladi. Ayrimlari nanotexnologiyalar nuqtayi nazaridan ancha qiziqarli, shuning uchun ular bilan yaqinroq tanishamiz, ammo aytish

kerakki, ulardan bittasi ham to‘la qo‘llanishga ega emas, lekin bilamizki, samolyotlar ham bir vaqlar hayolparast odamlar o‘ylab topgan la-tifa edi.

### **Birinchi loyiha - Fraytas bo‘yicha nanotibbiyot**

Ko‘plab buyuk kashfiyotlar ko‘pincha hech kim kutmagan joylarda tasodifan vujudga keladi. Olmaning daraxtdan uzilib tushishi Nyutoni butun olam tortishish qonuni ochilishiga turki bo‘ladi. Mendeleyev tushiga kirgan jadval unga kimyo faniga qaytarilmas hissa qo‘shish imkonini berdi. Shuningdek, institut sayti forumidagi kutilmagan oddiy laqillashish R.Fraytasga (nanotexnologiyalarni tibbiyotda qo‘llanishi haqidagi birinchi kitob muallifiga) tibbiyotda qo‘llaniladigan maxsus nanorobotlar yasash fikrini berdi.

1996-yil Kris Feniks (konvergent nanofabrika g‘oyasi muallifi) forumda “Inson qoni 500 trln. robotlar bilan almashtirilsa, nima bo‘ladi?” degan xabar qoldirdi. Bu “aqlga sig‘mas” masala R.Fraytas bilan uzoq davrli hamkorlikka olib keldi va natijada “Roboblood” (Robototexnik qon) nomli 100 betli asar 2002-yilda nashr qilindi.

“Roboblood” – hijjalab hisoblab chiqilgan tibbiyot nanorobotlarining majmuasi loyihasi bo‘lib, ular inson tanida yashash va faoliyat ko‘rsatish imkoniyatiga ega bo‘lgan, qonning har xil vazifalarini, jumladan, nafas gazlari sirkulyatsiyasi, glyukozalar, gormonlar, chiqindilar hujayralar tarkiblovchilari, sitoplazmaning bo‘linishi kabi vazifalarni bajaradi.

Inson faoliyati turiga qarab, 500 trln. mikroskopik nanorobotlar tarkibiga kirgan, og‘irligi 2 kg bo‘lgan “Roboqon” 30–200 Watt energiya talab qiladi. Tizim qon tashuvchi tomirlar tuzilishiga to‘la mos kela-di va tabiiy qon tomirlarni to‘la almashtirishi mumkin. Boshqacha aytganda, nanorobotlar qon o‘tkazish tizimi hosil qiladi va unda faoliyat ko‘rsatadi. Ular almazoiddan yoki shunga o‘xshash biomas keluvchi moddadan olinadi va energiyani glyukozadan va kislordan olishadi. Mana shu robotlashgan qon oddiy odamga qanday afzallik beradi? Imkoniyatlari ko‘p ekan: bu kasal tarqatuvchi mikroblar bilan kurashish, tomirlarni doimiy “tozalash” va mustahkamlash, venaning varikoz kengayishi va boshqalar. Shikastlangan hujayralarni avtomatik usulda davolash, hattoki kasal genlarni yangisi bilan almashtirish kabilar.

Qonimiz hujayralar va to‘qimalar hayotiy faoliyatini ta’minlovchi ajoyib tuzilma bo‘lib, qat’iy belgilangan vazifalarni bajaradigan ko‘p turli hujayralardan iborat.

R.Fraytas har xil maqsadlarga mo‘ljallangan tibbiyot nanorobotlarining bir necha turini yaratdi. Ulardan eritrotsitlar (kislorodlarni hujayralarga yetkazib beruvchi qizil qon tanachalari)ning sun’iy egizaklari – respirotsitlar alohida e’tiborga loyiq. Respirotsitlar imkoniyatlari tabiiy eritrotsitlarnikidan bir necha marta ortiqroq. Ular ancha kichik miqdorda energiya iste’mol qilgan holda bir necha marta ko‘proq kislorod to‘play oladi. Respirotsitlar yordamida odam sog‘lig‘iga mutlaqo zarar yetkazmagan holda bir necha soat havosiz (masalan suv ostida) yashash mumkin. Kislorodni ko‘proq tashish bilan birga respirotsitlar qayta dasturlash, uzoq yashash va yuqori tezlikda faoliyat ko‘rsatish imkoniyatlariga ham ega.

Har birimizga tiralib qolish, kesilgan joylar, yaralar va hatto pachoqlangan burun kabi nohushliklar tanish. Bunday shikastlar, odatta, ko‘p qon oqishi bilan kechadi, lekin tabiat donoligi tufayli, badanimizda maxsus hujayralar – trombotsitlar mavjud bo‘lgani uchun, qon ivib qolib, o‘limga olib boradigan darajada qon yo‘qotishdan saqlaydi. Tasodifan panjamizni kesib olsak, yoki tizzani shilib olgan bo‘lsak, trombotsitlar darhol shikastlangan joyga yordamga keladi. Ular shikastlangan joyni to‘ldirib, qon oqishini to‘xtatadi. Fraytas taklif etgan trombotsitlarning sun’iy o‘xhashi - klottotsitlar – qon oqishini to‘xtatishni 1 sekundda bajarsa, buning uchun oddiy trombogenezga 5–17 minut talab qilinadi. Bundan tashqari, sun’iy trombotsitlar zichligi tabiylarnikidan 100 marta kichik bo‘lishi mumkin, ya’ni Fraytas klottotsitlari o‘zlarining tabiiy o‘xshashidan 10 ming marta samaraliroqdir.

Maktab o‘quvchisi ham biladiki, tanadagi jarohat faqatgina qon yo‘qotish bilangina emas, balki zaharlanish bilan ham havfli. Lekin qonga har xil shikastlanishlar, jarrohlik amaliyotlari paytida, tish yuvish va hokazolarda oz bo‘lsa-da zararli kasallik mikrobi kirib qoladi. Bunday begona bakteriyalar odamda qonning maxsus hujayralari – leykotsitlar (oqqon tanachalari) tomonidan zararsizlantiriladi. Lekin, bakteriyalarning ma’lum bir miqdori bunday tabiiy himoyani yengib o‘tadi va insonni kasal qiladi. Shuning uchun qonni tez tozalay oladigan ozroq miqdordagi nanorobotlar majmuasi inson immun tizimi yordamchisi bo‘lar edi. Mana shunday nanorobotlarni Fraytas *mikrofagotsitlar* yoki sun’iy immun hujayralari deb atadi.

Mikrofagotsit qanday ishlaydi? Qurilma bajarayotgan jarayonlarning har bir davrida zararli bakteriya nanorobot sirtiga maxsus yopishti-

ruvchi uyalar yordamida huddi pashsha yopishqoq tasmaga yopishgan-dek yopishib qoladi. Keyin teleskopik nanomanipulyator – tutqichlar maxsus uyalardan mikrofagotsitlar sirtiga chiqadi va bakteriyalarni robot ichida bo‘lgan “o‘ldiruvchi” hajmga olib keladi. Mexanik ravishda maydalangandan keyin bakterianing organik qoldiqlari maxsus porshen bilan “digestal” (ing. Digest – yanchish, maydalash) hajmga siqib chiqariladi va u yerda ular fermentlar majmuasi yordamida yana maydalaniadi. Hosil bo‘lgan qoldiqlar oddiy aminokislotalar, mononukleotidlar, glitserin, suv, yog‘li kislotalar kabi organizmga mutloq zararsiz moddalar bo‘lib, ular qon aylanish tizimiga chiqarib yuboriladi. Jaron 30 sekund davom etadi.

Muallif tomonidan “maydala va chiqarib tashla” deb atalgan bunday algoritm amalda tabiiy fagotsitlar foydalanadigan hazmlash va fagotsitoz jarayonlariga o‘xhash. Lekin, sun’iy fagotsitoz jarayoni tezroq va tozaroq bo‘ladi, sun’iy mikrofagotsitlar mahsulotida inson uchun zararli bo‘lgan moddalar yo‘q. Bundan farqli ravishda tabiiy makrofaga zararli mikroblarni qayta ishlashda hosil bo‘ladigan biologik faol moddalar qonga chiqarib yuboriladi. Sun’iy fagotsitlar hajmi tabiiyga nisbatan 100–1000 marta kamroq bo‘ladi.

Nanorobotlar, huddi inson tanasidagi trillionlab hujayralar o‘zaro “aloqa” qilgani kabi, tashqi membranalaridagi murakkab molekulalari yordamida bog‘langan bo‘ladi. Bu molekulalar boshqa hujayralarga murojaat qilish uchun kimyoviy “ko‘rsatkich bayroqchalari” kabi yoki hujayraga qon oqimidan kiradigan ayrim molekulalarni (gormonlar) boshqaruvchi kimyoviy “darvoza” kabi xizmat qiladi.

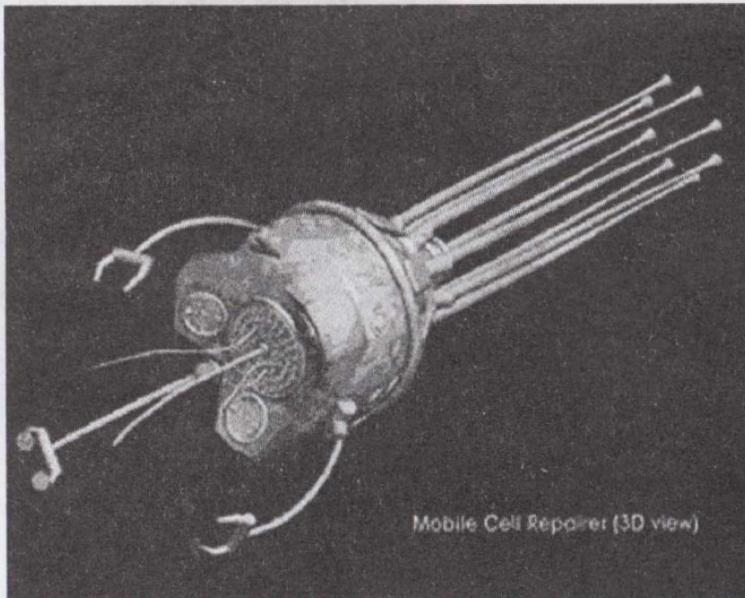
Tibbiy nanorobotlar qanday tuzilgan? Bunga javob berish uchun avvalo ular qanday vazifalarni bajarishi va buning uchun qanday tizimlar zarurligini aniqlab olish kerak.

- Birinchidan, nanorobot inson qon oqish tizimida ko‘chib yuruvchi bo‘lishi, ya’ni baquvvat harakatlanish tizimiga ega bo‘lishi kerak;
- Ikkinchidan, qurilma atrof-muhit suzish kommunikatsiyalar monitoringini olib borishi uchun bir necha xil turdag'i sezgich (sensor)larga ega bo‘lishi kerak;
- Uchinchidan, nanorobotga moddalarni nanomanipulyatorga olib borish va qaytarib kelish uchun transport tizimi zarur;
- To‘rtinchidan, nanorobot shikastlangan tizimlar bilan ishslash

uchun har xil teleskopik nanomanipulatorlar bilan ta'minlangan bo'lishi kerak;

- Beshinchidan, nanorobotlar bir-biri bilan aloqa qilib turishi uchun uzatuvchi, qabul qiluvchi qurilmalarga ega bo'lishi kerak;
- Oltinchidan, generator va energiya manbalarisiz ish bitmaydi;
- Yetinchidan, yirik buyumlarni ushlab turish uchun teleskopik tutqichlar zarur.

Mana shunday vazifalarni bajarish uchun Yuriy Svidinenko tibbiyot nanorobotining ommaviy foydalanish uchun o'z modelini taklif qildi. Ideal holda bunday qurilma shikastlangan hujayralarni "ta'mirlash", saraton kasalliklari diagnostikasi va davolash, qon tomirlari xaritalarini olish, DNKnii tahlil qilish va muvofiqlashtirish, bakteriya va viruslarni yo'qotish va boshqalar kabi vazifalarni bajarishga qo.



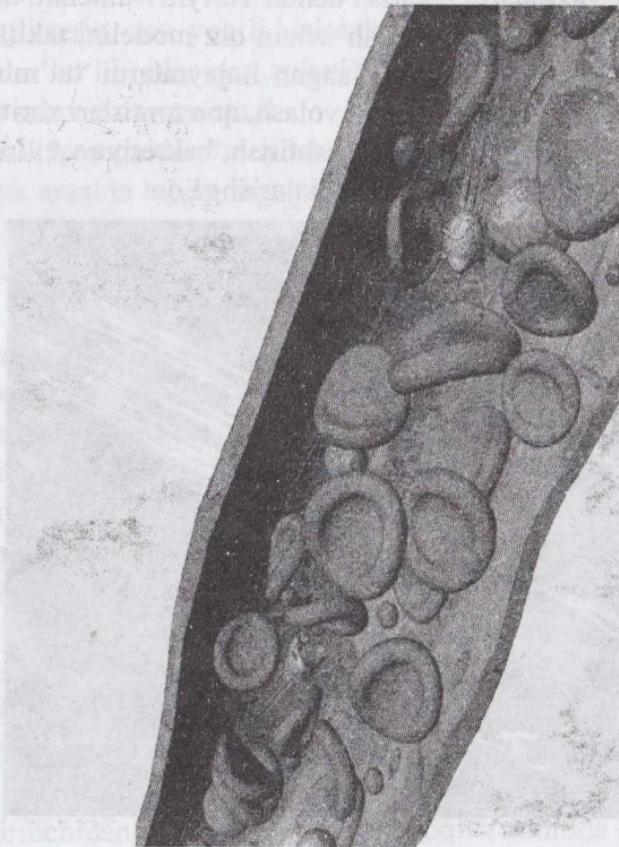
6.15 - rasm. Tibbiy nanorobot loyixasi.

6.15-rasmlarda almozoiddan tayyorlangan nanorobotning taxminlangan tasviri keltirilgan.

Inson tanasi bo'ylab so'nmasdan tarqala oladigan elektromagnitik to'lqinlar uzunligi nanorobot o'lchamlariga yaqin bo'ladi. Shuning uchun uning antennalari uning korpusidan tashqariga chiqib turuvchi

dipollar ko'inishida bo'ladi. Nanomanipulyatorlar, mexanik tutqichlar va bog'lagichlar zarur paytda korpus ichiga kirib ketib, qon tomirlarida nanorobot harakatiga xalaqit bermaydigan teleskopik bo'lishi kerak.

Tabiiy immun tizim robotga "hujum" qilmasligi uchun u bioinert modda, masalan, almazoiddan qilinishi kerak. Tajribalar ko'rsatishicha, silliq almazoid tuzilmalari leykotsitlar faoliyatiga kam ta'sir etadi va fibrinogenlarni kamroq adsorbsiyalaydi.



6.16 - rasm. Qon tomirida harakatlayotgan tibbiy nanorobot.

Taklif etilayotgan nanorobotda sekundiga  $10^6$  –  $10^9$  amalni bajara oladigan nanokompyuterdan foydalanish mumkin. Bu inson miyasi ning hisoblash quvvatidan (sekundiga  $10^{13}$ ) 4–7-tartibga kam, ya'ni u boshqarish mumkin bo'lgan sun'iy intellektga ega emas.

Nanorobotning ayrim tuzilmalari tuzilishlarini ko'rib chiqaylik.

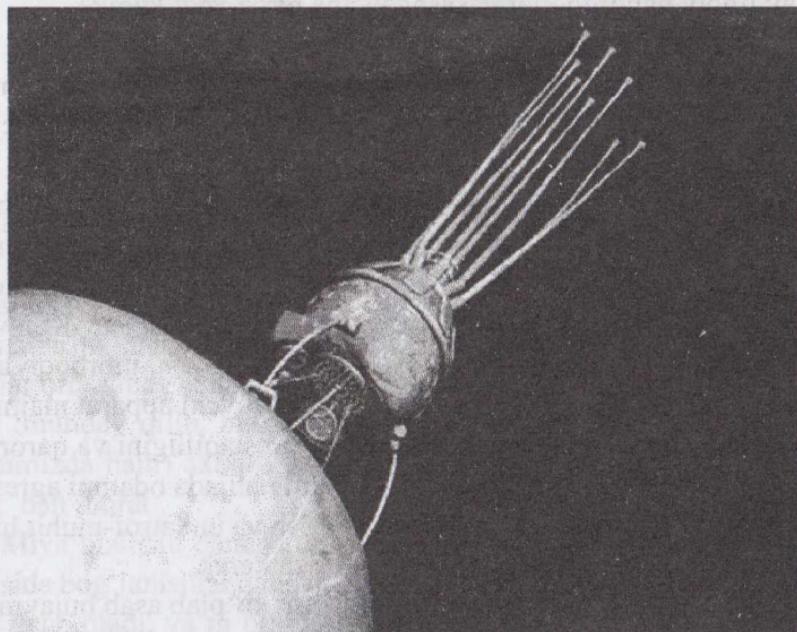
Nanorobotlarning o'zaro aloqa va yo'nalishini shakllantirish uchun kommunotsit turdag'i kuchaytirish stansiyasi sifatida ishlaydigan nanorobotlardan foydalanish qulay.

Tibbiy nanorobotlar davolashni qanday amalga oshiradi?

Tabletka ko'rinishidagi nanorobotlarni ichilsa yoki oddiy shprits yordamida inyeksiya qilinsa, nanorobotlar qonga tushib, o'ziga xos to'rga tarqaladi va shikastlangan hujayralarga yo'naladi.

Agar shikastlangan joy juda katta bo'lsa, nanorobot hujayra ichiga kiradi (masalan, teleskopik manipulyator yordamida) va o'zining "zaxirasidan" hujayralar apoptozi mexanizmini ishga tushiruvchi fermentlarni chiqaradi. Agar shikastlangan joy juda katta bo'lmasa – nanorobotlar DNKnii tiklovchi va hujayralarni o'z ish faoliyatiga qaytaruvchi boshqa fermentlarni inyeksiya qiladi.

Bunday davolovchi fermentlar mavjud, faqat ularni zarur joyga aniq yetkazishni o'rganib olinsa bas(6.17-rasm).



6.17 - rasm. In vivo hujayrasini davolayotgan nanorobot.

O‘z ishini bajarib bo‘lgan nanorobot odamdagи biologik yo‘l bilan tanadan chiqib ketadi yoki bir qismi organizmda doimiy “navbatchilikda” qolishi mumkin.

Tibbiy nanorobotlarning bosh vazifalaridan biri – insonning o‘lmasligini ta’minlashga erishish. Inson tanasidagi hujayralarning keksayishi va o‘lishi tufayli inson qariydi o‘ladi. Hujayralarni qayta tuzish va yoshartirish orqali insonning umrboqiyligini (umidsiz kasaliliklar haqida gapirmasa ham bo‘ladi) ta’minlash mumkin.

Nanorobotlarning nazoratdan chiqib ketishi, to‘xtovsiz o‘z-o‘zini replikatsiya qilishi muammolariga kelsak, robotlar organizmdan tash-qarida yasalib, ularni tanaga kiritish va chiqarib yuborish zarurat tufayli amalga oshiriladigan bo‘lgani uchun bunday muammodan istisno. Agar qandaydir nanorobot organizmda qolib ketsa ham, uning o‘z-o‘zini ko‘paytirish funksiyasini o‘chirib qo‘yish qiyin emas.

Hulosa qilib aytish kerakki, yuqorida keltirilgan nanotibbiy loyihalar hozircha faqat nazariy mulohazalardir. Ularni chuqur o‘rganib, shunday tibbiy nanorobotlar yasashga yana biroz vaqt kerak.

### **Ikkinci loyixa - ong, fikrlashni kompyuterga o‘tkazish**

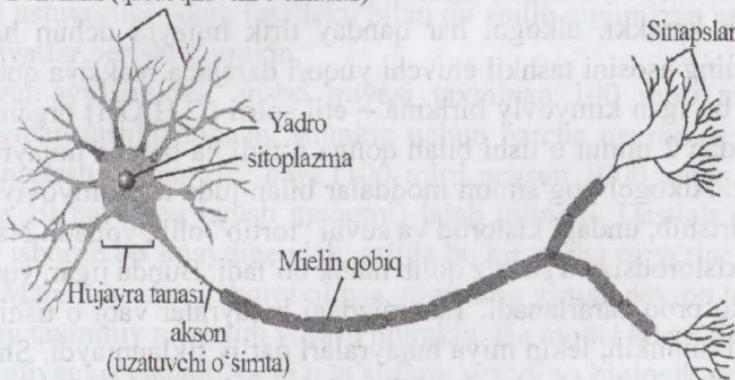
Olimlarning yuqoridagidek nanorobotlar yasashi ya ular yordamida umrboqiylikka erishishi – munozarali masala. Hozircha buning uchun yetarli darajadagi texnologiya va mutaxassislar yo‘q.

Lekin, transgumanistlar faqatgina nanorobotlar bilangina alahsir-ayotgani yo‘q. Ongni tashuvchi neyroelektronlar ham yasash mumkinku. Shakllarni ajratib aniqlovchi, matnni o‘quvchi ovoz sintezatori va inson nutqini ajratib berish texnologiyalarini yaratgan Rey Kursveyl bunday tizimni yaratish mumkin deydi. Uning fikricha, umrboqiylikni ta’minlash uchun ongi inson miyasidan dasturlovchi apparat majmusa-siga o‘tkazish kerak. Bu bilan har bir inson mustaqilligini va qaror qilish tezligini maksimumga yetkazish, provard natijada odamni agressiv muhitlarda yashab ketish qobiliyatini ko‘tarish va uni atrof-muhit bilan o‘zaro ta’sirlarshuvini yana ham faollashtirish kerak.

Ma’lumki, insonning miyasi va asab tizimi ko‘plab asab hujayralari – neyronlardan tuzilgan. Ular nerv tolalari bilan o‘zaro bog‘langan. Asab tolalari o‘zaro axborot almashish, retseptorlardan signallarni qabul qilish va boshqaruv impulslarini effektorlarga uzatish uchun xizmat qiladi. Asab tizimi va miya 100 mlrddan ortiq asab hujayralaridan iborat.

Har bir harakatimiz, fikrimiz va hissiyotlarimiz – bular hammasi tirik organizmda *neurotransmitterlar* deb ataluvchi maxsus elektrokimyoiy moddaning neyronlararo o‘tishi sifatida amalga oshirilgan. Neyronlar tanamizning boshqa hujayralaridan farq qiluvchi noodatiy tuzilishga ega. Neyronning *tanasi* butun neyronning eng katta massasini tashkil etadi. Unda o‘zida irsiy axborot saqlanadigan hujayra yadrosi mavjud. Neyron tanasidan qisqichsimon o‘simtalar – *dendritlar* tarqalgan, eng uzuni *akson* deb ataladi (6.18-rasm).

Dendritlar (qabul qiluvchi o‘simtalar)



6.18 - rasm. Neyron sxemasi.

Nerv hujayralari va ular o‘simtalari *mielin qobig*‘i deb ataluvchi neyronlarni elektrizolatsiya qiluvchi himoya qobig‘i bilan qoplangan. Akson boshqa neyronlar dendritlari bilan *sinapslar* deb ataluvchi asab signallarini kuchaytiruvchi va to‘g‘rilovchi o‘ziga xos maxsus birikmalar orqali bog‘lanadi.

Shunday qilib, bizning miyamiz doimiy ravishda (hatto uxdoyganimizda ham) axborotlarni qayta ishlovchi o‘ziga xos “hisoblovchi to‘r” dan iborat.

Miya tuzilishi qancha murakkab bo‘lsa, unda neyronlar o‘simtalari orasida bog‘lanishlar qancha ko‘p bo‘lsa, shuncha murakkab masalalarni yecha oladi, ya’ni bilimlar qancha ko‘p bo‘lsa, aloqalar ham shuncha ko‘p bo‘ladi. Yangi aloqalar faqat yangi axborotlarni o‘zlashtirish, yangi masalalarni yechishda shakllanadi. Har kuni bir xil og‘irlilikdagi shtangani ko‘tarishda yangi mushaklar paydo bo‘lmaganidek, har kuni

faqat bitta ma'lum masalani yechish bilan aqlni rivojlantirib bo'lmaydi. Yangi bog'lanishlar hosil bo'lmasa, eski hujayralar sekin-asta o'lib, eski bog'lanishlarni ham olib ketadi. Natijada, inson xotirasi yomonlashadi, aqliy qobiliyati pasayadi, u tez o'zgaruvchi dunyoga moslasha olmaydi.

Mana shuning uchun miyani rivojlantirish uchun aqliy mashqlar – she'r yodlashdan integral tenglamalarni yechishgacha har xil mashqlar qilish foydali. Ingliz shoiri Poun aytganidek, "Aqlga mashqlar kuch beradi, tinchlik (osoyishtalik) emas".

Aytish kerakki, alkogol har qanday tirik hujayra uchun haqiqiy zarar. Uning asosini tashkil etuvchi yuqori darajada reaksiya qobiliyatiga ega bo'lgan kimyoviy birikma – etil spiriti ( $C_2H_5OH$ ) organizmga tushganidan 2 minut o'tishi bilan qonga o'tadi va barcha hujayralarga tarqaladi. Alkogol yog'simon moddalar bilan juda tez kimyoviy reaksiyaga kirishib, undagi kislород va suvni "tortib" olib, yonadi. Natijada hujayra kislородsiz va suvsiz qolib halok bo'ladi. Bunda jigar, yurak va buyrak ko'proq zararlanadi. Tanamiddagi hujayralar vaqt o'tishi bilan tiklanishi mumkin, lekin miya hujayralari qat'iy tiklanmaydi. Shuning uchun asab tizimi va bosh miya alkogolning zaharli ta'siridan himoyalasiz. Miya fiziologiyasi haqidagi zamонави tasavvurlarga asosan, barcha bilim va ko'nikmalarimiz unda neyronlararo bog'lanish va neyrontransmitterlar zichliklari qoliplari sifatida mavjud. Inson – bu faqat uning gavdasi, qo'li, ko'zi va hokazo bo'lmasdan, balkim uning ongi, ichki "men"i, xotirasi, fikrashi, hissiyoti va sezgilarini ham bo'lgani uchun, insonning umrboqiyligini Rey Kursveyl uning ongini biologik miyadan axborotni sun'iy tashuvchisiga o'tkazishdan iborat deb biladi. Bu nimalarga asoslanadi?

Miya uzoq tabiiy tanlash asosida paydo bo'lgan bo'lsa ham, uning dizayni juda qo'pol. Neyronlar elektronlarnikidan 10 mln marta sekin-roq ishlovchi yo'g'on asboblar. Ular 200 Hz chastota bilan ishlashadi, ularda signallar 150 m/s tezlik bilan tarqaladi. Yosh o'tishi bilan yangi neyronlar o'stirish o'rнига ularni yo'qotganimiz uchun miyani axborot bilan to'lib ketish muammosi paydo bo'ladi. Gap shundaki, miyamiz butun hayotimiz davomida olgan barcha axborotni (hatto butunlay unutilib ketganlarini ham) saqlaydi. Lekin, har qanday axborot ombori cheklangan hajmga ega, biologik miyani ham apgredit qilish mumkin

emas. Bundan tashqari, neyronlarga tashqaridan kirish, ulardan impulslarni tashqi muhitga berish, qayta dasturlash mumkin emas. Shunday mo'rt miyamiz shikatlansa yoki halok bo'lsa, ong ham yo'q bo'lib ketadi.

Sun'iy hisoblash qurilmalari xotiraga olish va axborotni qayta ishlashda hamma miyamizdan ustun turadi. Kompyuter trillionlab axborotni eslab qola oladi, ularning ichidan ma'lumotni sekundning bo'laklari ichida topib bera oladi. U boshqa kompyuterlar bilan odamga nisbatan osongina axborot almasha oladi. Kompyutering xotira, tezlik va aniqlikdagi ustuvorligi odam intellekti bilan qo'shilib ongimizga juda keng imkoniyatlar berishi mumkin.

Avval aytilganidek, inson miyasi taxminan 100 mlrd asab hujayralaridan tashkil topgan, shuning uchun barcha neyronlar holatini to'la aniqlash uchun  $10^{15}$  bayt (100 mlrd neyron 1000 tadan bog'lanish va 10 bayt bog'lanish maqomi) talab qilinadi. Dastlab qarasak, bu son ishonib bo'lmaydigandek, aslida bu bir necha serverlar xotirasi xolos. Mana shunday axborot olinsa, miyaning virtual neyron to'rining shunday taxminiy modelini yasash mumkin. Bu model huddi tirik miya kabi faoliyat ko'rsatadi, ya'ni u ta'sirlarni sezadi va biologik miya kabi "o'ylay" oladi.

100 mlrd neyronning har birining holati haqidagi axborotni qanday qilib olish mumkin. Bunga qonga singdirilgan mahalliy simsiz aloqa hosil qiluvchi nanorobotlar yordamida erishish mumkin. Bizning kapilyarlarimiz shunday tuzilganki, ularda har bir neyron aro bog'lanish, har bir neyron va har bir neyron elementi orqali o'tadi. Ular orqali millionlab tekshiruvchi robotlarni yuborib, biz bir neyron aniqligida miya ichida bo'layotgan barcha jarayonlarni aks ettiruvchi miya xaritasini olishimiz mumkin. Haqiqatga yaqinroq loyiha ko'ra, miyaga o'ta nozik tekshiruvchi elektrodlarni (masalan: nanonaychalarini) chizig'iy kiritish taxmin qilinmoqda.

Miyani tekshirishning eng katta muammosi zamonaviy texnikaning sekin ishlashi va yetarlicha mukammal emasligida, chunki panjamiz, fikrimiz, hissiyotimiz va boshqalarni juda kichik harakati ham tekshirish jarayonida neyronlar holatining o'zgarishiga olib keladi. Shuning uchun tirik miyani tekshirish hayoliydek tuyuladi. Inson genomini tekshirish haqida ham avvalroq shunday fikr aytilgan edi.

Bu muammoning eng oson yechimi – bu muzlatilgan miyani parchalab tekshirishdir. Buning mohiyati miyani qatlamma-qatlam yupqa qalinlikdagi qatlamlarga kesib, har bir qatlamni tekshirishdan iborat. Shu usulda har bir qatlamdagi har bir neyron, bog‘lanish va neyrotransmitter haqida ma’lumot olish mumkin. Bunday tajribalar natijalarini internetda ko‘rish mumkin ([www.nlm.nih.gov/resceach/visible/](http://www.nlm.nih.gov/resceach/visible/)).

Bunday parchalab tekshirishdagi asosiy kamchilik - tajriba obyekti ni yo‘q bo‘lib ketishidir. Bundan saqlanish uchun yadroviy magnitik rezonans, optik va infraqizil tomografiyalarni qo‘llash maqsadga muvofiq bo‘ladi. Lekin, bu usullar ayrim neyronlarni ajratib beradigan aniqlikka ega emas. Demak, sun’iy ong tashuvchilarni ishlab chiqarish texnologiyalarini yaratish rivojlanish jarayonida aniqlanadi. Ammo, hozir aniq aytish mumkinki, keljak umrboqiy insonni “super neyronlari” biologik neyronlardan ko‘p marta tezroq, undagi fikrlar to‘lasi bilan o‘qiladigan va o‘z-o‘zini cheklanmagan miqdorda ko‘paytira oladigan bo‘ladi.

O‘z ongini texnik tashuvchiga o‘tkazgan odam o‘zining avvalgi biologik miyasidagi intellekt darajasidan boshlaydi. Ammo, dasturni va asboblarni mukammallashtirib, tezda yuqori intellektga o‘tadi. Tasavvur qiling, odatdagidan million marta tez ishlaydigan (200 MHz da) ongni. U biologik ong bir yilda bajaradigan fikrlashni 31 sekundda bajaradi.

Elektronika hisobiga nafaqat miya, balki inson tanasi ham mukammallashtirilishi mumkin. Hamma uchun tananing tashqi ko‘rinishi, himoyasi, uni davolash, ovqatlantirish, har xil iste’mol talablari va orzularni ro‘yogga chiqarish muhim. Agar biz ongni sun’iy hisoblash muhitiga o‘tkazmoqchi bo‘lsak, biz uni mos holda harakatchan, ixcham, qulay, tashqi xavflardan yaxshiroq himoyalangan tana bilan ta’minalashimiz kerak. Ya’ni umrboqiy odamlar biroz kiborg ham bo‘lishlari kerak. Ular kinolardagidek vahimali emas, eng ilg‘or nanotexnologiyalar asosida yaratilgan tanali kiborglar bo‘lishi, har qanday nurlanishlar, yorug‘lik, bosimlarni sezaladigan va shunday xabarlardan himoyalangan shaklda bo‘lishi kerak.

Biologik va elektron qurilmalarini birlashtirish sohasini *neyroelektrik interfeys* deyiladi. Bu soha olimlari kompyuterlarni asab sistemalari bilan bog‘laydigan qurilmalar yasash ustida ishlamoqdalar.

AQSHlik olimlar kalamushlar miyasining harakatlantiruvchi markazini 48 o‘tkazgich yordamida kompyuter bilan bog‘lab, kom-

yuter orqali kalamush harakatini boshqarish mumkinligini ko'rsatib berdilar. Buning uchun kalamush miyasini oldingi – o'rta joylashgan maxsus asablar tugunini o'ng va chap mo'ylovlardagi asablar to'plamiga rag'batlantiruvchi elektrodlar kiritildi. Olimlar kalamushni kompyuter va radio orqali boshqariladigan mashinadek boshqarishni amalga oshirdilar. Hayvonlardagi o'zini himoyalash instincti yuqoriroq ekanligi ko'rinadi. Kalamush hayoti uchun xavfli balandlikdan "sakra" buyrug'i bajarilmay qoldi xolos.

Keyingi maqsad robotning sun'iy qo'lini maymun miyasiga ulash bo'ldi. Buning uchun maymun miyasiga 96 ta soch tolasi o'lchami yarmiga teng diametrli elektrod ulandi: ulardan signal radioo'tkazgichga, undan radio to'lqinlari yordamida – kompyuterga uzatiladi, u esa murakkab matematik hisoblar asosida robotni sun'iy qo'li harakatlarini shakllantirdi. Yana ham ishonchli bo'lishi uchun radio signal 1000 km uzoqlikdagi masofadan internet orqali uzatilgan radiosignal lar yordamida robot "qo'li"ni boshqarish mumkinligi namoyish etildi.

Shunday qilib, nanotexnologiyalar mutloq fantastik narsalarni amalga oshirish imkoniyatlariga ega bo'lishi mumkinligini guvohi bo'lib turibmiz. Bular: telekinez – buyumlarni fikr kuchi bilan siljitchish, harakatga keltirish, telepatiya – fikrni masofaga uzatish va h.k.

Bunday tajribalar rivoji insoniyatga ko'plab istiqbollarni ochib bermoqda. Bularidan asosiysi – qandaydir sabablarga ko'ra kompyuter yoki robotlar bilan standart vositalar orqali o'zaro hamkorlik qilmaydigan odamlarga yordam berish. Bir necha mikroo'tkazgichlarni miyaning har xil harakatlantiruvchi markazlariga ulanadi, o'z navbatida ular keyinroq miya qobig'i ichiga joylashtirilgan neyronchiplar bilan bog'laydi. Shunday qurilmali inson oddiy harakatlari yordamida boshqa bir qurilma, masalan, nogironlar aravachasini boshqarishi mumkin. Yana bir necha yildan keyin, ehtimol, davrimizning "tosh boltalari" kompyuter klaviaturasi, "sichqon", dtyostik, mashina pedali, kulf kaliti kabi buyumlardan ozod bo'lib, ehtimol ularning o'rniga inson ongini qo'l, oyoqsiz tushunadigan kompyuter interfeyslari bilan ishlarmiz.

Yuqoridagilarga asoslanib, aytish mumkinki, inson ongi va insoniyat jamiyatি borliqning undan yuqori darajaga chiqara olmaydigan eng yuqori shakli emas. U holda insonni "ijodning gultoji" demasdan cheksiz taraqqiyot zinapoyasining faqat bir bosqichi deb qarash kerak bo'ladi.

Bundan yuqoriroq pog'onalarda bo'ladigan mayjudotlar, odam bir hujayrali organizmdan qancha marta murakkab bo'lsa, ular odamdan shuncha marta murakkabroq bo'ladi. Agar ongning sun'iy tashuvchilarini yaratilsa, ularni biologik hujayralarga o'xshab qolishiga hech qanday sabab yo'q.

### **Uchinchi loyiha – sovuqlikda saqlash**

Hozirgi kunda krioterapiya (grek. Krio – sovuq) – sovuq bilan davolash amaliyotga kirib kelmoqda. Odatda, krioterapiyada suyuq azot temperaturasi – 196 °C (77 K) dan foydalaniladi. Ma'lum, qadim zamonlardan buyon tez ayniydigan oziq-ovqatlarni sovuqda saqlash yaxshi samara beradi. Buning sababi past temperaturalarda hujayralar ichidagi jarayonlar sekinlashadi yoki juda past temperaturalarda to'xtashi ham mumkin.

Zamonaviy kriobiologik usullardan foydalanib tibbiyot xodimlari donor terisini, suyak miyasi, sperma, embrion va boshqalarni muzlatib, xavfsiz saqlash, dunyoning barcha nuqtalariga yetkazib berish, keyin esa eritib avvalgi holiga qaytarish imkoniyatiga ega.

Molekular biologiya sohasidagi kashfiyotlar tufayli hayotning hujayrali va molekular tabiatni asosan aniqlandi. Bu esa o'limning boshlang'ich davrida va muzlatishdan hujayralarning shikastlanishi nazariy jihatdan kelajak fani davolay olmaydigan darajada katta emasligi haqidagi taxmin qilishga imkon berdi. Shu tadqiqotlar o'lgan odamlarni kelajakda –nanotibbiyot zararlangan hujayralarni tiklay olish darajasiga yetganida –tiriltirish maqsadida muzlatish g'oyasini yaratdi. Bunday imkoniyatni qanday ilmiy omillar ta'kidlay oladi? Ma'lumki, inson shaxsiyati uning miyasi faoliyati bilan belgilanadi. Odamning axborotlarni qayta ishlash tamoyillari ham, shaxsiy xossalari ham, uning xotirasi, asosan, neyronlarning o'zaro bog'lanishlari tabiatiga bog'liq. Demak, odamni kelajakda tiriltirish uchun asab hujayralarining o'zaro bog'lanishi tuzilmasini saqlab qolish yetarli yoki hech bo'limganda, ularni yetarli aniqlikda tiklash uchun ushbu bog'lanishlar haqidagi axborotni saqlab qolish kerak. Agar odam o'lgandan keyin bir necha soat davomida asab hujayralari aro aloqalar saqlanib qolinishini - ko'plab hujayralar xali tirik bo'lishini e'tiborga olsak, asab hujayralarini tiriltirish, miya faoliyatini, odam xotirasini to'lsasi bilan tiklash molekular

darajada davolash usullariga ega bo'lgan kelajak tibbiyoti yordamida neyronlarni reanimatsiya qilish imkoniyati bo'ladi.

Suyuq azot temperaturasida muzlatilgan tanada hech qanday o'zgarishlar sodir bo'lmasani uchun, nazariy jihatdan muzlatilgan organizm 1000 yil ham saqlanishi mumkin. Lekin, taxminiy hisoblarga, asosan, muzlatilgan odamni tiriltirish texnologiyalari 50 yillar ichida paydo bo'lishi mumkin. Bunday texnologiyalarning paydo bo'lishi jamiyatda qanday xavfli holatlarga olib kelishini taxmin qilish ularni yaratishdan ham murakkabroq bo'lishi mumkinligini ham esdan chiqarmaslik kerak. Milliardlab miqdorli insoniyat jamiyatida uning ayrim "hujayralari" abadiyligini qanday oqibatlarga olib kelishini bashorat qilish mumkin bo'lmasani holatdir.

## 6 - bobning asosiy xulosalari

- biotexnologiya o'simlik va jonzotlarning biomolekula, mikroorganizm, hujayra va tanalari bilan ish ko'radi. Uning yutuqlari oziq-ovqat, farmatsevtika, neft, ekologiya, energetika, elektronika, tibbiyot, qishloq xo'jaligi kabi ko'plab tarmoqlarda qo'llaniladi;

- biotexnologiyalarning asosiy maqsadi – belgilangan xossalarga ega bo'lgan bioobjektlar olish;

- biotexnologiya asosini hujayralardagi jarayonlar tashkil etadi. Hujayralar ikki xil bo'ladi: prokariot (bakteriyalar) va eukariot (zamburug'lar, o'simlik va jonzotlar);

- odatdag'i prokariot hujayra quyidagilardan iborat:

\* genom (RNK va oqsillarni yig'ishga ko'rsatma);

\* DNKnинг replikatsiya mexanizmi (uning yangi nusxalarini ishlab chiqarish);

\* ribosoma (oqsilni sintez qilish);

\* sitazol (modda almashinuvini boshqarish);

\* membrana (tashqi muhit bilan o'zar o'sirishish va ATPni sintez qilish).

- hujayralar metabolizmi - hujayrani tashqi muhit bilan doimiy modda almashinuviga hisobiga mavjud. Tashqi muhidtan hujayraga substratlar (uglerodli birikmlalar) kelib tushadi, ulardan mahsulotlar (oqsillar,

fermentlar, vitaminlar, garmonlar, antibiotiklar va b.) ajralib chiqadi. Biotexnologiyalar zaruriy mahsulotlarning o'ta sintezini ta'minlaydi.

Biotexnologik jarayonning umumiyligi sxemasi:

\* ta'minlovchi muhitni tayyorlash;  
\* fermenterga kiritish uchun toza shtammlar olish;  
\* fermentlash – ta'minlovchi muhitni mikroorganizmlar bilan birga alohida “aralashtirish” natijasida kultural suyuqlik yoki bo'tqa hosil bo'ladi.

- \* yakuniy mahsulotni ajratib olish va tozalash;
- \* mahsulotlar tovari hosil qilish;
- biotexnologik ishlab chiqarishga misollar: aminokislotalar, vitaminlar, organik kislotalar, antibiotiklar, fermentlar, insulin, samototropin (o'sish gormoni) va interferonlarni olish;
- gen injeneriyasi asosida rekombinant DNK texnologiyalari, ya'ni bir biologik tur genini boshqasi DNKsiga ko'chirish (genlarni horizontal ko'chirish) yotadi. Bunday horizontal ko'chirishni tabiatda ham, mikroorganizmlarda ham kuzatish mumkin;
- gen injeneriyasining rivoji oqibatida transduksiya – genetik materialning prokariot viruslari (bakteriofaglar) yordamida ko'chirish mehanizmi kashf qilindi;
- viruslar – mayda, hujayrasiz shakldagi mavjudotlar (diametri 180–200 nm). Ular oqsil molekulalari bilan o'ralgan DNK yoki RNKLardan iborat bo'lib, tirik va jonsiz materiyalar orasidagi holatda turadi. Chunki ular hujayrali tuzilishga ega emas, lekin o'z-o'zini replikatsiya qilish xossasiga ega;
- viruslarning faoliyati: 1) hujayralarga yopishib qolish, 2) uning qobiq'ini eritish, 3) virusli DNK molekulasi hujayrasi ichiga kirish, 4) virus DNKsini hujayra DNKsiga kiritish, 5) virus DNKsi molekulalarini sintez qilish va ko'plab viruslar hosil qilish, 6) hujayraning xalok bo'lishi va viruslarning tashqariga chiqarish, 7) yangi sog'lom hujayralarga viruslar yuqtirish;
- gen injeneriyasi yordamida transgen yangi xossalarga ega bo'lgan o'simlik va jonivorlar hosil qilinadi;
- biotexnologiyalarning eng katta loyihiblardan bo'lgan “inson genomini” loyihasini amalga oshirilishi natijasida inson genomini qariyb 3 mlrd juft nukleotidlardan iborat ekanligi, shundan 29181 genom vazifalari aniqlandi;

- genomni oshkorlash, sekvenirlash – DNKn restrikta yordamida ayrim bo‘laklarga bo‘lib o‘rganish jarayoniga asoslangan.
  - biotexnologiyaning rivoji bilan tibbiyot fanining yangi yo‘nalishi – molekular nanotibbiyot mustahkam bog‘langan. Unga misol uchun quyidagi juda tez rivojlanayotgan loyihalarni ko‘rsatish mumkin. Chiplardagi laboratoriylar dorilarni adresli yetkazish, yangi bakteritsid va antivirus moddalar, kvant nuqtalar yordamida kasallik diagnostikasi, shikastlangan hujayralarni tuzatuvchi nanorobotlar, neyroelektron interfeyslar va boshqalarni ishlab chiqilmoqda.
- Nanotexnologiyalar va nanotibbiyotning rivoji insoniyatga ajoyib imkoniyatlar, jumladan, shaxsiy umrboqiyilikka erishish yo‘llarini ham ochib bermoqda. Bu esa texnik tarraqiyot yordamida erishiladigan shaxsiy umrboqiyilik g‘oyasi uchun kurashayotgan yangi falsafiy oqim – transgumanizmning ommalashishiga olib keldi.
- ## Rus tilida
- ### 6 - bobni takrorlash uchun savollar
1. *Biotexnologiya deganda nimani tushunasiz?*
  2. *Prokariot va eukariot hujayralar nima bilan farqlanadi?*
  3. *Prokariot hujayra nimalardan tuzilgan?*
  4. *Gen, genom ta’rifini aytib bering.*
  5. *Mikrobiologik ishlab chiqarish bosqichlarini gapirib bering.*
  6. *Aminokislotalar qanday olinadi?*
  7. *Vitaminlar nima?*
  8. *Organik kislotalar olinishini tushuntirib bering.*
  9. *Antibiotiklar qanday olinadi?*
  10. *Fermentlar qanday hosil qilinadi?*
  11. *Vaksina nima?*
  12. *Immun va diagnostik zardoblar farqini tushuntirib bering.*
  13. *Rekombinantli DNK texnologiyasi deganda nimani tushunasiz?*
  14. *Mutatsiya nima?*
  15. *Prokariotlarda lateral ko‘chirish mexanizmlari haqida gapirib bering.*
  16. *Viruslar nima?*

17. *Insulin qanday olinadi?*
18. *Somatotropning olinishini tushuntirib bering.*
19. *Interferonlar qayerlarda foydalaniladi?*
20. *Transgen hayvonlar va o'simliklar haqida nimalarni bilasiz?*
21. *Inson genomi xaritasi nima?*
22. *Protoviruslar deganda nimani tushunasiz?*
23. *Nanotibbiyot nimalar bilan shug'ullanadi?*
24. *Oqsillardan qanday molekulalar olinishi mumkin?*
25. *Bakteriofag nima?*
26. *Transgumanizm va importalizm falsafiy oqimlariining asosiy g'oyasi nimadan iborat?*
27. *Fraytas nanotibbiyoti haqida nimalarni bilasiz?*
28. *Ongni kompyuterga o'tkazish loyihasi nimadan iborat?*
29. *Sovuqda saqlash loyihasi haqida gapirib bering.*

ta ka chiro. Yerlovde nafos akseleratsiya indeksi tabiatda ham mikroorganizmlar da ham kuchiga munosabatli. Geometrik turishning prokarion viruslari - bakteriophaglar - bu xil viruslarning qurilishi uchun qo'shimcha qurilishli ligaturni olib turishadi. Ushbu qurilishda molekulalar qurilishini yuzegani qo'shamiz. Bakteriophag qurilishiga qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Ushbu qurilish - mayda, hujumda ya qurilishda olib turishadi (qidirish 100-200 min.). Ularning molekulalar qurilishini yuzegani qo'shamiz. Bakteriophag qurilishiga qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Ushbu qurilish - mayda, hujumda ya qurilishda olib turishadi.

Viruslarning qurilishi 4 dasturi bilan yechilinadi. 1) virus qurilishini qo'shamizligi. 2) virus DNA si qurilishini qo'shamizligi. 3) virus DNA si qurilishini qo'shamizligi. 4) virus DNA si qurilishini qo'shamizligi. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz.

Qurilishning 1 dasturi - "Swingler" (qurilish) - virus DNA si qurilishini qo'shamiz. 2 dasturi - "Kapton" (qurilish) - virus DNA si qurilishini qo'shamiz. 3 dasturi - "Kapton" (qurilish) - virus DNA si qurilishini qo'shamiz. 4 dasturi - "Kapton" (qurilish) - virus DNA si qurilishini qo'shamiz. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz. Virus qurilishini qo'shamizligi viruslarning qurilishini qo'shamiz.

## Foydalanilgan adabiyotlar

1. Суздалев И.П. Физико – химия нанокластеров,nanoструктур и наноматериалов–М.: Ком. книга 2006 г.
- 2.Гусев А.И. Наноматериалы, nanoструктуры, нанотехнологии.–М.: Физматлит. 2007 г.
- 3.Петров Ю. И. Кластеры и малые частицы – М.: Наука 1986 г.
- 4.Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами–М.: Мир 1986 г.

## Foydalanilgan internet saytlari

Rus tili

[www.mno.ru](http://www.mno.ru)

[www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru)

[www.nanobot.ru](http://www.nanobot.ru)

[www.microbot.ru](http://www.microbot.ru)

[www.neuroelectronics.ru](http://www.neuroelectronics.ru)

[www.cbio.ru](http://www.cbio.ru)

[www.roboclub.ru](http://www.roboclub.ru)

[www.aicomunity.org](http://www.aicomunity.org)

[www.mno.ru/books/laz.php](http://www.mno.ru/books/laz.php)

[www.mno.ru/books/eoc/eoc.php](http://www.mno.ru/books/eoc/eoc.php)

[www.prognosis.org.ua](http://www.prognosis.org.ua)

Ingliz tilida:

[www.nanonewsnet.com](http://www.nanonewsnet.com)

[www.rfreitas.com](http://www.rfreitas.com)

[www.kurzweilai.net](http://www.kurzweilai.net)

[www.e-drexler.com](http://www.e-drexler.com)

[www.foresight.org](http://www.foresight.org)

[www.nano.gov](http://www.nano.gov)

www.sani.org.za

www.nasa.gov

www.crnano.org

www.darpa.mil

www.universaldisplay.com

www.memx.com

www.cmp.caltch.edu

http://old.ej.ru/033/btw/any/

www.mvis.com/nomad

www.intelmessages.org

http://domino.research.ibm.com

www.eyedesignbook.com

http://flightprojects.msfc.nasa.gov

## MUNDARIJA

SO'ZBOSHI.....	3
----------------	---

### 1-BOB. NANOTEXNOLOGIYAGA KIRISH

1.1.Nanotexnologiyalar haqida asosiy tushunchalar.....	5
1.2. Nanotexnologiyalar tarixi haqida.....	17
1.3. Nanotexnologiya uskunalari.....	19
1.4. O‘z-o‘zini yig‘ish.....	28
1.5. Tabiatdagi nanoeffektlar: g‘aroyib panjalar.....	29
1.6. Fullerenlar va uglerodli nanonaychalar.....	31
1.7. Ko‘z yumib bo‘lmaydigan xatarlar.....	38
1.8. Nanotexnologiyalar va ilm.....	39
1.9. Rossiya va boshqa davlatlardagi nanotexnologiyalar savdosi.....	41

### 2-BOB. YAKKA NANOZARRACHALAR XOSSALARI

2.1. Tarkibiy va fazaviy o‘zgarishlar.....	45
2.2. Panjara davri.....	58
2.3. Fononlar spektri va issiqlik sig‘imi.....	62
2.4. Nanozarrachalarning magnitik xossalari.....	69
2.5. Optik xossalari.....	82
2.6. Ixchamlashgan nanokristall moddalar mikrotuzilishi.....	88
2.7. Submikron kristallik metallar tuzilishining xususiyatlari.....	94
2.8. Tartiblanmagan tizimlar nanotuzilishi.....	104

### 3-BOB. NANOKIMYO VA NANOMATERIALLAR

3.1. Kimyoviy bog‘lanish.....	112
3.2. Nanokimyo nima?.....	120

3.3. Nanokimyo obyektlari. Nanozarralar klassifikatsiyasi.....	123
3.4. Nanozarralarning olish usullari.....	133
3.5 Uglerodli fullerenlar va nanonaychalar olinishi.....	136
3.6. Ba'zi nanozarralar noyob xossalariiga misollar.....	140
3.7 "Aqli" materiallar.....	146
3.8. Almazoid – kelajak nanomateriali.....	155
3.9. Almazoidlarning qo'llanish istiqbollari.....	157

## **4-BOB. NANOELEKTRONIKA VA MEMS**

4.1. Yarimo'tkazgichli elektronikaning paydo bo'lishi va rivojlanishi.....	162
4.2. Elektrik o'tkazuvchanlik.....	163
4.3. Elektron - kovak o'tishi.....	168
4.4. Diod.....	170
4.5. Tranzistor.....	170
4.6. Integral mikrosxema.....	174
4.7. O'tkazuvchan polimerlar.....	179
4.8. MEMS va NEMS texnologiyalar paydo bo'lishi va rivojlanishi.....	184
4.9. Sensorlar.....	191
4.10 "Aqli chang" loyihasi.....	195
4.11. "Elektron burun" loyihasi.....	197
4.12. "Elektron til" loyihasi.....	201
4.13. Videoko'zoynak loyihasi.....	203
4.14. Nanoelektronika .....	203
4.15. Nanomotorlar loyihasi.....	209

## **5-BOB. NANOTEXNOLOGIYA ASBOBLARI**

5.1. Mikroskoplarning rivojlanish tarixi.....	219
5.2. Nanostrukturalarni modellashtirish.....	238

## 6-BOB. BIOTEXNOLOGIYA VA NANOTIBBIYOT

6.1. Biotexnologiyaning asosiy tushunchalari.....	274
6.2. Biotexnologik ishlab chiqarishning umumiyligi sxemasi.....	279
6.3 Biotexnologik ishlab chiqarishga misollar.....	282
6.4. Genli injeneriyaning asosiy mexanizmlari.....	287
6.5. Inson genomi.....	297
6.6. Inson genomi haqida ba'zi bir ma'lumotlar.....	299
6.7. "Inson genomi" loyihasi natijalarining amaliy ahamiyati.....	301
6.8. Nanotibbiyot.....	302
6.9. Nanotizimlar va biotexnologiyalar: tabiatga monand.....	307
6.10. Nanotexnologiyalar va abadiy hayot.....	312
Foydalilanilgan adabiyotlar.....	331
Foydalilanilgan internet saytlari.....	331

**A.T.Teshaboyev, S.Z.Zaynobiddinov,  
Q.A.Ismoilov, Sh.A.Ermatov, V.A.Abduazimov**

## **NANOZARRALAR FIZIKASI, KIMYOSI VA TEXNOLOGIYALARI**

*Oliy o‘quv yurtlari uchun o‘quv qo‘llanma*

**«TAFAKKUR BO‘STONI»—Toshkent—2014**

Muharrir: **X.Po‘latxo‘jayev**

Rassom: **B.O‘rinova**

Sahifalovchi: **Z. Shukurxo‘jayev**

Musahhih: **B.Tuyoqov**

Nashriyot litsenziyasi AI № 190, 10.05.2011-y

Bosishga 10.09.2014-yilda ruxsat etildi.

Qog‘oz bichimi  $60 \times 84$  1/16. Nashr tabog‘i 21,0 shartli bosma  
taboq 20,5 Adadi 500

Buyurtma №34-1

«TAFAKKUR BO‘STONI» nashriyoti.  
Toshkent sh. Yunusobod tumani, 9–13.

«TAFAKKUR BO‘STONI» MCHJ bosmaxonasida  
chop etildi.

Toshkent sh. Chilonzor ko‘chasi, 1-uy

ISBN-978-9943-4239-5-4



9 789943 423954



«TAFAKKUR-BO'STONI»  
NASHRIYOTI